

Monika MADEJ*, Dariusz OZIMINA*

WŁAŚCIWOŚCI TRIBOLOGICZNE POWŁOK DIAMENTOPODOBNYCH SMAROWANYCH CIECZAMI JONOWYMI

THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF DIAMOND-LIKE CARBON COATINGS UNDER IONIC LIQUIDS LUBRICATION

Słowa kluczowe:

powłoki diamentopodobne DLC, PVD, SEM, ciecze jonowe, tarcie, zużycie tribologiczne

Key words:

diamond like carbon coatings DLC, PVD coatings, SEM, ionic liquids, friction, tribological wear

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań powłok diamentopodobnych typu TiN/ /a-C:H:W otrzymywanych techniką fizycznego osadzania z fazy gazowej PVD na elementach ze stali SW7M. Strukturę i topografię powłoki badano z użyciem skaningowego mikroskopu elektronowego – SEM oraz profilometru. Analizy składu chemicznego wykonano z zastosowaniem spektroskopii wyładowania jarzeniowego GDOES. Właściwości tribologiczne badano z użyciem testera

* Politechnika Świętokrzyska w Kielcach, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Al. 1000-lecia PP 7, 25-314 Kielce, Polska.

T-01M podczas tarcia technicznie suchego i smarowania wybranymi cieczami jonowymi: tetrafluoroboranem 1-butylo-3-metyloimidazoliowym, BMIBF₄ oraz bis(trifluorometylosulfonylo)amidkiem triheksyloctetradecylofosfoniowym. Wyniki otrzymane podczas zrealizowanych badań wykazały, że zastosowanie powłok diamentopodobnych zdecydowanie poprawia właściwości tribologiczne, które dodatkowo mogą być zwiększane poprzez zastosowanie cieczy jonowych.

WPROWADZENIE

Podczas eksploatacji maszyn i urządzeń ulegają one zużyciu, prowadzącemu w efekcie do obniżenia trwałości, a nawet do całkowitej destrukcji elementu lub zespołu. Aby temu zapobiec i jednocześnie zmniejszyć straty ekonomiczne, inżynierowie i naukowcy stale podejmują działania mające na celu wydłużenie okresu pracy maszyn i zwiększenie ich trwałości eksploatacyjnej. Właściwości użytkowe wielu elementów części maszyn zależą nie tylko od możliwości przeniesienia obciążeń mechanicznych, ale także od struktury i właściwości warstw powierzchniowych [L. 1, 2].

Rozwój wiedzy i techniki powoduje, że konieczne jest wytwarzanie nowych typów materiałów, których właściwości użytkowe byłyby lepsze. Przy stale wzrastających potrzebach przemysłu klasyczne materiały powłokowe są zastępowane przez nowsze. Technologie zwiększające trwałość elementów roboczych w warunkach eksploatacji przy występowaniu zmiennych oddziaływań o charakterze tribologicznym, zmęczeniowym, korozyjnym powszechnie nazywane są technologiami przeciwwuzyciowymi [L. 1, 3], a powłoki i warstwy wierzchnie nimi otrzymane powłokami i warstwami przeciwwuzyciowymi.

CHRAKTERYSTYKA POWŁOK DIAMENTOPODOBNYCH I CIECZY JONOWYCH

Powłoki diamentopodobne zostały odkryte przez Aisenberga i Chabota [L. 4], którzy ochładzając niskoenergetyczną wiązkę jonów węglowych w argonie otrzymali amorficzne warstwy niezawierające w swym składzie wodoru. Odkrycie to stało się przełomowe, a w ostatnich latach nastąpił znaczny postęp w tematyce badawczej i aplikacyjnej dotyczącej powłok diamentopodobnych [L. 2, L. 5–11]. Amorficzny węgiel może być mieszaniną atomów z wiązaniami sp^3 , sp^2 , a nawet sp^1 z możliwą obecnością wodoru. Powłoki diamentopodobne charakteryzują się dużą różnorodnością struktury, a ich właściwości zależą przede wszystkim od sposobu i parametrów ich wytwarzania. Równie ważnym czynnikiem wpływającym na ich właściwości jest stosunek wiązań sp^2 występujących w graficie do wiązań sp^3 występujących w strukturze diamentu. Powłoki diamentopodobne mogą być modyfikowane metalami (W, Ti, Nb, Cr, V, Co, Mo) oraz niemetalami (H, Si, F, N, O, P, B) a wprowadzenie ich zachowuje nadal jej amorficzny charakter i jednocześnie poprawia wymienione właści-

wości użytkowe [L. 6–8]. W Tabeli 1 przedstawiono porównanie właściwości warstw diamentopodobnych z właściwościami diamentu naturalnego i grafitu [L. 7]. Powłoki DLC w porównaniu z powszechnie stosowanymi w technice eksploatacyjnej materiałami metalowymi, ceramicznymi, spełniają zdecydowanie większe wymagania: charakteryzują się stabilnością mechaniczną i fizykochemiczną [L. 9].

