

**Joanna KOWALCZYK\*, Monika MADEJ\*, Dariusz OZIMINA\***

## **OCENA WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNYCH POWŁOK SMAROWANYCH BIODEGRADOWALNĄ CIECZĄ CHŁODZĄCO-SMARUJĄCĄ**

### **THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF COATINGS LUBRICATED WITH A BIODEGRADABLE CUTTING FLUID**

#### **Słowa kluczowe:**

biodegradowalne ciecze obróbkowe, powłoka TiAlN, tarcie, zużycie

#### **Key words:**

biodegradable cutting fluids, TiAlN coating, friction, wear

#### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono wyniki badań tribologicznych powłok TiAlN osadzanych na stali HS6-5-2C techniką fizycznego osadzania z fazy gazowej PVD. Obserwacje struktury powłoki zrealizowano dzięki użyciu mikroskopu skaningowego SEM JSM – 7100F. Analizy struktury geometrycznej powierzchni powłok TiAlN przed i po testach tribologicznych wykonano profilometrem optycznym Talysurf CCI Lite. Badania tribologiczne przeprowadzono na testerze T-01 M pracującym w skojarzeniu trącym kula–tarcza w ruchu

---

\* Politechnika Świętokrzyska, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, al. Tysiąclecia Państwa Polskiego 7, 25-314 Kielce, Polska.

ślizgowym. Testy zrealizowano w warunkach tarcia technicznie suchego i ze smarowaniem cieczą chłodząco-smarującą zawierającą dodatek uszlachetniającej – asparginian cynku. Badania wykazały, że ciecz obróbkowa wpłynęła na powstanie przeciwтарыowych warstw granicznych, które zabezpieczyły przed bezpośrednim kontaktem powierzchni współpracujących таріowych. Wpłynęło to na zmniejszenie oporów ruchu oraz dodatkowo, ze względu na właściwości metaloorganicznych związków cynku, zapewniło ochronę antykorozyjną w czasie prowadzenia testów.

## WPROWADZENIE

Podczas obróbki skrawaniem cieczy chłodząco-smarujące (CFS) mają kluczowe znaczenie, gdyż chłodzą i smarują narzędzia skrawające oraz obrabiany przedmiot, a także usuwają wióry. Dodatkowe funkcje uzyskiwane podczas stosowania chłodziw to poprawa żywotności narzędzi tnących, efektywności procesu obróbki, poprawienie dokładności obrabianych części, redukcja wibracji, ochrona przed korozją, minimalizacja sił tnących, a co za tym idzie oszczędność energii [L. 1, 2].

W skład cieczy obróbkowych wchodzi mineralny olej bazowy, emulgatory oraz środki powierzchniowo czynne, inhibitory korozji, dodatki przeciwzatarciowe, wysokiego ciśnienia – EP oraz przeciwzużyciowe – AW, inhibitory piany, biocydy i inne [L. 3]. Ten złożony skład przyczynia się do toksycznego niszczenia ekosystemu w wyniku mieszania się chłodziw z powietrzem, glebą oraz wodą. Kiedy cieczy obróbkowe odparowują i rozpylają się w postaci pary oraz mikrocząstek, wywołują poważne problemy zdrowotne, takie jak rak płuc, choroby układu oddechowego, dermatologiczne, a także genetyczne [L. 1].

Ekologiczne i medyczne problemy związane z wykorzystaniem chłodziwa przyczyniły się do coraz częstszego stosowania obróbki skrawaniem na sucho. W przypadku tych operacji, które nie mogą być przeprowadzone ze względów technologicznych lub ekonomicznych na sucho pożądane jest zastosowanie ekotoksykologicznie nieszkodliwych, szybko biodegradowalnych cieczy chłodząco-smarujących. Toksyczne dodatki modyfikujące muszą być wyeliminowane, a ich odpowiednie funkcje przekazane narzędziu, a mianowicie powierzchni narzędzia pokrytej powłoką [L. 4].

Cienkie i twarde powłoki uzyskuje się w procesach chemicznego CVD oraz fizycznego PVD osadzania z fazy gazowej. Cieszą się one coraz większym zainteresowaniem w wielu gałęziach techniki ze względu na doskonałe właściwości tribologiczne – niskotarciowe i przeciwzużyciowe oraz odporność korozyjną, dużą twardość, a także stabilność termiczną. Ponadto parametry te mogą być kontrolowane poprzez wybór metody nanoszenia i składu powłoki [L. 2, 5]. Wykorzystanie cienkich, twardych powłok na narzędzia skrawające ma wiele zalet, takich jak: dobre odprowadzanie ciepła, wytrzymałość na zużycie, odpor-

ność na ścieranie oraz korozję, niski współczynnik tarcia i w związku z tym wydłużenie trwałości eksploatacyjnej narzędzi [L. 2]. Dzięki zastosowaniu powłok na narzędzia skrawające możliwa jest obróbka z minimalną ilością cieczy obróbkowej MQL [L. 6, 7]. Chłodzenie minimalną ilością cieczy obróbkowej ma znaczne korzyści. Części obrabiane są smarowane niewielką ilością chłodziwa, w wyniku bardzo małej pozostałości smaru na wiórach, narzędziu i przedmiocie obrabianym czyszczenie tych powierzchni jest mniej czasochłonne oraz tańsze. Ponadto recykling wiórów jest znacznie łatwiejszy, ponieważ obszar obróbki nie jest zalany. Zastosowanie minimalnej ilości cieczy obróbkowej MQL przyczynia się do ochrony środowiska, poprawy warunków pracy i ekonomii obróbki. Jest ona szeroko stosowana w wielu procesach, takich jak wiercenie, frezowanie, toczenie oraz szlifowanie [L. 6–10].

