

**Izabela PLISZKA<sup>\*</sup>, Norbert RADEK<sup>\*</sup>,  
Aneta GADEK-MOSZCZAK<sup>\*\*</sup>**

## **OCENA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH ORAZ STRUKTURY GEOMETRYCZNEJ POWŁOK ELEKTROISKROWYCH WC-Cu MODYFIKOWANYCH LASEROWO**

### **ASSESSMENT OF TRIBOLOGICAL PROPERTIES AND GEOMETRIC STRUCTURE OF WC-Cu COATINGS AFTER LASER TREATMENT**

#### **Słowa kluczowe:**

obróbka elektroiskrowa, obróbka laserowa, powłoka

#### **Key words:**

electro-spark deposition, laser processing, coating

#### **Streszczenie**

Artykuł przedstawia badania wpływu obróbki laserowej na właściwości tribologiczne oraz strukturę geometryczną powłok WC-Cu nanoszonych metodą

---

<sup>\*</sup> Politechnika Świętokrzyska, Centrum Laserowych Technologii Metali, al. 1000-lecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Polska, e-mail: iza.pliszka@interia.pl, norrad@tu.kielce.pl.

<sup>\*\*</sup> Politechnika Krakowska, Wydział Mechaniczny, Instytut Informatyki Stosowanej, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków, Polska, e-mail: aneta.moszczak@gmail.com.

elektroiskrową. Na podstawie obserwacji badań oporów tarcia, pomiarów porowatości, odporności na korozję oraz zmian w strukturze powierzchni dokonano oceny właściwości powłok po obróbce laserowej. Docelowe badania przeprowadzono, wykorzystując elektrody WC-Cu, które wytworzono poprzez spiekanie nanostrukturalnych proszków metodą metalurgii proszków. Przeciwnożyciowe powłoki zostały naniesione elektroiskrowo na próbki ze stali C45 za pomocą urządzenia produkcji ukraińskiej, model EIL-8A, natomiast obróbkę laserową nałożonych powłok elektroiskrowych wykonano laserem Nd:YAG, model BLS 720.

## WPROWADZENIE

Obróbki wykorzystujące skoncentrowany strumień energii stosowane są przede wszystkim przy obróbce elementów z trudnoobrabialnych tworzyw konstrukcyjnych, a także do wykonywania elementów o bardzo skomplikowanych kształtach. Wykorzystując biegunowość w obróbkach wspomaganym prądem elektrycznym, w większości przypadków można sterować przebiegiem procesu obróbki, dzięki czemu można realizować obróbkę przyrostową lub ubytkową. Obróbka elektroerozyjna ubytkowa (EDM) polega na usuwaniu zewnętrznych warstw materiału w postaci mikrocząsteczek przez działanie impulsowych wyładowań elektrycznych występujących w dielektryku między dwiema elektrodami. Obróbka elektroerozyjna przyrostowa (ESA), która w literaturze określana jest mianem obróbki elektroiskrowej wykorzystuje zjawisko erozji materiału elektrody i wyładowań iskrowych zachodzących między elektrodami, w efekcie czego tworzy się technologiczna warstwa powierzchniowa o innych właściwościach niż materiał podłoża. Podczas obróbki elektroiskrowej mamy do czynienia z transferem materii i energii oraz reakcjami: chemicznymi, elektrochemicznymi i elektrotermicznymi, które im towarzyszą. Stopowanie elektroiskrowe jest technologią obróbki powierzchniowej i cechuje się intensywnym dopływem ciepła i bardzo wąską strefą wpływu ciepła (SWC), również przy nakładaniu powłok z trudno topliwych kompozytów [L. 1+6]. Obróbkę elektroiskrową cechuje brak szkodliwych oddziaływań na środowisko.

## METODYKA BADAŃ

Przedmiotem badań były powłoki nakładane elektrodą WC-Cu (o procentowym składzie 50% WC i 50% Cu) metodą elektroiskrową. Materiałem podłoża użytym w docelowych badaniach była stal węglowa konstrukcyjna wyższej jakości C45 w stanie normalizowanym. Jako gaz ochronny w tym procesie zastosowano argon.