Tabela 1. Porównanie właściwości diamentu naturalnego, grafitu oraz powłok diamentopodobnych [L. 7]

Table 1 Comparison of the properties of diamond, graphite and diamond-like coatings

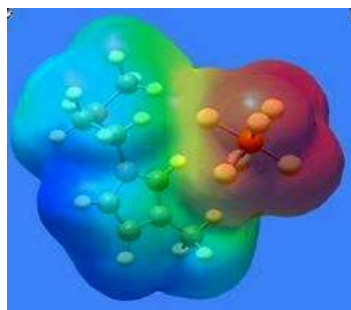
Material (powłoka)	Metoda nanoszenia	Gęstość g/cm ³	Twardość GPa	Moduł Younga GPa	Oporność elektryczna Ωcm
Diament		3,52	80÷102	1100	10 ¹⁶ ÷10 ²⁰
Grafit		2,26	miękki		5x10 ⁻⁵
ta-C (95% sp ³)	PVD (FCA)	2,1	80	750	10 ¹⁴
ta-C	PVD (PLD)	1,8÷2	27÷70	300÷700	10 ¹⁰ ÷10 ¹⁴
a-C:H	PACVD	1,5÷2	10÷35	50÷280	10 ⁷ ÷10 ¹⁴
a-C	PVD (MS, IP)	1,8÷2,4	8÷50	110÷700	10 ⁻¹ ÷10 ⁷
a-C:N	PVD (FCA)	1,7÷2,5	40÷60	200÷280	–

Powłoki diamentopodobne DLC charakteryzują się: wysoką twardością (10–60 GPa), niskim współczynnikiem tarcia (mniejszy niż 0,1), wysoką odpornością na ścieranie (aż do 10⁻⁷ mm³/Nm⁻¹), trwałością chemiczną, wysokim oporem elektrycznym (10¹⁶ Ωcm) oraz przezroczystością w widzialnym i infraczerwonym spektrum. Oprócz parametrów określających właściwości powłok diamentopodobnych DLC, jak: sposób wytwarzania, rodzaj powłoki, rodzaj i koncentracja wiązań sp³, sp² i sp¹, koncentracja wodoru i modyfikacja wymienionymi pierwiastkami, znaczącą rolę w wielkościach charakteryzujących tarcie i zużywanie mają warunki prowadzenia testów tarciovych [L. 2, 7, 10, 12].

Powłoki DLC ze względu na unikatowe właściwości znajdują szerokie spektrum zastosowań, między innymi w: przemyśle elektronicznym – jako warstwy ochronne magnetycznych dysków twardych, a także matryc nośników CD i VD; w przemyśle samochodowym; w postaci powłok na elementy silnika – skojarzenie popychacz/krzywka, pierścienie tłokowe, sworzeń tłokowy, elementy sprzęgła, elementy pomp paliwowych, tłoki, podkładki, tuleje, zawory iglicowe; w medycynie: na elementy mające kontakt z krwią: układ sercowo-naczyniowy (zastawki, stenty, pompy krwi), wszczepy ortopedyczne: implanty stawów biodrowych, kolanowych, ramieniowych; w przemyśle tekstylnym jako pokrycia elementów maszyn; przy formowaniu wtryskowym jako pokrycia matryc; jako pokrycia MEMS-ów i NEMS-ów.

Drugą ważną grupę materiałów znajdujących zastosowanie w smarowanych węzłach tarcia stanowią ciecze jonowe. Ciecze jonowe (ang. *ionic liquids*

ILs) to substancje organiczne, charakteryzujące się umiarkowaną temperaturą topnienia, niższą od temperatury wrzenia wody. Szczególną grupę stanowią sole, które topią się w temperaturach niższych niż pokojowa (25°C), nazywane są one „niskotemperaturowymi cieczami jonowymi” (ang. *RTIL* – *room-temperature ionic liquids*). Nazwa ciecze jonowe nie dotyczy jedynie związków jonowych topiących się w temperaturze pokojowej, a wszystkich związków jonowych topiących się poniżej 100°C. Ze względu na unikatowe właściwości umożliwiające różnorakie stosowanie w wielu dziedzinach przemysłu związki te, począwszy od początku lat 90. ubiegłego stulecia, są bardzo szeroko i intensywnie badane [L. 13–18]. Uogólniony model cząsteczki cieczy jonowej (Rys. 1) zaproponowany został przez Zhou i współautorów [L. 14].