Zawarte w cieczach chłodząco-smarujących dodatki uszlachetniające – przeciwwżyciowe w wyniku reakcji tribochemicznych przyczyniają się do powstawania powłok ochronnych, które działają jako środek smarujący, zmniejszają zużycie i tarcie pomiędzy dwiema oddziałującymi powierzchniami. Wszystkie te dodatki mogą być zaangażowane w tworzenie się na powierzchni filmu. Skład filmu zależy od warunków pracy, kontaktu powierzchni, obciążenia, a także czystości dodatków uszlachetniających [L. 11, 12].

Autorzy monografii [L. 12] przedstawili innowacyjną metodę wytwarzania powłok na przedmiotach maszyn wykonanych ze stali oraz żeliwa. Sposób ten polegał na tym, że w czasie toczenia zastosowano ciecz chłodząco-smarującą – roztwory wodne zawierające kompleksowe związki metali, np. miedzi, cynku i innych. W wyniku zjawisk tribologicznych na nożu tokarskim oraz nowo odkrywanej powierzchni obrabianego przedmiotu powstały powłoki wykonane z metali zawartych w cieczy chłodząco-smarującej użytej podczas toczenia. Powstałe powłoki można poddawać chromowaniu sposobem elektrolitycznym, omijając gruntowne wytrawianie, jak również zostawić je bez dodatkowych obróbek, gdyż pełnią rolę powłok dekoracyjnych, a także przeciwkorozyjnych [L. 12].

W pracy [L. 2] przedstawiono wyniki badań tribologicznych powłok diamentopodobnych DLC typu a-C:H osadzanych na stali HS6-5-2C techniką chemicznego osadzania z fazy gazowej CVD wspomaganej plazmą PACVD w warunkach tarcia z zastosowaniem biodegradowalnej cieczy chłodząco-smarującej zawierającej asparginiany cynku. Badania wykazały, że ciecz obróbkowa wpłynęła na powstanie przeciwtarciowych warstw granicznych, które zabezpieczyły przed bezpośrednim kontaktem powierzchni współpracujących tarciowo. Wpłynęło to na zmniejszenie oporów ruchu oraz dodatkowo zapewniło ochronę antykorozyjną w czasie prowadzenia testów.

W monografii [L. 13] wykazano zasadność stosowania międzywarstwy TiN w celu poprawy właściwości tribologicznych powłok TiN/a-C:H:W na elementach stalowych.

Powszechnie wiadomo, że na intensywność zużywania tribologicznego wpływają zastosowane środki smarowe. W niniejszej pracy uwzględniono wpływ cieczy obróbkowych zawierających asparginian cynku na właściwości tribologiczne analizowanych systemów z powłokami TiAlN.

## APARATURA I METODYKA BADAŃ

Dzięki użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego JSM 7100F obserwowano topografię powierzchni oraz przekroje poprzeczne, a mikroanalizator EDS umożliwił określenie składu chemicznego powłoki TiAlN. Ponadto po testach tribologicznych wykonano obraz obszaru, który powstał po tarciu z zastosowaniem biodegradowalnej cieczy chłodząco-smarującej wraz z analizami punktowymi pierwiastków w miejscach charakterystycznych.

Analizę struktury geometrycznej powierzchni tarcz z naniesioną powłoką przed oraz po testach tribologicznych wykonano profilometrem optycznym Talysurf CCI Lite [L. 14].