Do nanoszenia powłok elektroiskrowych użyto urządzenia produkcji ukraińskiej, model EIL-8A. Stosując zalecenia producenta urządzenia oraz własne

doświadczenia, ustalono następujące parametry: napięcie  $U = 230 \text{ V}$ , pojemność kondensatorów  $C = 150 \mu\text{F}$ , natężenie prądu  $I = 0,7 \text{ A}$  oraz czas nanoszenia  $\tau = 2 \text{ min/cm}^2$ .

Obróbkę laserową powłok elektroiskrowych przeprowadzono w Centrum Laserowych Technologii Metali, na laserze Nd:YAG, model BLS 720 niemieckiej firmy BAASEL LASERTECHNIK, o maksymalnej średniej mocy 150 W. Laser ten pracuje w trybie impulsowym.

W badaniach zastosowano głowicę ogniskującą. Zadana wstępnie odległość między czołem dyszy a powierzchnią obrabianą utrzymywana była z dokładnością do około 0,01 mm w kierunku Z. Wiązka promieniowania laserowego posiadała mod  $\text{TEM}_{00}$ , który określa rozkład energii promieniowania. Na podstawie analizy literatury na temat doświadczeń z przeprowadzonych prac badawczych oraz badań rozpoznawczych zostały dobrane parametry obróbki laserowej z uwzględnieniem tych parametrów, które mają decydujący wpływ na właściwości eksploatacyjne wytworzonych warstw powierzchniowych [L. 7, 8]. Obróbkę laserową wykonano przy następujących parametrach:

- średnica plamki laserowej  $d = 0,7 \text{ mm}$ ,
- moc lasera  $P = 50 \text{ W}, 60 \text{ W}, 70 \text{ W}$ ,
- prędkość przesuwu próbki  $V = 250 \text{ mm/min}$ ,
- odległość dysza – przedmiot obrabiany  $\Delta l = 1 \text{ mm}$ ,
- czas trwania impulsu  $t_i = 0,4 \text{ ms}$ ,
- częstotliwość powtarzania  $f = 50 \text{ Hz}$ ,
- skok przesuwu wiązki  $S = 0,4 \text{ mm}$ .

### Badania tribologiczne

Badania oporów tarcia (tarcie technicznie suche) przeprowadzono na testerze tribologicznym T-01M typu trzpień–tarcza. Jako próbki stosowano pierścienie ze stali C45, na które naniesiono elektroiskrowo powłoki WC-Cu przed i po obróbce laserowej. Przeciwpóbką była kulka o średnicy  $\phi 6,3 \text{ mm}$  wykonana ze stali 100Cr6. Do badań użyto 5 próbek z każdego wariantu powłokowego, co umożliwiło uśrednienie wyników badań. Dokładność pomiarowa wynosiła 0,1 mg. Badania na testerze przeprowadzono przy następujących parametrach tarcia:

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

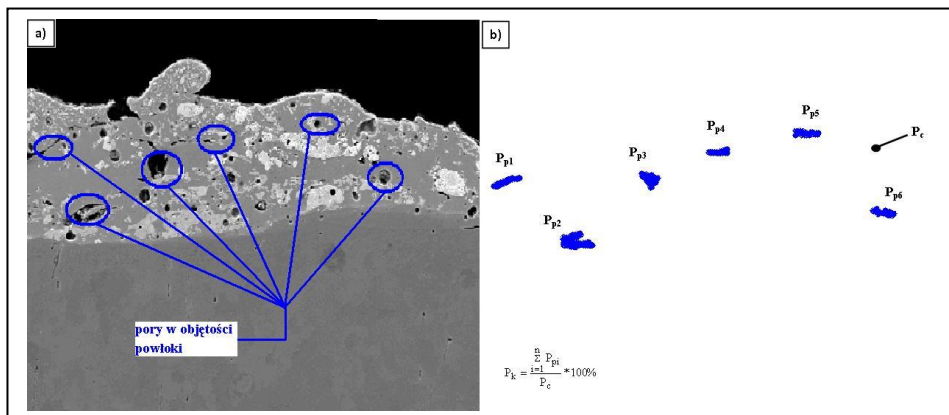
Badania odporności na zacieranie wykonano na testerze tribologicznym T-09, w którym węzeł tarcia składa się z walca i dwóch pryzm. Jako próbki stosowano pryzmy z naniesionymi powłokami WC-Cu oraz stal C45 (nieobrobione i obrobione laserem), natomiast przeciwpóbką był wałek o średnicy  $\phi 6,3 \text{ mm}$  wykonany z hartowanej stali węglowej. Do badań użyto 3 par kinematycz-

nych z każdego wariantu materiałowego, co umożliwiło uśrednienie wyników badań. Podczas testu stosowano smarowanie zanurzeniowe w oleju parafinowym.