Rys. 1. Model cząsteczki cieczy jonowej [L. 14]

Fig. 1. Molecular model of ionic liquid [L. 14]

Zastosowanie cieczy jonowych jako środków smarowych po raz pierwszy zaproponowano w 2001 roku. Dobre właściwości smarowe cieczy jonowych są rezultatem ich polarnej budowy, zdolności do wytwarzania silnie zaadsorbowanych, uporządkowanych warstw oraz tribochemicznych oddziaływań z powierzchnią metali [L. 13]. Znane są ciecze, które zachowują płynność w temperaturach poniżej -50°C, wykazują wysoką trwałość termiczną, są niepalne i nietlne oraz zapewniają wymagane warunki smarowania [L. 16]. Ciecze jonowe stanowią grupę związków szczególnie kwalifikujących je do zastosowań jako środki smarowe z powodu unikatowych właściwości, takich jak:

- lepkość,
- dobra zwilżalność,
- szeroki zakres temperaturowy występowania stanu ciekłego,
- wysoka odporność termiczna,
- nietlność,
- niepalność,
- dobre przewodnictwo cieplne ułatwiające odprowadzanie ciepła z obszaru tarcia,
- podatność na odzyskiwanie i recykling [L. 16, L. 17, L. 18].

W badaniach właściwości tribologicznych cieczy jonowe najczęściej porównuje się z komercyjnymi olejami mineralnymi, w tym z olejem silnikowym 15W40 oraz z olejami syntetycznymi, jak np. X-1P, PFPE, PAO. Stwierdzono, że cieczy jonowe jako środki smarowe mają właściwości tribologiczne porównywalne lub lepsze od komercyjnych środków smarowych, w tym PFPE i X-1P, wykazując jednocześnie wysoką odporność termiczną i wytrzymałość na obciążenia [L. 18]. Ciecze jonowe stanowią atrakcyjną alternatywę dla klasycznych mineralnych i syntetycznych środków smarowych, wykazując także w warunkach ekstremalnych zasługujące na szczególną uwagę właściwości smarowe, przeciwzużyciowe i wysoką zdolność do przenoszenia obciążeń. Wynika to z polarnej budowy cieczy jonowych i zdolności do wytwarzania silnie zaadsorbowanych, uporządkowanych warstw na powierzchni metali.

Analizując bardzo obiecujące wyniki dotychczasowych badań cieczy jonowych, warto zauważyć, że stosowanie cieczy jonowych w tribologii wymaga rozwiązania wielu problemów związanych z właściwościami korozyjnymi oraz oddziaływaniem cieczy jonowych na stosowane uszczelnienia lub powłoki. Badania tribologiczne z zastosowaniem cieczy jonowych jako środków smarowych nowej generacji stanowią uzupełnienie wiedzy z zakresu smarowania systemów tribologicznych z powłokami diamentopodobnymi.

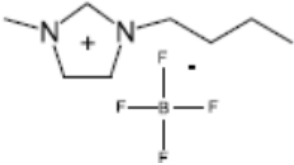
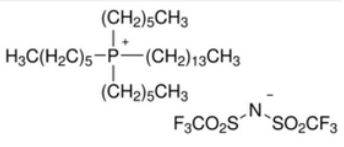
MATERIAŁ I METODYKA BADAŃ

Materiały do badań

W pracy uwzględniono wykorzystanie na elementy systemów tribologicznych powłok diamentopodobnych. Celem pracy było przeprowadzenie analizy wpływu powłoki oraz zastosowania cieczy jonowych jako środków smarowych na charakterystyki tribologiczne badanych systemów. Powłoki osadzano na stali narzędziowej szybko tnącej SW7M, charakteryzującej się bardzo dobrą ciągliwością, udarnością i odpornością na ścieranie. Jej twardość po ulepszeniu cieplnym w temperaturze 500°C wynosi 65 HRC. Powłoki dwuwarstwowe TiN/a-C:H:W uzyskiwano w następujących procesach fizycznego osadzania z fazy gazowej PVD: powłoki TiN metodą parowania łukowego – Arc Evaporation w temperaturze 500°C, natomiast powłoki a-C:H:W < 250°C metodą rozpylania jonowego.