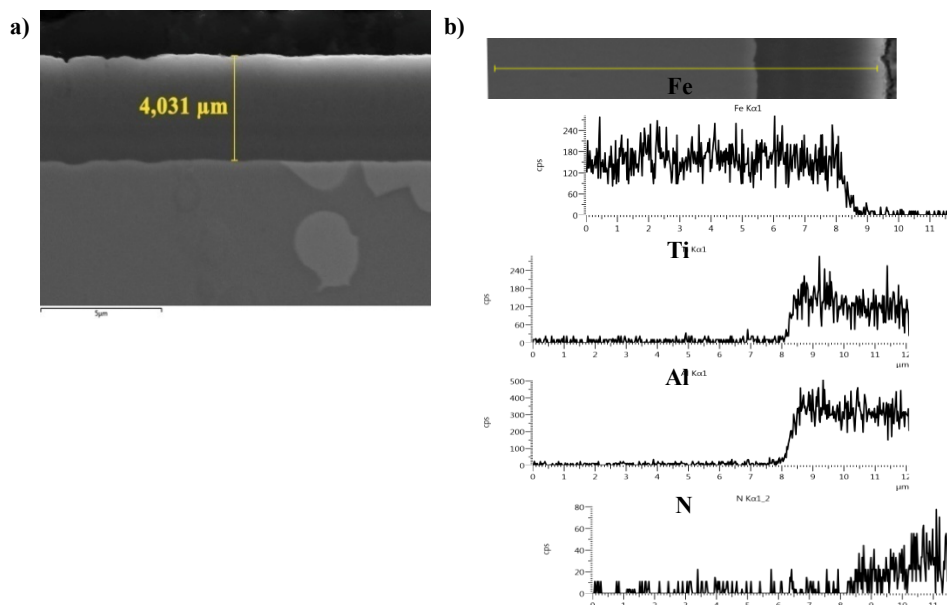
Badania tribologiczne przeprowadzono na testerze T-01M pracującym w skojarzeniu trącym kula-tarcza. Tarcza wykonana była ze stali narzędziowej HS6-5-2C z naniesioną powłoką TiAlN, a kula ze stali 100Cr6. Testy zrealizowano przy stałej prędkości ślizgania  $n = 0,1$  m/s, obciążeniu  $P = 50$  N w atmosferze laboratoryjnej przy wilgotności względnej  $50 \pm 5\%$  i temperaturze  $23 \pm 1^\circ\text{C}$ . Badania przeprowadzono w warunkach tarcia technicznie suchego i ze smarowaniem z zastosowaniem biodegradowalnej cieczy chłodząco-smarującej. Użyte do badań biodegradowalne chłodziwo stosowane jest do obróbki metali. Jego skład oparty jest na bazie wody demineralizowanej DEMI, boranie alkanoloaminy oraz dodatku przeciwzuzyciowym, biodegradowalnym polimerze – 5% vol. wodnym roztworze asparginianu cynku.

## WYNIKI BADAŃ

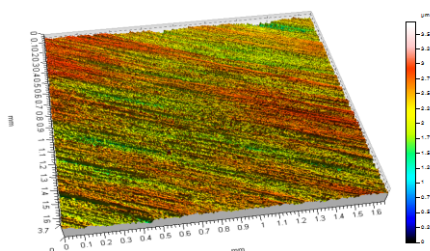
Na **Rysunku 1** przedstawiono obrazy SEM powłoki TiAlN stosowanej na narzędzia do obróbki metali. **Rysunek 1a** przedstawia przekrój poprzeczny powłoki osadzonej na stali HS6-5-2C z pomiarem jej grubości równej  $4,031 \mu\text{m}$ . Analiza EDS (**Rysunek 1b**) wykazała obecność następujących pierwiastków: tytan – Ti, glin – Al, azot – N [L. 2].

**Rysunek 2 i 3** obrazują topografię oraz profil chropowatości powierzchni tarczy z powłoką TiAlN.

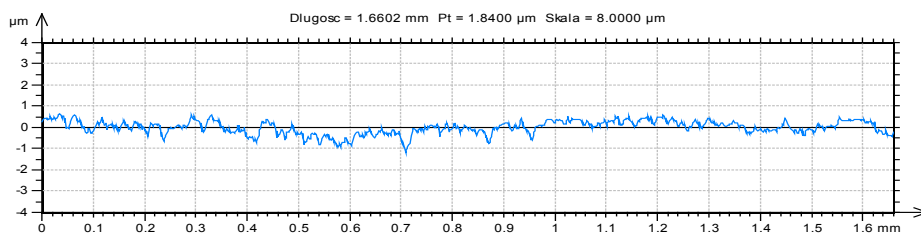
Współczynniki tarcia zarejestrowane podczas tarcia technicznie suchego i z użyciem cieczy chłodząco-smarującej CFS o stężeniu 5% dla skojarzenia stal HS6-5-2C z powłoką TiAlN – stal 100Cr6 przedstawiono na **Rysunku 4**.



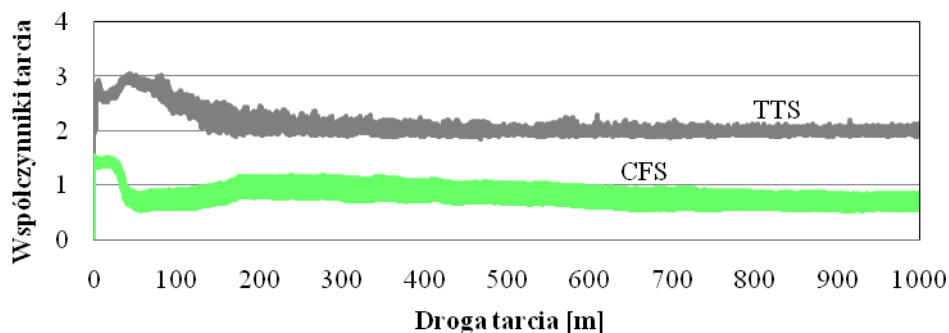
**Rys. 1. SEM: a) przekrój poprzeczny powłoki TiAlN, b) analiza EDS**  
 Fig. 1. SEM: a) cross section of the TiAlN coating, b) EDS analysis