### Badania porowatości

W celu oceny stopnia porowatości badanych powłok WC-Cu przed i po obróbce laserowej wykonano ilościową analizę obrazu, wykorzystując oprogramowanie SIS będące na wyposażeniu (SEM) Philips XL30/LaB<sub>6</sub>. W analizie ilościowej kierowano się zasadą Cavalieri-Hacquerta, według której miarą porowatości mogą być udziały porów:

- objętościowe (stosunek sumy objętości porów do objętości analizowanego fragmentu powłoki);
- powierzchniowe (stosunek sumy powierzchni porów do całkowitej powierzchni analizowanego szlifu);
- na długości odcinka kontrolnego (stosunek sumy długości cięciw przechodzących przez pory do długości analizowanego odcinka pomiarowego na płaszczyźnie szlifu).



Rys. 1. Przykładowa struktura rzeczywista (a) i schemat (b) wyznaczania porowatości kohezyjnej powłok metodą planimetryczną

Fig. 1. An example of the actual structure (a) and diagram (b) determining the porosity of cohesive coatings by planimetry

Dla ilościowej oceny stopnia wewnętrznej porowatości TWP (tzw. porowatości kohezyjnej  $P_k$  występującej w objętości powłoki, poza strefą połączenia powłoka–podłoże) posłużono się metodą planimetryczną. W metodzie tej formułą określenia udziału porów w ukształtowanej warstwie powierzchniowej jest zmierzenie sumy ich powierzchni ( $P_p$ ) na płaszczyźnie szlifu analizowanej TWP, odniesionej do powierzchni całego szlifu ( $P_c$ ).

### **Pomiary struktury geometrycznej powierzchni**

Struktura geometryczna powierzchni (SGP) jest jednym z głównych czynników decydujących o jej jakości. Wykazuje znaczny wpływ na wiele procesów występujących w warstwie wierzchniej. Pomiary struktury geometrycznej powierzchni zostały przeprowadzone w Laboratorium Komputerowych Pomiarów Wielkości Geometrycznych Politechniki Świętokrzyskiej. Badania wykonano z użyciem profilometru optycznego Talysurf CCI wykorzystującego 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 1024x1024 punktów pomiarowych, co przy zastosowanym obiektywie x10 daje mierzony obszar 1,65 mm x 1,65 mm i rozdzielczość poziomą 1,65  $\mu\text{m}$  x 1,65  $\mu\text{m}$ .

### **Badania odporności korozyjnej**

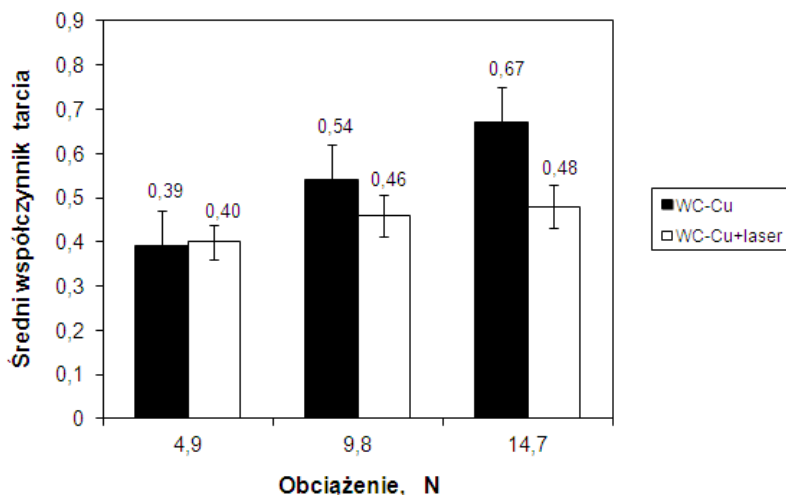
W celu wyznaczenia parametrów korozji stosuje się metodę ekstrapolacji krzywych Tafela. W ten sposób ustala się wartości gęstości prądu korozyjnego, dzięki którym można obliczyć szybkość korozji. Do pomiarów voltamperometrycznych użyto potencjostatu/galwanostatu firmy AutoLab, typ PGSTAT 128N, który był sterowany za pomocą programu NOVA 1.7 tej samej firmy. Reakcje korozyjne zachodziły w jednym z elementów aparatury pomiarowej, a mianowicie trójelektrodowym naczynku elektrolitycznym [L. 9–10].

