

Benigna Szeptycka¹

Instytut Mechaniki Precyzyjnej, ul. Duchnicka 3, 01-796 Warszawa

FUNKCJONALNE ELEKTROLITYCZNE POWŁOKI KOMPOZYTOWE Ni-SiC-PTFE

Elektrolityczne powłoki kompozytowe Ni-SiC-PTFE otrzymano drogą elektroosadzania z niskostężeniowego elektrolitu Watta, zawierającego dyspersję SiC i PTFE, wytworzone przy zastosowaniu substancji powierzchniowo czynnych. Powłoki osadzano na podłożu stalowym (St3S) w warunkach galwanostatycznych. Skład chemiczny otrzymanych powłok, określony metodą grawimetryczną i spektrometrii ICP, zależy nie tylko od zawartości cząstek dyspersyjnych w kąpeli galwanicznej, ale również od użytej substancji powierzchniowo czynnej (tab. 1, rys. 1). Otrzymane powłoki zawierały od 0,8 do 8% obj. cząstek dyspersyjnych. Naprężenia własne osadzanych powłok kompozytowych, mierzone metodą dylatometryczną, były ścisające i po osiągnięciu przez powłokę grubości ~30 μm zbliżały się do 0 (rys. 2). Przeprowadzono przyspieszone badania korozyjne wytworzonych powłok Ni-SiC-PTFE i porównawczo powłoki z chromu technicznego, zgodnie z normą PN-EN ISO 4541 (próba korozyjna Corrodkote). Stwierdzono, że wszystkie badane powłoki wytrzymały próbę dla warunków ciężkich, a powłoki hybrydowe dla warunków wyjątkowo ciężkich (tab. 4). W celu zbadania przydatności wytworzonych warstw hybrydowych do pracy w skojarzeniach ślizgowych części i zespołów pojazdów mechanicznych pracujących w ruchu posuwisto-zwrotnym lub oscylacyjnym wykonano pomiary na urządzeniu badawczym Tester T-05 w ruchu oscylacyjnym ze smarowaniem. Porównawczo badano powłokę z chromu technicznego. Dwie powłoki hybrydowe miały przeszło dwukrotnie większą odporność na zużycie (rys. 3) od powłoki z chromu technicznego. Współczynnik tarcia wszystkich badanych skojarzeń był mały i zawierał się pomiędzy $0,095 \pm 0,02$ (rys. 4).

Słowa kluczowe: nikiel, kompozyty, hybrydy, elektroosadzanie, powłoki Ni-SiC-PTFE, odporność na korozję, odporność na zużycie, współczynnik tarcia

FUNCTIONAL ELECTROLYTIC COMPOSITE COATINGS Ni-SiC-PTFE

Electrolytic composite coatings Ni-SiC-PTFE were obtained by electrodeposition from low-concentrated Watts electrolyte with SiC and PTFE dispersed by surface - active agents. Coatings were deposited on steel substrate (St3S) under galvanostatic conditions. Chemical composition of the coatings, determined by gravimetric and ICP spectrometry methods, depended not only on the content of the dispersed particles but also on the used surface - active agent (Tab. 1, Fig. 1). Obtained coatings contained from 0.8 to 8 vol.% of dispersed particles. The internal stress of deposited composite coatings, measured by dilatometric method, were comprehensive and at reach of the coating thickness ~30 μm approached to 0 (Fig. 2). The accelerated corrosion test of electrodeposited coatings Ni-SiC-PTFE in comparison with the technical chromium coating was carried out according to PN-EN ISO 4541 (corrosion test Corrodkote). All investigated coatings beared test for the heavy conditions and the hybrid coatings for the extremally heavy conditions (Tab. 4). The measurements on the Tester T-05 in the oscillating motion with lubrication were executed on the purpose to investigate the usability of the electroplated hybrid layers to work in the interconnection of slidings parts and assambles of motor vehicle working in the reciprocating or oscillating motion. In comparison to these the technical chromium coating was investigated. The two hybrid coatings showed more than twice as great wear resistance (Fig. 3) than the technical chromium coating. The friction coefficient of all investigated interconnections was low, between 0.095 ± 0.02 (Fig. 4).