**Rys. 2. Topografia powierzchni tarczy ze stali HS6-5-2C z powłoką TiAlN**  
 Fig. 2. The surface topography disc made of HS6-5-2C with TiAlN coating



**Rys. 3. Profil powierzchni tarczy ze stali HS6-5-2C z powłoką TiAlN**  
 Fig. 3. The roughness profile disc made of HS6-5-2C with TiAlN coating



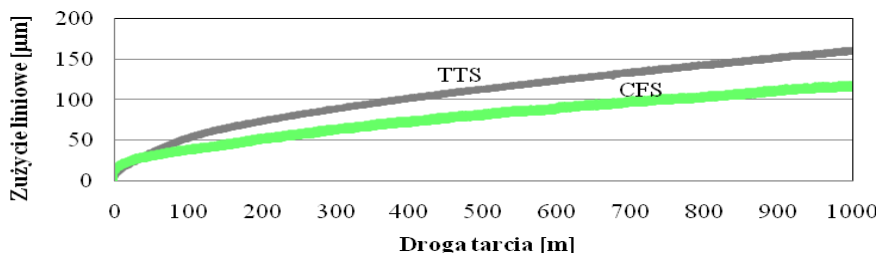
**Rys. 4. Współczynniki tarcia po tarcii technicznie suchym TTS i ze smarowaniem cieczą chłodząco-smarującą CFS**

Fig. 4. Coefficients of friction under dry friction conditions TDF and lubricated friction conditions using a cooling/cutting fluid CFS

Po tarcii technicznie suchym współczynnik tarcia wzrósł gwałtownie na drodze tarcia od  $S = 0$  do  $S = 10$  do wartości  $\mu \cong 2,9$ . Następnie zmalał i wzrósł do wartości  $\mu \cong 3,1$  na drodze tarcia  $S = 70$ . Po czym malał i na końcu testu osiągnął wartość  $\mu \cong 2,0$ . Przy zastosowaniu badanej cieczy obróbkowej dla skojarzenia stal HS6-5-2C z powłoką TiAlN – stal 100Cr6 współczynnik tarcia wzrastał gwałtownie na drodze tarcia od  $S = 0$  m do  $S = 9$  m do wartości  $\mu \cong 1,5$ . Później stabilizował się i na drodze tarcia  $S = 40$  m gwałtownie spadał, osiągając wartość  $\mu \cong 0,7$ . Po czym wzrastał i malał, a na końcu testu osiągnął wartość  $\mu \cong 0,7$ . W wyniku zastosowania cieczy chłodząco-smarującej zawierającej 5% asparginianu cynku dla skojarzenia z powłoką TiAlN zaobserwowano bardziej ustabilizowany charakter krzywej obrazującej współczynnik tarcia. Ponadto był on o wiele niższy niż po tarcii bez chłodziwa.

Na **Rysunku 5** zaprezentowano wyniki zużycia liniowego po tarcii technicznie suchym i ze smarowaniem cieczą obróbkową CFS dla skojarzenia stal HS6-5-2C z powłoką TiAlN – stal 100Cr6.

Po tarcii technicznie suchym zużycie liniowe od  $w = 0$   $\mu\text{m}$  wzrosło gwałtownie do wartości  $w \cong 60$   $\mu\text{m}$  na drodze tarcia  $S = 100$ . Po czym dalej wzrastało, lecz łagodniej i na końcu testu osiągnęło wartość  $w \cong 160$   $\mu\text{m}$ . Natomiast po tarcii ze smarowaniem z użyciem badanej cieczy obróbkowej zużycie liniowe gwałtownie wzrastało na drodze tarcia od  $S = 0$  m do  $S = 10$  m do wartości  $w \cong 30$   $\mu\text{m}$ . Później dalej wzrastało, lecz łagodniej i na końcu testu osiągnęło wartość  $w \cong 119$   $\mu\text{m}$ . Dzięki użyciu cieczy chłodząco-smarującej zawierającej 5% asparginianu cynku odnotowano bardziej ustabilizowany charakter krzywej obrazującej zużycie liniowe. Również było ono zdecydowanie mniejsze niż po tarcii technicznie suchym.