Konwencjonalne środki smarowe z pakietami dodatków przeciwzużyciowych zazwyczaj zawierają substancje toksyczne. Wyeliminowanie z systemu tribologicznego niekorzystnych, z ekologicznego punktu widzenia, klasycznych dodatków smarowych i zastąpienie ich bardziej ekologicznymi substancjami możliwe jest dzięki zastosowaniu cieczy jonowych [L. 13, 14, 17, 18]. W pracy uwzględniono wpływ cieczy jonowych na właściwości tribologiczne analizowanych systemów z powłokami diamentopodobnymi.

Tabela 2. Budowa i właściwości fizyczne cieczy jonowych
 Table 2. Structure and physical properties of ionic liquids

Nazwa chemiczna	Tetrafluoroboran 1-butylo-3-metyloimidazoliowy	bis(trifluorometylosulfonyl)imidek triheksyloctetradecylofosfoniowy
Wzór chemiczny	$C_8H_{15}N_2BF_4$	$C_{34}H_{68}F_6NO_4PS_2$
Skrót	(BMIBF ₄)	–
Budowa		
Masa cząsteczkowa, g/mol	226	764
Gęstość, g/cm ³	1,21	1,06

Metodyka prowadzenia testów

Struktura i skład chemiczny powłok

Badania struktury obejmowały obserwacje topografii powierzchni i przekrojów poprzecznych. Realizowano je dzięki użyciu skaningowej mikroskopii elektro- nowej – SEM wraz ze spektrometrią z dyspersją energii – EDS służącej do ana- lizy koncentracji i rozkładu w warstwie wierzchniej pierwiastków ją tworzą- cych. W badaniach struktury posłużono się również mikroskopem JSM 7100F firmy JEOL wyposażonym w detektor energii EDS. Badania obejmowały obser- wacje topografii powierzchni i przekrojów poprzecznych powłok, a mikroana- liza punktowa pozwoliła na zbadanie składu pierwiastkowego. Bardzo użyteczną techniką w zakresie analizy składu chemicznego i rozłożenia poszczególnych pierwiastków była analiza GDOES. Analiza GDOES (ang. *glow discharge opti- cal emission spektrometry*) realizowana była z użyciem spektrometru firmy Jobin Yvon Horiba z wyładowaniem jarzeniowym o częstotliwości fal radio- wych (RF). Jakościowe analizy powierzchniowe posłużyły do wyznaczenia rozkładu pierwiastków w głąb od powierzchni badanej próbki i pokazały zmia- ny sygnału napięciowego dla poszczególnych pierwiastków w funkcji czasu.

Badania tribologiczne

Najpopularniejszym urządzeniem do oceny właściwości tribologicznych skoja- rzeń materiałowych jest maszyna badawcza typu kula–tarcza. Badania tribolo- giczne z użyciem testera T-01M, prowadzono przy następujących parametrach:

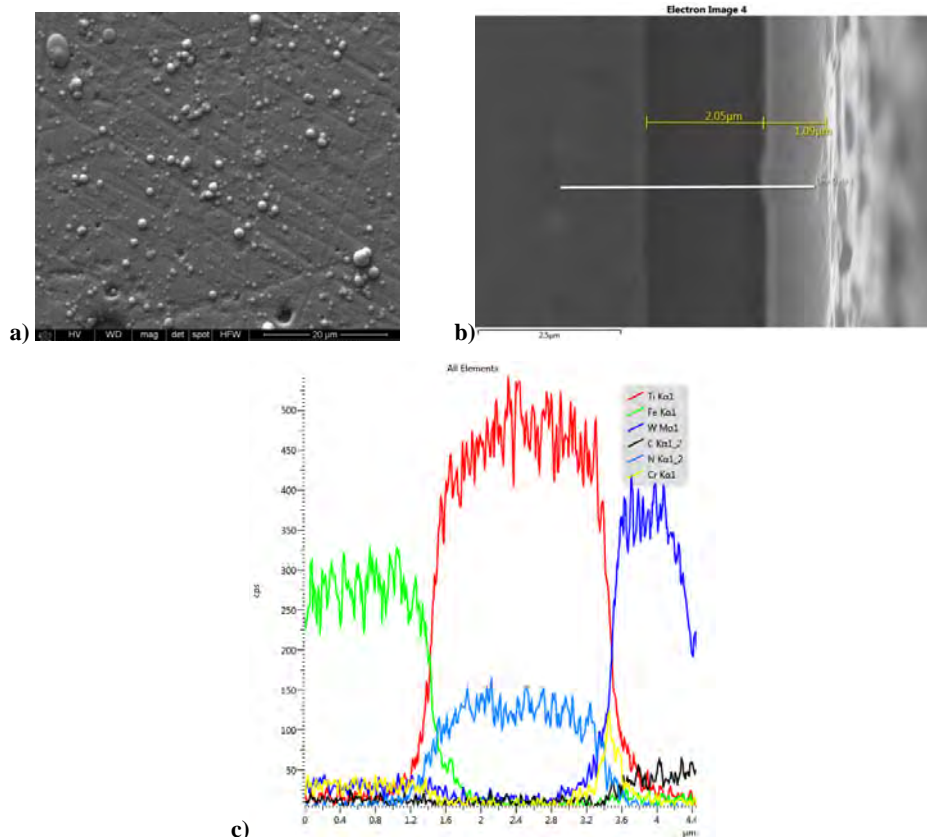
- skojarzenie trące: kulka ze stali 100Cr6 – tarcza ze stali SW7M, kulka ze stali 100Cr6 – tarcza ze stali SW7M z powłoką TiN/a-CH:W,
- obciążenie $P = 10\text{ N}$,
- prędkość ślizgania $v = 0,1\text{ m/s}$,