Key words: nickel, composites, hybrid, electrodeposition, Ni-SiC-PTFE coatings, corrosion resistance, wear resistance, coefficient of friction

WSTĘP

Konstruktorzy węzłów tarcia powinni wykorzystywać do ich projektowania możliwości uszlachetniania materiałów poprzez modyfikowanie ich warstw wierzchnich. Przemawiają za tym względy ekonomiczne i przeciwzyciowe. Można uzyskać taką modyfikację poprzez obróbkę cieplną, cieplno-chemiczną i plastyczną oraz pokrycie powłokami przeciwiernymi i przeciwzyciowymi [1-5]. Powłoki galwaniczne są od dawna stosowane jako powłoki ochronne na metalach i zastosowanie ich do węzłów tarcia wydaje się łatwe i tanie.

Metalowe kompozyty ślizgowe to materiały stosowane w łożyskach ślizgowych, prowadnicach czy przekładniach ślimakowych. Są to głównie stopy na osnowie cyny, ołowiu i glinu. Materiał ślizgowy w warunkach tarcia ze smarowaniem, mieszanego lub suchego, powinien odznaczać się małym współczynnikiem tarcia, zdolnością szybkiego dopasowania się do przeciwelementu (docieralnością), odpornością na zatarcie i zużycie. Intensywność zużycia materiału ślizgowego decyduje o trwałości tego układu ślizgowego, a w efekcie końco-

¹ dr inż.

wym o trwałości maszyny [6]. Jednak o przydatności danego materiału ślizgowego można powiedzieć tylko w odniesieniu do cech konstrukcyjnych węzła ślizgowego, warunków smarowania oraz warunków ruchu (obciążenia, prędkości względnej, temperatury, rodzaju otoczenia) [6]. Dlatego standardowe (znormalizowane) badania zużycia i współczynnika tarcia w procesie tarcia ślizgowego zwykle są badaniami porównawczymi, pozwalającymi wstępnie ocenić badany materiał ślizgowy. Badania aplikacyjne muszą odwzorowywać rzeczywiste warunki pracy węzła ślizgowego.

W pracy [7] przedstawiono podstawowe cechy struktury wytworzonych hybrydowych powłok kompozytowych i poddano ocenie ich właściwości tribologiczne w warunkach tarcia technicznie suchego i ze smarowaniem z zastosowaniem różnych prędkości poślizgu w zakresie $0,27 \pm 1$ m/s oraz obciążenia 50 i 100 N. Na podstawie dalszych badań [8-11] zaprojektowano pięć kąpiel, z których nakładano warstwy hybrydowe o zróżnicowanej zawartości cząstek dyspersyjnych i zróżnicowanych naprężeniach własnych. Wytworzone powłoki poddano przyspieszonym badaniom korozyjnym (próba Corrodokote) i badaniom tribologicznym na urządzeniu badawczym T-05 w ruchu oscylacyjnym.

Celem badań było wykazanie możliwości zastąpienia technicznych powłok chromowych przez powłoki hybrydowe Ni-SiC-PTFE o takich samych lub lepszych parametrach funkcjonalnych.

CZĘŚĆ EKSPERYMENTALNA

Sposób wytwarzania hybrydowych warstw kompozytowych Ni-SiC-PTFE przedstawiono w pracy [12]. Rodzaj i wielkości cząstek dyspersyjnych oraz ich powierzchnię właściwą opisano w pracy [1]. Skład kąpiel do niklowania: 0,46 M $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0,3 M $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0,84 M H_3BO_3 . Zawartości składników dodatkowych do kąpiel, użytych do osadzania powłok hybrydowych, podano w tabeli 1.

Zawartość cząstek dyspersyjnych w wytworzonych powłokach hybrydowych oznaczano metodą grawimetryczną i spektrometrii ICP. Naprężenia własne tych warstw mierzono metodą dylatometryczną przy użyciu IS-metru prod. OMI International Austria. Metodykę badań naprężeń własnych przedstawiono w pracy [13]. Badania metodą Corrodokote przeprowadzono zgodnie z normą PN-EN ISO 4541 „Powłoki metalowe i inne nieorganiczne. Próba korozyjna Corrodokote (próba CORR)”. Tę przyspieszoną próbę wykonuje się w celu zbadania odporności na korozję powłok stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym. Zasada metody polega na nałożeniu na badane próbki pasty zawierającej sole wywołujące korozję, pozostawieniu pasty do wyschnięcia i wystawieniu pokrytych próbek na działanie atmo-

sfer o wysokiej wilgotności względnej przez określony czas.