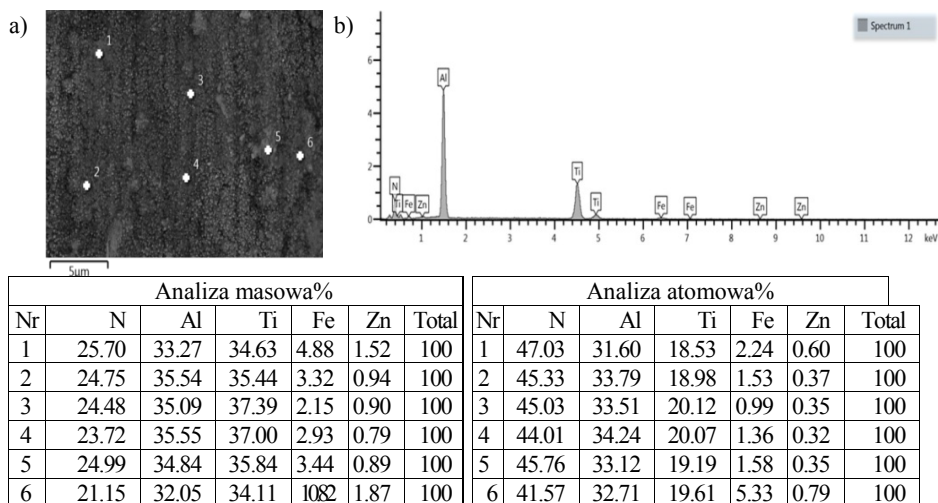


**Rys. 5. Zużycia liniowe po tarcii technicznie suchym TTS i ze smarowaniem cieczą chłodząco-smarującą CFS**

Fig. 5. Wears under dry friction conditions TDF and lubricated friction conditions using a cooling/cutting fluid CFS

## MIKROSKOPIA SKANINGOWA SEM/EDS

Na **Rysunku 6** przedstawiono obraz obszaru, który powstał po tarcii z zastosowaniem biodegradowalnej cieczy chłodząco-smarującej zawierającej asparginian cynku wraz z analizami punktowymi pierwiastków w miejscach charakterystycznych dla drogi tarcia równej 1000 m przy obciążeniu 50 N. Na powierzchni tarczy występuje duża koncentracja atomów glinu, tytanu, azotu, a mniejsza cynku oraz żelaza.

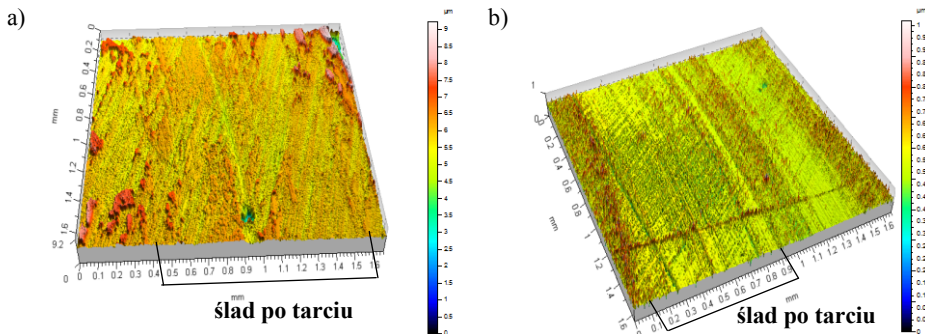


**Rys. 6. SEM: a) widok obszaru śladu zużycia tarczy ze stali stal HS6-5-2C z powłoką TiAlN po współpracy tarciorowej z CFS na drodze tarcia 1000 m przy obciążeniu 50 N, b) analiza punktowa pierwiastków**

Fig. 6. SEM: a) view of the area wear track of the disc made of HS6-5-2C with TiAlN coating after friction with CFS on a sliding distance of 1000 m at a load of 50 N, b) the EDS spectra analysis

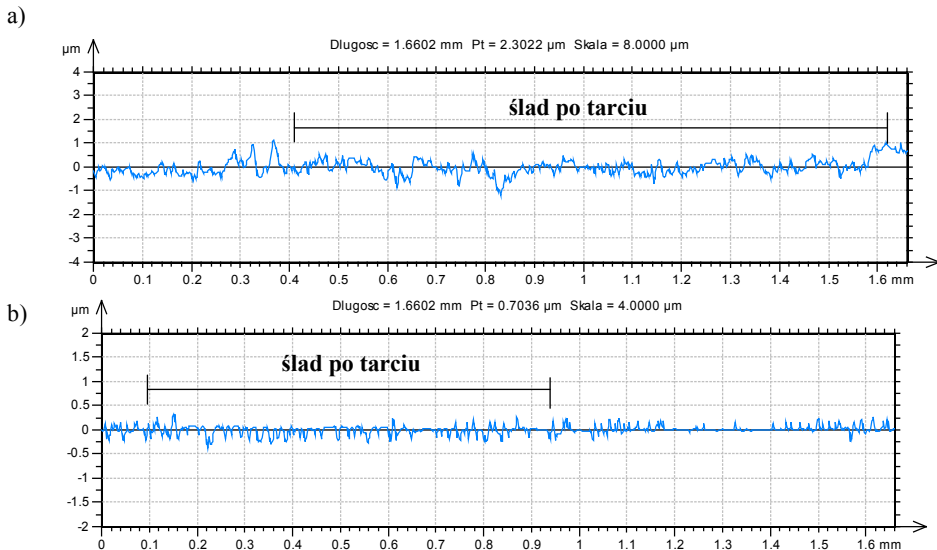
W miejscu tarcia widać obszary pokryte cienką, błyszczącą warstwą cynku – obszary ciemniejsze. Warstwy te wyróżniły się dobrą efektywnością przeciwwuzyciową i są one odnawialne dzięki powinowactwu elektrochemicznemu atomów cynku do powierzchni traczy.