- droga tarcia $s = 1000$ m,
- warunki wilgotności względnej $55 \pm 5\%$,
- temperatura otoczenia $T_0 = 22 \pm 1^\circ\text{C}$.

WYNIKI BADAŃ I Dyskusja

Struktura i skład chemiczny powłok

Badania struktury przeprowadzone na elektronowym mikroskopie skaningowym obejmowały obserwacje topografii powierzchni i przekrojów poprzecznych powłok diamentopodobnych. Na **Rysunku 2a** przedstawiono obraz topografii powierzchni powłok TiN/a-C:H:W, na **Rysunku 2b** przekrój poprzeczny powłoki z pomiarem jej grubości oraz na **Rysunku 2c** liniowy rozkład pierwiastków.

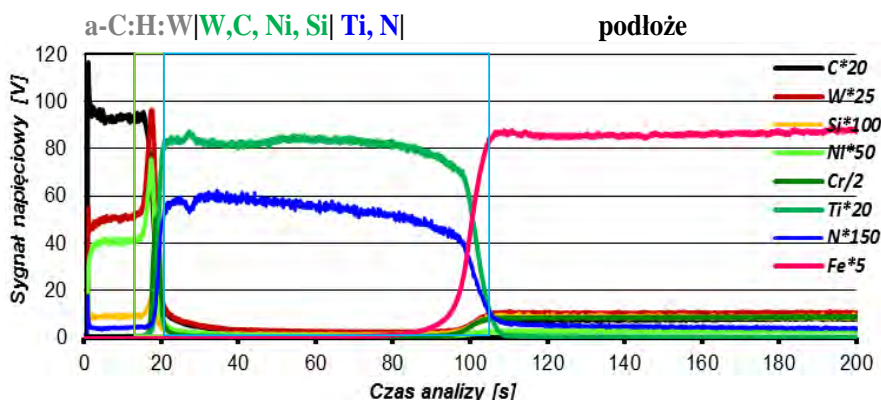


Rys. 2. SEM: a) topografia powierzchni; b) mikrostruktura w przekroju poprzecznym wraz z pomiarem grubości; c) analiza liniowa rozkładu pierwiastków powłok diamentopodobnych

Fig. 2. SEM: a) the surface topography; b) the cross-section with the thickness measurement; c) analysis of the distribution of elements of diamond coatings

Obraz SEM topografii powierzchni powłok diamentopodobnych pokazuje, że badane powłoki charakteryzują się niejednorodnością struktury – powłoki zawierają wyraźne wtrącenia węgla wolframu będącego komponentem warstwy powierzchniowej. Przekroje poprzeczne powłok DLC umożliwiły określenie ich grubości wynoszącej odpowiednio dla powłok TiN 0,96 μm , a dla powłoki a-C:H:W 1,09 μm .

Analizy składu chemicznego powłok dokonano z użyciem spektroskopu z wyładowaniem jarzeniowym GDOES. Pozwoliła ona na analizę rozkładu pierwiastków powłok w przekrojach poprzecznych – od powierzchni powłoki do podłoża (**Rys. 3**).