Skład pasty Corrodokote:

Roztwór A: trójwodny azotan(V) miedzi(II) $[\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}]$ -2,5 g (rozcieńczyć wodą destylowaną do 500 ml).

Roztwór B: sześciowodny chlorek żelaza(III) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ -2,5 g (rozcieńczyć wodą destylowaną do 500 ml).

Roztwór C: chlorek amonu NH_4Cl -50 g (rozcieńczyć wodą destylowaną do 500 ml).

Następnie należy wymieszać 7 cm^3 roztworu A, 33 cm^3 roztworu B, 10 cm^3 roztworu C i 30 g kaolinu.

Badane próbki przed włożeniem do komory wilgotnościowej pozostawiono do wyschnięcia w temperaturze otoczenia na czas 1 h.

TABELA 1. Zawartości składników dodatkowych do kąpiel użytych do nakładania hybrydowych powłok Ni-SiC-PTFE

TABLE 1. The contents of the addition agents to the baths used for deposition of the hybrid coatings Ni-SiC-PTFE

Nr próbki	SiC	PTFE 50%	Zwilzczacz	
	g/dm ³	g/dm ³	Symbol	ml/dm ³
I	5	30 ^{*)}	WFA	20
II	5	30	WFA	20
III	5	45	WFA	30
IV	2	15	WFK1	4
V	5	30	ASB	24

^{*)} Dyspersja 60%

TABELA 2. Wskaźniki ochrony (R_p) i wyglądu (R_A)
TABLE 2. Protection (R_p) and appearance (R_A) indexes

Powierzchnia występowania wad A %	Wskaźnik R_p lub R_A
Brak wad	10
$0 < A \leq 0,1$	9
$0,1 < A \leq 0,25$	8
$0,25 < A \leq 0,5$	7
$0,5 < A \leq 1,0$	6
$1,0 < A \leq 2,5$	5
$2,5 < A \leq 5,0$	4
$5,0 < A \leq 10$	3
$10 < A \leq 25$	2
$25 < A \leq 50$	1
$50 < A$	0

W strefie ekspozycji komory wilgotnościowej utrzymywano temperaturę $38 \pm 1^\circ\text{C}$. Wilgotność względną utrzymywano między 80 a 90% (bez kondensacji). Ekspozycja w komorze wilgotnościowej przebiegała w sposób

ciągły przez 16 h. Czas pojedynczego badania był uznawany za jeden cykl.

Badania prowadzono dla warunków ciężkich w cyklu 16-godzinnym, a następnie przedłużono dla warunków wyjątkowo ciężkich w drugim cyklu 16-godzinnym.

Ocenę stopnia skorodowania powierzchni próbek (korozja metalu podłoża) przeprowadzono po każdym cyklu, stosując 10-stopniową ocenę wg PN-EN ISO 10289 „Metody badań korozyjnych powłok metalowych i innych powłok nieorganicznych na podłożach metalowych. Ocena próbek i wyrobów gotowych poddanych badaniom korozyjnym”.

Metoda oceny opisana w wyżej wymienionej normie międzynarodowej stosowana jest do oceny wyglądu powłoki, jak również intensywności korozji zarówno na próbkach poddanych badaniom, jak i na powierzchniach istotnie ważnych wyrobów po próbach eksploatacyjnych. Wynik oceny stanu powierzchni, nazywany wskaźnikiem efektywności ochrony, zapisuje się w postaci dwóch oddzielnych wskaźników - wskaźnika ochrony (R_p) i wskaźnika wyglądu (R_A). Wskaźnik ochrony (R_p) określa liczba wyrażająca zdolność powłoki do ochrony metalu podłoża przed korozją, natomiast wskaźnik wyglądu (R_A) określają liczby i symbole wyrażające ogólny wygląd próbki z uwzględnieniem wszystkich uszkodzeń powstałych w wyniku ekspozycji.

Jeżeli jest wymagane jedynie podanie wskaźnika ochrony (R_p), można pominąć wskaźnik wyglądu (R_A). Jednakże, w takim przypadku po wskaźniku ochrony zaleca się postawienie ukośnika i myślnika, aby w ten sposób zaznaczyć, że wskaźnik wyglądu pominięto celowo.