Na **Rysunkach 7–10** przedstawiono strukturę geometryczną powierzchni tarcz oraz kul po testach tribologicznych dla badanych skojarzeń tarciovych.



**Rys. 7. Topografia powierzchni tarczy ze stali HS6-5-2C z powłoką TiAlN współpracującą z kulą ze stali 100Cr6: a) TTS, b) z CFS**

Fig. 7. The surface topography disc made of HS6-5-2C with TiAlN coating cooperative with ball made of 100Cr6 steel: a) TDF, b) with CFS

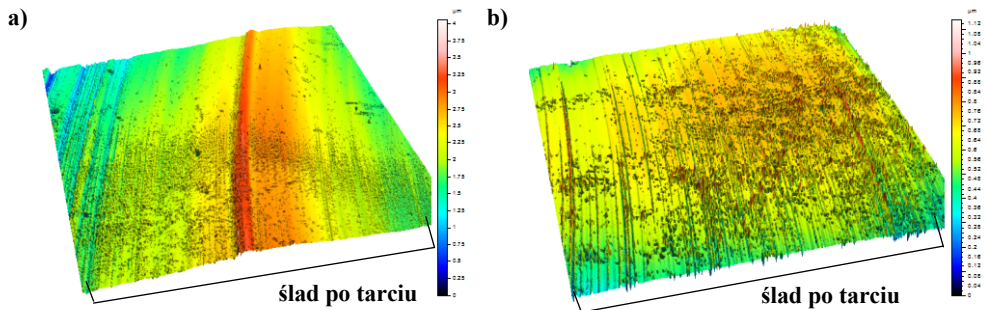


**Rys. 8. Profil powierzchni tarczy ze stali HS6-5-2C z powłoką TiAlN współpracującą z kulą ze stali 100Cr6: a) TTS, b) z CFS**

Fig. 8. The roughness profile disc made of HS6-5-2C with TiAlN coating cooperative with ball made of 100Cr6 steel: a) TDF, b) with CFS

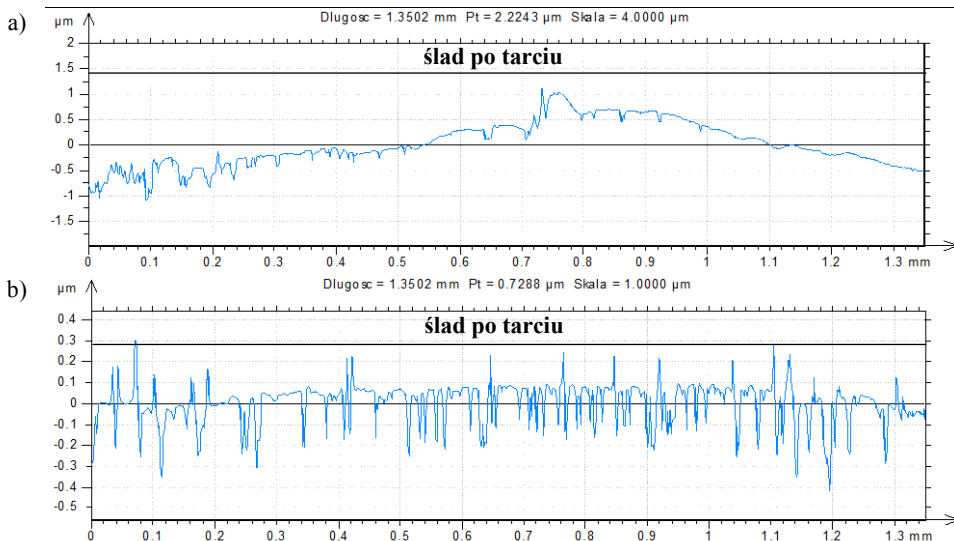


Z analizy porównawczej profilów chropowatości sporządzonych dla tarcz po testach tribologicznych wynika, że dla tarczy z powłoką TiAlN po tarcu technicznie suchym zaobserwowano zużycie w postaci wgłębienia o wysokości ok.  $0,5 \mu\text{m}$ , a po teście tribologicznym z cieczą chłodząco-smarującą zaobserwowano niewielkie żłobienia ok.  $0,2 \mu\text{m}$ . Oznacza to, że użyte chłodziwo przyczyniło się do zmniejszenia zużycia powłoki TiAlN. Porównując profile powierzchni kul (**Rysunek 8a i 8b**), można zauważyć tę samą zależność, mniejsze żłobienia i wzniesienia odnotowano po tarcu z cieczą obróbkową.