Pomiary elektrochemiczne prowadzono głównie techniką polaryzacji potencjodynamicznej. W celu zbadania wpływu modyfikacji laserowej powłok WC-Cu na korozję elektrochemiczną podłoża zarejestrowano krzywe polaryzacyjne w 1 M kwaśnym roztworze jonów chlorkowych.

## **ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ**

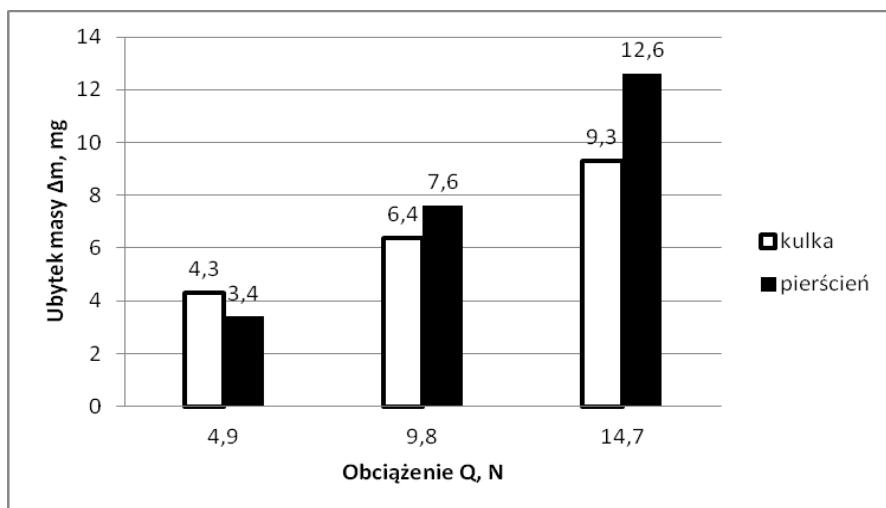
### **Badania tribologiczne**

Wartości średnie współczynnika tarcia powłok WC-Cu przedstawiono na wykresie (Rys. 2), z którego wynika, że wartości te rosną wraz ze zwiększającym się obciążeniem oraz że mniejsze wartości średnich współczynników tarcia występują dla powłoki WC-Cu modyfikowanej laserem. Wyjątkiem jest obciążenie 4,9 N, przy którym minimalnie mniejsza wartość średniego współczynnika tarcia wystąpiła dla powłoki WC-Cu bez modyfikacji laserowej. 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 z badaną powierzchnią.



Rys. 2. Średnie wartości współczynnika tarcia powłoki WC-Cu przed i po obróbce laserowej

Fig. 2. Medium values friction of the coating WC-Cu before and after laser treatment

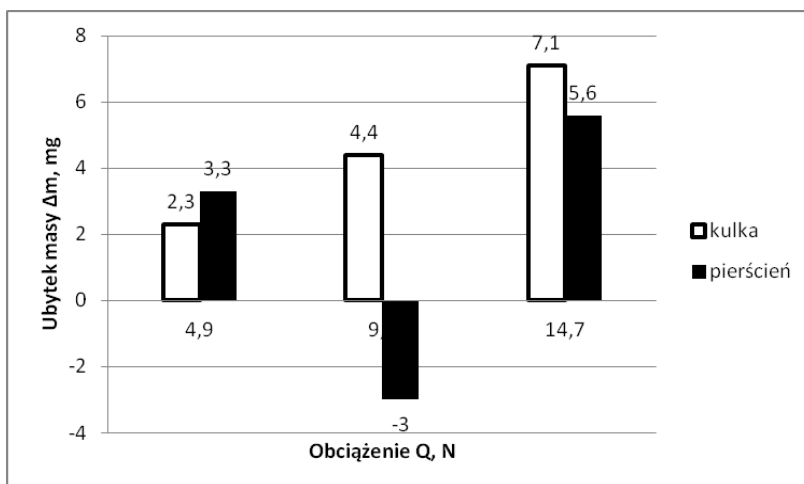


Rys. 3. Średnie ubytki masy kulki i pierścienia przy różnych obciążeniach (powłoka WC-Cu)