Rys. 3. Jakościowy rozkład pierwiastków powłoki TiN/a-C:H:W

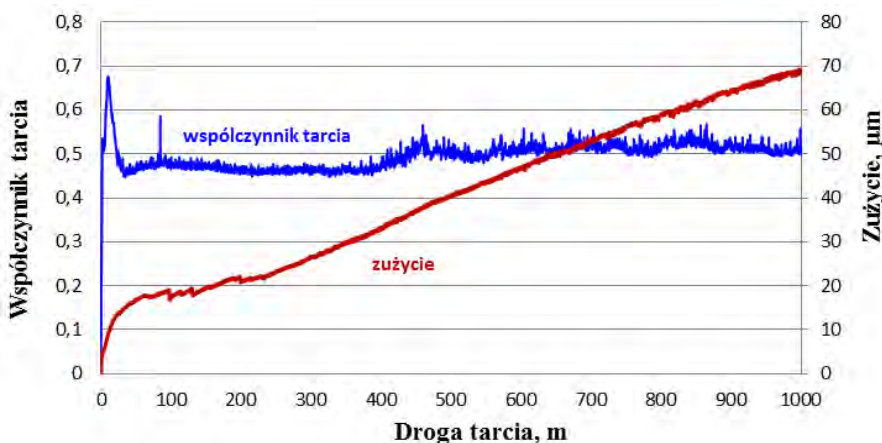
Fig. 3. Qualitative distribution of elements of the TiN/ a-C: H: W coating

Właściwości tribologiczne

Ocenę właściwości tribologicznych w makroskali realizowano na urządzeniu typu kula–tarcza – aparat T-01M w ruchu ślizgowym w warunkach tarcia technicznie suchego. Testy tribologiczne przeprowadzone na aparacie T-01M realizowano dla stali SW7M oraz powłok diamentopodobnych w skojarzeniach z kulką stalową. Wyniki badań przedstawiono w formie wykresów zmian współczynnika tarcia oraz zużycia. Na **Rysunku 4** przedstawiono charakterystyki tribologiczne uzyskane dla materiału podłoża – stali SW7M w warunkach tarcia technicznie suchego w skojarzeniu z kulką ze stali 100Cr6. Na **Rysunku 5** zestawiono wartości współczynników tarcia i zużycia elementów pokrytych powłoką TiN/a-C:H:W w warunkach tarcia technicznie suchego i smarowania cieczeniami jonowymi.

Testy wykonane dla elementów bez pokrycia pokazują wzrost współczynnika tarcia w początkowej fazie testu od wielkości $\mu = 0,5$ do $\mu \approx 0,68$, którym towarzyszą zmiany wielkości zużycia w zakresie od $0 \approx 16 \mu\text{m}$. Na tym etapie

tarcia następuje docieranie obszaru tarcia i przekształcenie technologicznej warstwy wierzchniej TWW w eksploatacyjną warstwę wierzchnią EWW – stabilizacja oddziaływań powierzchni ze składnikami atmosfery otoczenia. Przejawia się to ustaleniem wielkości średniej współczynnika tarcia na poziomie $\mu \approx 0,5$ oraz stałym wzrostem zużycia liniowego węzła tarcia. W dalszej części prowadzenia testu przy ustalonej wielkości oporów tarcia wielkość zużycia narasta, osiągając wartość $\approx 69 \mu\text{m}$ na drodze tarcia $s = 1000 \text{ m}$.