**Rys. 9.** Topografia powierzchni kuli ze stali 100Cr6 z powłoką TiAlN współpracującej z tarczą ze stali HS6-5-2C: a) TTS, b) z CFS

**Fig. 9.** The surface topography ball made of 100Cr6 steel with TiAlN coating cooperative with disc made of HS6-5-2C: a) TDF, b) with CFS



**Rys. 10.** Profil powierzchni kuli ze stali 100Cr6 z powłoką TiAlN współpracującej z tarczą ze stali HS6-5-2C: a) TTS, b) z CFS, c) TTS

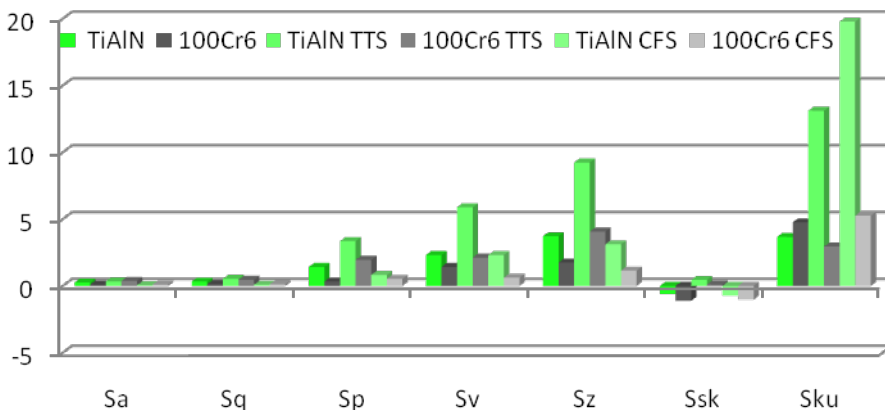
**Fig. 10.** The roughness profile ball made of 100Cr6 steel with TiAlN coating cooperative with disc made of HS6-5-2C: a) TDF, b) with CFS

W **Tabeli 1** przedstawiono najważniejsze parametry chropowatości tarcz i kul przed oraz po testach tribologicznych.

**Tabela 1. Parametry chropowatości powierzchni tarcz – powłoka TiAlN i kul – stal 100Cr6**  
Table 1. Surface roughness parameters of discs – HS6-5-2C steel and balls – 100Cr6 steel

Nazwa		Parametry chropowatości powierzchni		Sa	Sq	Sp	Sv	Sz	Ssk	Sku
				μm	μm	μm	μm	μm	-	-
Przed	TiAlN	Tarcza		0,25	0,32	1,41	2,30	3,71	-0,61	3,66
	100Cr6	Kula		0,10	0,13	0,32	1,41	1,74	-1,11	4,75
Po	TTS	TiAlN	Tarcza	0,34	0,53	,35	,88	,23	0,44	13,11
		100Cr6	Kula	0,37	0,45	1,94	2,11	4,06	0,10	2,94
	CFS	TiAlN	Tarcza	0,05	0,08	0,81	2,30	3,11	-0,73	19,78
		100Cr6	Kula	0,09	0,12	0,52	0,61	1,14	-1,02	5,25

Diagramy na **Rysunku 11** przedstawiają parametry chropowatości tarcz ze stali HS6-5-2C z naniesioną powłoką TiAlN przed i po testach tribologicznych. Największe rozrzuty wysokości zaobserwowano dla parametrów amplitudowych: Ssk – współczynnika skośności powierzchni (asymetrii) i Sku – współczynnika nachylenia powierzchni. Parametry te są wrażliwe na charakterystyczne wzniesienia oraz wgłębienia, a także defekty. Wartości parametrów Ssk w przypadku tarcz po testach tribologicznych mają wartości ujemne, świadczy to o płaskowyzowym ukształtowaniu ich powierzchni.



**Rys. 11. Parametry chropowatości tarcz – HS6-5-2C z powłoką TiAlN przed i po teście tribologicznym**

Fig. 11. Surface roughness parameters of discs – HS6-5-2C with TiAlN coating before and after tribological test

Parametr  $Sku$  – kurtoza jest miarą smukłości krzywej rozkładu rzędnych, zwaną także współczynnikiem skupienia. Dla normalnego rozkładu rzędnych  $Sku = 3$ . Uzyskane wartości kurtozy świadczą o tym, że rozkłady rzędnych dla obu tarcz nie są zbliżone do rozkładu normalnego.