Fig. 3. Medium weight loss beads and a ring with different loads (coating WC-Cu)

Na wykresie (Rys. 3) przedstawione są ubytki masy pierścienia i kulki przy zadanych obciążeniach (pierścień z powłoką WC-Cu). Można zauważyć, że największy ubytek pierścienia z powłoką WC-Cu, jak i kulki występuje przy

obciążeniu 14,7 N. Ubytek pierścienia wynosi 0,0126 g, a ubytek kulki 0,0093 g. Ubytek pierścienia przy obciążeniu 9,8 N jest równy 0,0076 g, natomiast ubytek kulki przy tym obciążeniu wynosi 0,0064 g. Przy obciążeniu 4,9 N występuje najmniejszy ubytek pierścienia i wynosi 0,0034 g. Przy tym samym obciążeniu ubytek kulki również jest najmniejszy i po ukończeniu badania wynosi 0,0043 g.

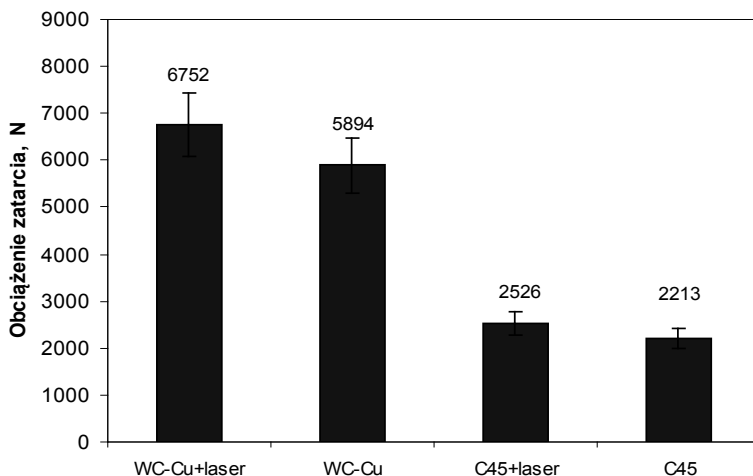


Rys. 4. Średnie ubytki masy kulki i pierścienia przy różnych obciążeniach (powłoka WC-Cu po obróbce laserowej)

Fig. 4. Medium mass loss of the ball and ring at different loadings (coating WC-Cu after laser treatment)

Na wykresie (**Rys. 4**) przedstawione są ubytki masy pierścienia i kulki przy zadanych obciążeniach (pierścienie z powłoką WC-Cu po obróbce laserowej). Można zauważyć, że ubytek masy pierścienia WC-Cu jest największy przy obciążeniu 14,7 N i po ukończeniu testu wynosi 0,0056 g. Przy tym obciążeniu również ubytek masy kulki jest największy i wynosi 0,0071 g. Przy obciążeniu 4,9 N ubytek masy pierścienia wynosi 0,0023 g, a ubytek masy kulki 0,0033 g. Przy obciążeniu 9,8 N mamy do czynienia z przyrostem masy pierścienia z naniesioną powłoką WC-Cu. Przyrost ten wynosi 0,003 g. W wyniku szczepiania adhezyjnego nastąpiło odpajanie materiału kulki i przeniesienie go na pierścienie. Ubytek masy kulki wynosi 0,0044 g.

Na wykresie (**Rys. 5**) 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 dla powłok nałożonych elektroiskrowo oraz stali C45.