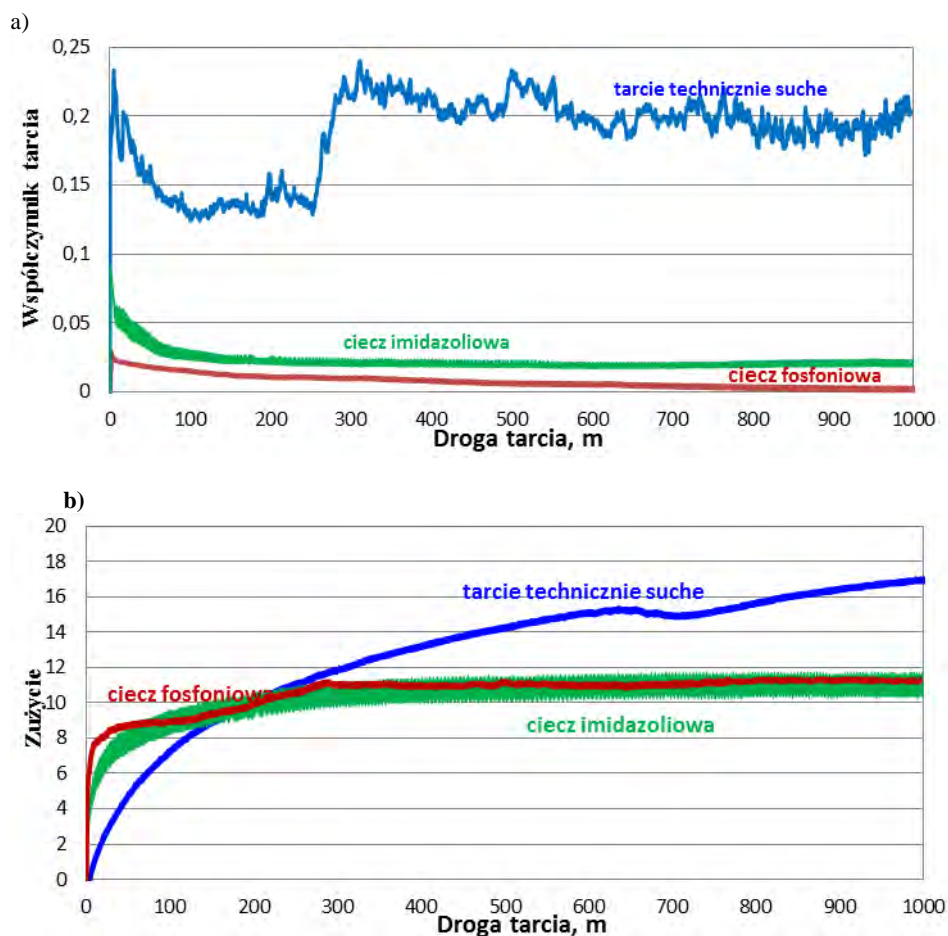


Rys. 4. Współczynniki tarcia i zużycie zarejestrowane podczas tarcia technicznie suchego dla skojarzenia stal 100Cr6–stal SW7M

Fig. 4. Coefficient of friction and wear recorded during dry friction for steel 100Cr6–steel SW7M

Z przedstawionych powyżej wykresów (**Rys. 5**) wynika, że wartości współczynników tarcia powłok TiN/a-C:H:W podczas tarcia technicznie suchego po początkowym wzroście współczynnika tarcia do wartości 0,20 następuje spadek do wartości $\sim 0,13$ i utrzymanie takiego stanu do momentu przebycia 250 m. Następnie na drodze 250–300 m obserwuje się ponowny wzrost wartości współczynnika tarcia do poziomu $\sim 0,20$ i utrzymanie tego stanu do końca trwania testu. Bardziej stabilny charakter krzywych obrazujących współczynniki tarcia uzyskano podczas smarowania cieczami jonowymi. Najmniejsze wartości współczynnika tarcia zarejestrowano podczas smarowania cieczą fosfoniową – średni współczynnik tarcia podczas testów wynosił 0,01, podczas gdy dla smarowania cieczą imidazoliową 0,02. Zdecydowanie mniejsze wartości zużycia zarejestrowano podczas testów dla skojarzenia stal 100Cr6 z powłoką TiN/a-C:H:W podczas smarowania cieczami jonowymi. W przypadkach smarowania cieczą imidazoliową oraz fosfoniową krzywe obrazujące zużycie w bardzo dużym stopniu pokrywają się. Sumaryczne zużycie liniowe elementów węzłów tarcia w przypadku braku smarowania powłok TiN/a-C:H:W cie-

czami jonowymi ma o ponad 50% większą wartość niż w przypadku smarowania cieczami jonowymi. Umożliwia to stwierdzenie, że niskotarciowy i przeciwzużyciowy charakter powłok diamentopodobnych może być dodatkowo intensyfikowany poprzez zastosowanie cieczy jonowych jako substancji smarowych.



Rys. 5. Zmiany: a) współczynnika tarcia oraz b) zużycia zarejestrowane podczas tarcia technicznie suchego i smarowania cieczami jonowymi

Fig. 5. Graphs of the: a) coefficient of friction, and b) wear recorded during dry friction and lubrication of ionic liquids

WNIOSKI

Obserwacje struktury wykazały zgodność budowy powłok z zakładaną podczas procesów ich wytwarzania, a spektroskopia z wyładowaniem jarzeniowym

GDOES dała informacje o elementarnym składzie chemicznym powłok, zweryfikowano również ich grubość zmierzoną podczas badań na mikroskopie SEM.

Podczas prowadzenia badań tarciovych uzyskano zróżnicowane charakterystyki tribologiczne w zależności od stosowanych substancji smarowych. Węzły tarcia elementów pokrytych powłokami diamentopodobnymi DLC charakteryzują się lepszymi właściwościami tribologicznymi w porównaniu z węzłami bez pokrycia w warunkach tarcia technicznie suchego. Zastosowanie powłok diamentopodobnych na elementach węzłów tarcia powoduje zdecydowaną poprawę właściwości tribologicznych w odniesieniu do stali. Umożliwia to stwierdzenie, że powłoka diamentopodobna osadzona na elementach narażonych na zużywanie tribologiczne w warunkach tarcia technicznie suchego może przejąć funkcje przeciwzużyciowe środków smarowych. Zatem możliwe jest zwiększenie odporności na zużycie tribologiczne badanych systemów przy jednoczesnym wyeliminowaniu szkodliwych dla środowiska naturalnego pakietów dodatków smarnościowych poprzez: po pierwsze odpowiedni dobór powłoki diamentopodobnej, a po drugie poprzez dobór odpowiedniej cieczy jonowej jako środka smarowego.