## WNIOSKI

Aktualne trendy rozwojowe obowiązujące w technice eksploatacyjnej wyznały kierunek badań podjętych przez nasz zespół, którego podstawowym celem było zastosowanie proekologicznych płynów eksploatacyjnych oraz powłok o podwyższonych właściwościach przeciwzużyciowych. Biodegradowalne ciecze chłodząco-smarujące oraz powłoki na narzędzia skrawające stanowią stale rozwijający się obszar badawczy. Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Analiza topografii powierzchni przeprowadzona za pomocą profilometru optycznego wykazała, że po testach tribologicznych z zastosowaniem cieczy chłodząco-smarującej na tarczy z naniesioną powłoką TiAlN i kuli nastąpiło zmniejszenie śladu tarcia w porównaniu z tarciami technicznie suchymi.
2. Cienkie, twarde powłoki TiAlN naniesione na elementy stalowe, które są narażone na zużywanie tribologiczne doskonale spełniają funkcje ochronne dodatkowo intensyfikowane poprzez wprowadzenie do systemu tribotechnologicznego biodegradowalnych cieczy obróbkowych.
3. Wyniki z analizy SEM/EDS po tarcu z zastosowaniem cieczy chłodząco-smarującej zawierającej asparginian cynku wykazały, że na powierzchni w miejscu tarcia powstała cienka warstwa związków cynku, która zmniejsza współczynnik tarcia oraz zużycie.
4. Stosowana do badań ciecz chłodząco-smarująca zawierająca asparginian cynku zapewnia stabilną pracę systemu tribotechnologicznego i wpływa na zmniejszenie współczynnika tarcia oraz zużycia elementów trących badanych systemów.
5. Na podstawie przeprowadzonych badań można zakładać, że zastosowanie powłoki TiAlN na narzędzia skrawające w systemie tribotechnologicznym z biodegradowalną cieczą obróbkową chłodząco-smarującą powinno podnieść walory eksploatacyjne tego systemu.

## LITERATURA

1. Cetin M.H., Ozcelik B., Kuram E., Demirbas E.: Evaluation of vegetable based cutting fluids with extreme pressure and cutting parameters in turning of AISI 304L by Taguchi method, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 19, 17–18, 2011, s. 2049–2056.

2. Madej M., Kowalczyk J., Ozimina D.: Właściwości tribologiczne powłok DLC smarowanych biodegradowalną cieczą chłodząco-smarującą, *Tribologia*, nr 5, 2014, s. 101–112.
3. Jagadevan S., Jayamurthy M., Dobson P., Thompson I.P.: A novel hybrid nano zerovalent iron initiated oxidation – Biological degradation approach for remediation of recalcitrant waste metalworking fluids, *Water Research*, Vol. 46, 7, 2012, s. 2395–2404.
4. Klockel F., Krieg T., Lugscheide E., Bobzin K.: Testing and Design of Tool Coatings with Properties Adapted to the Use of Biodegradable Cutting Fluids, *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, Vol. 50, 1, 2001, s. 57–60.
5. Madej M.: Właściwości systemów tribologicznych z powłokami diamentopodobnymi, M46, Wyd. PŚk, Kielce 2013.
6. Hassan M., Qayyum A., Ahmad S., Mahmood S., Shafiq M., Zakaullah M., Lee P., Rawat R.S.: DLC coating on stainless steel by pulsed methane discharge in repetitive plasma focus, *Applied Surface Science*, Vol. 303, 2014, s. 187–195.
7. Kuttianimattom W.J., Jose P.: Property Analysis of PVD Deposited DLC, TiAlN, CrAlN, TiN Coating on Gray Cast Iron, *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering*, Vol. 3, 3, 2014, s. 54–57.
8. Cloutier M., Harnagea C., Hale P., Seddiki O., Rosei F., Mantovani D.: Long-term stability of hydrogenated DLC coatings: Effects of aging on the structural, chemical and mechanical properties”, *Diamond & Related Materials*, Vol. 48, 2014, s. 65–72.
9. Stachowiak A., Zwierzycki W., Tribocorrosion modeling of stainless steel in a sliding pair of pin-on-plate type, *Tribology International*, Vol. 44, 2011, s. 1216–1224.
10. Najiha M.S., Rahman M.M.: A computational fluid dynamics analysis of single and three nozzles minimum quantity lubricant flow for milling, *International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME)*, Vol. 10, 2014, s. 1891–1900.
11. Ozimina, D.: Przeciwwzyciowe warstwy wierzchnie w układach tribologicznych, 33, Wyd. PŚk, Kielce 2002.
12. Marzec S., Pytko S.: Tribologia procesów skrawania metali. Nowe ciecze chłodząco-smarujące, Wyd. i Zakład Poligrafii Instytutu Technologii Eksploatacji, Kraków 1999.
13. Ozimina D.: Eksploatacja systemów tribologicznych. Tom I. Znaczenie tribologii w eksploatacji obiektów technicznych M48, Wyd. PŚk, Kielce 2013.
14. Adamczak S.: Pomiary geometryczne powierzchni. Zarysy kształtu, falistość i chropowatość, WNT, Warszawa 2008, s. 151–196.

## Summary

**This paper presents the tribological results of on investigations of TiAlN coatings that were deposited on HS6-5-2C steel using the physical vapour deposition PVD technique. An observation of the coating structure was carried out using a scanning electron microscope SEM JSM - 7100F. Examinations of the geometric structures of the surface TiAlN coating before and after tribological tests were performed using an optical profilometer Talysurf CCI Lite. The tribological tests were performed using a T-01 M tester working in a ball-on-disk combination in sliding movement. Tests were carried out under friction with lubrication using cutting fluid containing improved additive-zinc aspartate. Studies have shown that the cutting fluid influenced the formation of anti-wear surface layers, which are secured against the direct contact of rubbing surfaces. This had the effect of reducing the resistance movement and, in addition, provided protection against corrosion during tests.**