**Rys. 5. Średnie wartości obciążenia zatarcia**

Fig. 5. Medium values seizure load

### Badania porowatości

Wyniki badań porowatości powłok WC-Cu przed i po obróbce laserowej przedstawiono w **Tabeli 1**. Analizując tabelę, można zauważyć, że nałożone powłoki mają większą porowatość w stosunku do powłok po obróbce laserowej. Obróbka laserowa (LBM) zmniejszyła porowatość powłok ponad 10-krotnie. Porowatość powłok WC-Cu mieściła się w zakresie 3,5÷6,3%, natomiast po LBM wyniosła 0,5÷0,1%. Stwierdzono również, że na wartość porowatości ma wpływ moc lasera. Wraz ze wzrostem mocy lasera zmniejszała się porowatość powłok WC-Cu. Mniejsza porowatość powłok elektroiskrowych wpływa korzystnie na ich właściwości eksploatacyjne, polepszając ich odporność korozyjną, przyczepność czy mikrotwardość.

**Tabela 1. Wyniki badań porowatości powłok WC-Cu przed i po obróbce laserowej**

Table 1. The results of the porosity of the coatings WC-Cu before and after laser treatment

| Powłoka                 | Porowatość [%] |     |     | Wartość średnia [%] |
|-------------------------|----------------|-----|-----|---------------------|
|                         | Numer pomiaru  |     |     |                     |
|                         | 1              | 2   | 3   |                     |
| WC-Cu                   | 5,7            | 6,3 | 3,5 | 5,2                 |
| WC-Cu +laser (P = 50 W) | 0,6            | 0,4 | 0,4 | 0,5                 |
| WC-Cu +laser (P = 60 W) | 0,4            | 0,2 | 0,1 | 0,2                 |
| WC-Cu +laser (P = 70 W) | 0,1            | 0,1 | 0,1 | 0,1                 |



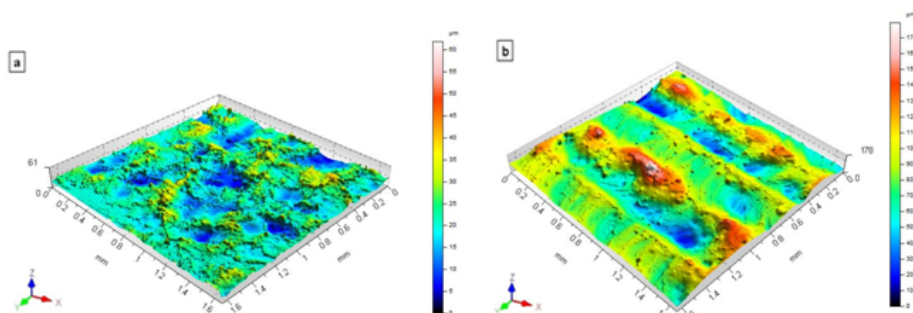
### Pomiary struktury geometrycznej powierzchni

Trójwymiarowe powierzchnie i ich analiza z wykorzystaniem oprogramowania TalyMap Platinum pozwoliły na dokładne poznanie struktury geometrycznej badanych powierzchni. Analiza wyników zawartych w **Tabeli 1** oraz obrazu topografii powierzchni próbek przedstawionej na **Rysunku 6** wskazuje, iż dla badanej powłoki WC-Cu zaobserwowano zwiększoną wartość parametru  $Sa$ , czyli średniego arytmetycznego odchylenia chropowatości powierzchni. Jest to podstawowy parametr amplitudowy do ilościowej oceny stanu analizowanej powierzchni. Zarejestrowano, iż dla próbek po obróbce laserowej parametr ten jest około 4–5-krotnie większy niż dla próbek przed obróbką. Podobną tendencję zaobserwowano dla średniokwadratowego odchylenia chropowatości powierzchni  $Sq$ .