Wskaźniki ochrony (R_p) i wyglądu (R_A) w zależności od powierzchni występowania wad w skali 10-stopniowej podano w tabeli 2.

TABELA 3. Warunki badań zużyciowych hybrydowych powłok Ni-SiC-PTFE

TABLE 3. Conditions of the wear investigations of the hybrid coatings Ni-SiC-PTFE

rodzaj styku	rozłożony, utworzony przez obracającą się rolkę i dociskany do niej klocek
średnica rolki	35 mm
szerokość klocka	6,35 mm
częstotliwość ruchu oscylacyjnego	300 cykli/min
kąt ruchu oscylacyjnego	90°
obciążenie styku	13,7 N
sposób smarowania	nakładanie środka smarnego przed rozpoczęciem testu, smarowanie kropłowe 1 kropla/6 s

Badania tribologiczne zostały przeprowadzone na maszynie typu T-05. Skojarzenie ślizgowe stanowiły: próbka ze stali St3S (klocek o szerokości 6,35 mm) i przeciwpróbka ze stali St3S (rolka w kształcie pier-

ścienia o średnicy 35 mm). Próbka mocowana była na stałe w uchwycie, natomiast przeciwpróbka jako element wykonujący ruch oscylacyjny. Docisk próbki do przeciwpróbki realizowany był przez docisk dźwigniowy z zawieszanymi wymiennymi ciężarkami. Próbki z warstwą ślizgową z materiału badanego oraz przeciwpróbki odtłuszczano benzyną ekstrakcyjną, następnie suszono sprężonym powietrzem, kolejne odtłuszczenie przeprowadzano octanem etylu i suszono sprężonym powietrzem. Po odtłuszczeniu elementy ważono na wadze analitycznej typ WA-32. Próbkę mocowano w uchwycie, przeciwpróbkę mocowano na czopie maszyny T-05. Warunki badań zamieszczono w tabeli 3. Badania wykonywano w obecności środka smarnego - oleju amortyzatorowego przy stałej prędkości i stałym nacisku.

TABELA 4. Wyniki odporności korozyjnej powłok hybrydowych badanych metodą Corrodokote w porównaniu z powłoką z chromu technicznego. Grubość warstwy 40 μm

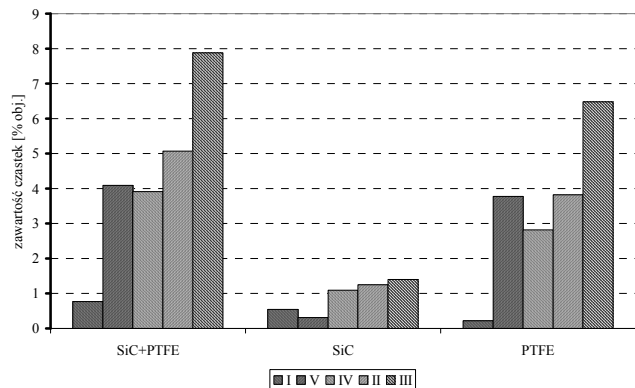
TABLE 4. The results of corrosion resistance of the hybrid coatings investigated by Corrodokote test in comparison with the technical chromium coating. Thickness of the layer 40 μm

Symbol próbki	Stopień korozji	
	po 16 h	po 32 h
I1	10/-	9,5/-
I2	10/-	10/-
I3	10/-	9,5/-
II1	9,5/-	9/-
II2	9,5/-	9/-
II3	9,5/-	9,5/-
IV1	10/-	9/-
IV2	10/-	9,5/-
IV3	10/-	9/-
V1	10/-	8,5/-
V2	9,5/-	9/-
V3	9,5/-	9,5/-
Cr1	7/-	5/-
Cr2	8/-	5/-
Cr3	8/-	5/-