LITERATURA

1. Burakowski T., Wierzchoń T.: *Surface Engineering of Metals*. CrC Press. Boca – Raton – London – New York – Washington D.C., 1999.
2. Madej M.: The effect of TiN and CrN interlayers on the tribological behavior of DLC coatings, *Wear*, 317, 2014, 179–187.
3. Szczerek M., Wiśniewski M. (red.): *Tribologia i tribotechnika*, ITeE, Radom 2000.
4. Aisenberg S., Chabot R.: Ion-beam deposition of thin film soft diamond-like carbon, *Journal Applied Physics*, 42, 1971, 2953–2956.
5. Abdollah M., Yamaguchi Y., Akao T., Inayoshi N., Miyamoto N., Tokoroyama T., Umehara N.: Deformation-wear transition map of DLC coating under cyclic impact loading, *Wear*, 274–275, 2012, 435–441.
6. Bosman M., Keast Y., Watanabe M., McCulloch D., Shakerzadeh M., Teo E., Tay B.: Quantitative, nanoscale mapping of sp^2 percentage and crystal orientation in carbon multilayers, *Carbon*, 47, 2009, 94–101.
7. Donnet C., Erdemir A. (Editors): *Tribology of diamond-like carbon films. Fundamentals and applications*, Springer, New York 2008.
8. Kalin M., Velkavrh I.: Non-conventional inverse – Stribeck – curve behaviour and other characteristics of DLC coatings in all lubrication regimes, *Wear* 297, 2013, 911–918.
9. Michalczewski R., Piekoszewski W.: Wear and friction of low friction coatings in dry conditions, *Finish Journal of Tribology*, 26, 2007, 9–21.
10. Ozimina D., Madej M.: Ocena właściwości jedno- i wielowarstwowych powłok DLC, *Tribologia* 2, 2010, 119–135.

11. Zdravecká E., Suchánek J., Vojs M., Tkáčová J., Gmíterko A., Madej M.: Study of DLC coatings on micro and macro level, Proc. EUROCORR 2007, Freiburg, 2007, 321–326.
12. Hintermann H.: Adhesion, friction and wear of thin hard coatings, Wear, 100, 1984, 301–312.
13. Kałdoński T.J., Stańczyk M., Gryglewicz Ł., Kałdoński T.: Wstępne badania właściwości smarowościowych i powierzchniowych wybranych cieczy jonowych, Biuletyn WAT, Vol. LXI, nr 1, 2012, 280–297.
14. Zhou F., Liang Y., Liu W.: Ionic liquids lubricants: designed chemistry for engineering applications, Chemical Society Reviews, 38, 2009, 2590–2599.
15. Madej M., Marczevska-Boczkowska K., Ozimina D.: Wpływ wolframu na odporność powłok diamentopodobnych stosowanych w przemyśle chemicznym, Przemysł Chemiczny, 93/4, 2014, 500–505.
16. Greaves T., Drummond C.: Protic ionic liquids: properties and applications, Chemical Reviews, 108, 2008, 206–237.
17. Marczevska-Boczkowska K.: Badania właściwości korozyjnych nowoczesnych środków smarnych – dialkiloimidazoliowych cieczy jonowych, Wyd. Politechniki Lubelskiej, Lublin 2010.
18. Minami I.: Ionic liquids in tribology, Molecules, 14, 2009, 2286–2305.

Summary

This paper presents the results of TiN / a-C: H: W diamond like carbon coatings deposited using the physical vapour deposition PVD process on SW7M steel. The topography and cross-section analysis of the coatings were examined using a scanning electron microscope – SEM. Analysis of chemical composition was performed by using glow discharge spectroscopy GDOES and energy dispersive spectroscopy EDS. The tribological properties were tested using T-01M tester. In friction pairs operating under dry friction conditions, the elements coated with diamond-like carbon had better tribological properties than elements without coatings. Similar results were obtained for boundary lubrication conditions with 1-butyl-3-methyl-imidazolium tetrafluoroborate (BMIBF₄) and trihexyltetradecylphosphonium bis(trifluoromethylsulfonyl)amide ionic liquids as the lubricants. The results obtained during the tests carried out indicated that the application of diamond coatings considerably improves tribological properties. Additionally the use of ionic liquids resulted in an increase in the friction properties of the systems.