**Tabela 2. Parametry struktury geometrycznej powierzchni powłoki WC-Cu**

Table 2. The parameters of the geometrical structure of the coatings surface WC-Cu

| Parametry SGP     | Powłoka |              |
|-------------------|---------|--------------|
|                   | WC-Cu   | WC-Cu+ laser |
| $Sa, \mu\text{m}$ | 4,42    | 18,57        |
| $Sq, \mu\text{m}$ | 5,71    | 24,11        |
| $Ssk$             | 0,06    | 0,23         |
| $Sku$             | 3,19    | 3,43         |
| $Sp, \mu\text{m}$ | 40,96   | 95,94        |
| $Sv, \mu\text{m}$ | 20,96   | 83,65        |
| $Sz, \mu\text{m}$ | 61,92   | 179,59       |



**Rys. 6. Topografia powierzchni próbek z powłoką WC-Cu: a) przed obróbką laserową, b) po obróbce laserowej**

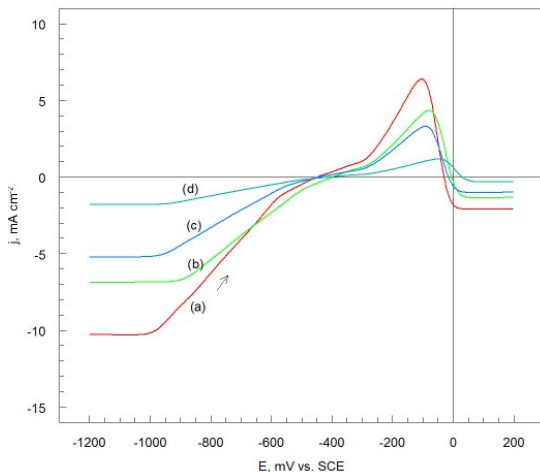
Fig. 6. The topography of the sample surface coated WC-Cu: a) before laser treatment, b) after laser treatment

Uzupełniającą informację na temat ukształtowania powierzchni badanych elementów dają parametry amplitudowe: współczynnik skośności – asymetrii  $Sku$  oraz współczynnik skupienia – kurtoza  $Ssk$ . Parametry te są wrażliwe na występowanie na powierzchni miejscowych wzniesień, wgłębień czy defektów.

Parametr  $Ssk$ , w przypadku wszystkich próbek ma wartości dodatnie, dla próbek przed obróbką laserową ma wartości bliskie zeru, co świadczy o symetrycznym położeniu rozkładu rzędnych względem płaszczyzny średniej. Uzyskane wartości kurtozy dla powłoki WC-Cu przed i po obróbce laserowej zbliżone są do wartości  $Sku = 3$ , co pokazuje, że rozkład rzędnych dla obu próbek jest zbliżony do rozkładu normalnego. Obróbka laserowa spowodowała zwiększenie głównych wartości parametrów struktury geometrycznej powierzchni powłok elektroerozyjnych w odniesieniu do parametrów SGP powłok przed obróbką laserową. Pozostałe wartości parametrów, tj.  $Sp$  (maksymalna wysokość szczytu),  $Sv$  (maksymalna głębokość doliny) oraz  $St$  (całkowita wysokość) są większe dla wszystkich rodzajów powłok po obróbce laserowej, co może być spowodowane efektem ruchu ciekłego metalu wywołanego siłami napięcia powierzchniowego.

### Badania odporności korozyjnej

Pomiary prowadzono w zakresie potencjału od -800 do -200 mV, szybkość zmiany potencjału elektrody wynosiła  $1 \text{ mVs}^{-1}$ . Krzywe polaryzacyjne (**Rys. 7**) posłużyły do wyznaczenia niektórych parametrów korozji stali, które zestawiono w **Tabeli 3**. W miarę zwiększania mocy wiązki laserowej potencjał korozji przesuwają się nieznacznie w kierunku wartości dodatnich, natomiast gęstość prądu korozji wyraźnie maleje. W związku z tym w przypadku powłoki WC-Cu szybkość korozji jest widocznie mniejsza w porównaniu ze stałą niezawierającą powłoki WC-Cu.



**Rys. 7. Wpływ mocy wiązki laserowej na nałożoną powłoką WC-Cu, roztwór zawierał 1MCl, moc lasera wynosiła (a) 0W; (b) 50W; (c) 60W; (d) 70W**

**Fig. 7. Effect of laser beam power at the coated WC-Cu solution contained 1MCl-, laser power was (a) 0 W; (b) 50W; (c) 60W; (d) 70W**

**Tabela 3. Wybrane parametry korozji oraz szybkość korozji powłok WC-Cu przed i po obróbce laserowej**

Table 3. Some parameters of corrosion and corrosion rate of coatings WC-Cu before and after laser treatment

| Powłoka                    | $E_{kor}$<br>[mV] | $j_{kor}$<br>[mA cm <sup>-2</sup> ] | $-b_c$      | $b_a$ | $K_{kor}$<br>[mm/h] |
|----------------------------|-------------------|-------------------------------------|-------------|-------|---------------------|
|                            |                   |                                     | [mV/j. log] |       |                     |
| WC-Cu                      | -450              | 0,30                                | -55         | 80    | 3,48                |
| WC-Cu +laser<br>(P = 50 W) | -380              | 0,55                                | -100        | 90    | 6,37                |
| WC-Cu +laser<br>(P = 60 W) | -360              | 0,20                                | -90         | 70    | 2,32                |
| WC-Cu +laser<br>(P = 70 W) | -350              | 0,19                                | -50         | 110   | 2,20                |

## WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych dotychczas badań oraz po przeanalizowaniu ich wyników, możemy stwierdzić, iż:

- Powierzchnię stali węglowej można modyfikować metodą obróbki elektroiskrowej, używając elektrod WC-Cu.
- Skoncentrowanym strumieniem wiązki laserowej można skutecznie modyfikować stan warstwy powłok elektroiskrowych WC-Cu i wpływać na poprawę ich właściwości użytkowych.
- Parametry struktury geometrycznej powierzchni powłok elektroiskrowych mają mniejsze wartości w odniesieniu do parametrów SGP powłok po obróbce laserowej.
- Zastosowanie obróbki laserowej do modyfikacji powłok WC-Cu nakładanych elektroiskrowo podniosło ich właściwości eksploatacyjne, a w szczególności zwiększyło ich odporność korozyjną i zmniejszyło porowatość.
- Modyfikacja laserowa powłok spowodowała spadek wartości współczynnika tarcia przy różnych obciążeniach oraz zwiększyła odporność na zacieraanie.

## LITERATURA

1. Antoszewski B., Evin E., Audy J.: Study of the effect of electro-spark coatings on friction in pin-on-disc testing. Journal of Tribology-Transactions of the ASME, 3 (2008), pp. 253–262.
2. Ribalko A.V., Sahin O.: The use of bipolar current pulses in electro-spark alloying of metal surfaces. Surface & Coatings Technology, 168 (2003), pp. 129–135.
3. Galinov I.V., Luban R.B.: Mass transfer trends during electrospark alloying. Surface & Coatings Technology, 79 (1996), pp. 9–18.

4. Chang-bin T., Dao-xin L., Zhan W., Yang G.: Electro-spark alloying using graphite electrode on titanium alloy surface for biomedical applications. *Applied Surface Science*, 257 (2011), pp. 6364–6371.
5. Radek N.: Determining the operational properties of steel beaters after electrospark deposition. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 4(2009), pp. 10–16.
6. Nowicki B., Pierzynowski R., Spadło S.: New possibilities of machining and electrodischarge alloying of free-form surfaces. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 109, 3 (2001), pp. 371–376.
7. Dowden J.: *The Theory of Laser Materials Processing. Heat and Mass Transfer in Modern Technology*, Springer, 2009.
8. Radek N., The influence of laser treatment on the microstructure and properties of the tungsten carbide electrospark coatings, *Adv. Manuf. Sci. Tech.*, 35 (2011) 59–71.
9. Scendo M., Radek N., Trela J., Influence of laser treatment on the corrosive resistance of WC-Cu coating produced by electrospark deposition, *Int. J. Electrochem. Sci.* 8 (2013), 9264–9277.
10. Singh A.K., Quraishi M.A., Investigation of adsorption of isoniazid derivatives at mild steel/hydrochloric acid interface: Electrochemical and weight loss methods, *Mater. Chem. Phys.* 123 (2010) 666–677.

## Summary

**The article presents a study on the effect of laser treatment on the tribological properties and geometric structure of WC-Cu coatings applied by spark. Based on observations of friction resistance test, measurements of porosity, corrosion resistance testing, and changes in the structure of the surface properties of the coatings were evaluated after laser treatment. The studies were conducted using WC-Cu electrodes, produced by sintering nanostructural powders. The anti-wear coatings were electrospark deposited over C45 carbon steel by means of EIL-8A, while the laser processing performed by electro coats were applied using Nd: YAG, BLS 720.**