WYNIKI BADAŃ

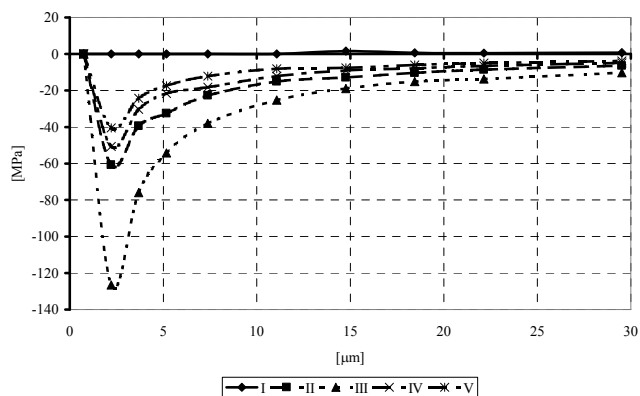
Wyniki pomiarów zawartości cząstek dyspersyjnych w powłokach hybrydowych przedstawiono na rysunku 1, a wyniki pomiarów naprężeń własnych tych powłok na rysunku 2. Wyniki badań korozyjnych przyspieszoną metodą Corrodokote zawiera tabela 4. Na rysunku 3 przedstawiono wyniki pomiarów zużycia badanych powłok, a na rysunku 4 wyniki pomiarów ich średniego współczynnika tarcia. Przykładowy przebieg zmian współczynnika tarcia i temperatury skojarzenia w czasie próby zamieszczono na rysunkach 5 i 6.

Zmiany współczynnika tarcia były rejestrowane co 1 s i stąd na wykresie z rysunku 5 widoczne są tylko maksymalne wartości chwilowe. Niższe wartości chwilowe współczynnika tarcia nie mogą być widoczne z powodu zbyt dużej ilości punktów pomiarowych (23 053 punkty pomiarowe).



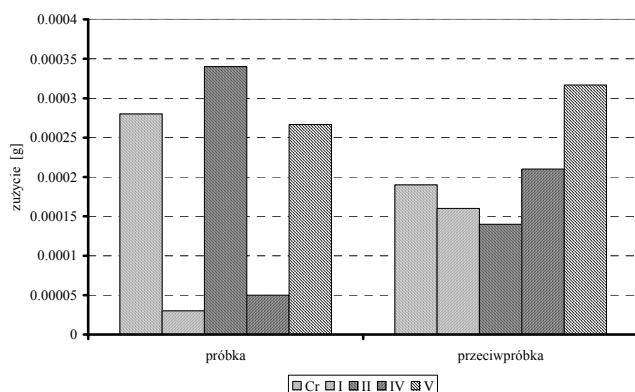
Rys. 1. Zawartość cząstek dyspersyjnych w powłokach hybrydowych

Fig. 1. Contents of dispersion particles in the hybrid coatings



Rys. 2. Zależność naprężeń własnych powłok hybrydowych od grubości warstwy

Fig. 2. Internal stress of the hybrid coatings vs the thickness of layer

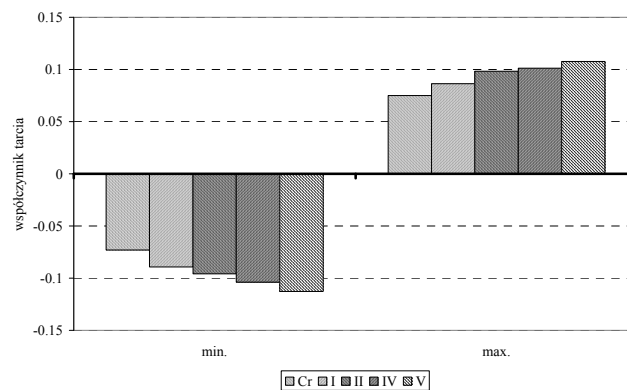


Rys. 3. Wyniki pomiarów zużycia powłok hybrydowych i Cr

Fig. 3. The results of wear measurement of the hybrid and Cr coatings

Osadzone powłoki hybrydowe miały zróżnicowaną zawartość cząstek dyspersyjnych (rys. 1) od 0,8 do 8% obj. Również zawartości SiC były różne - od 0,31 do

1,4% obj., a także zawartości PTFE - od 0,22 do 6,48% obj. Uzyskanie powłok hybrydowych z różną zawartością cząstek dyspersyjnych było możliwe dzięki modyfikacji składu kąpieli (tab. 1). Projektując powłoki hybrydowe z różną zawartością cząstek dyspersyjnych, zamierzano zbadać wpływ tej zawartości na właściwości aplikacyjne tych warstw.



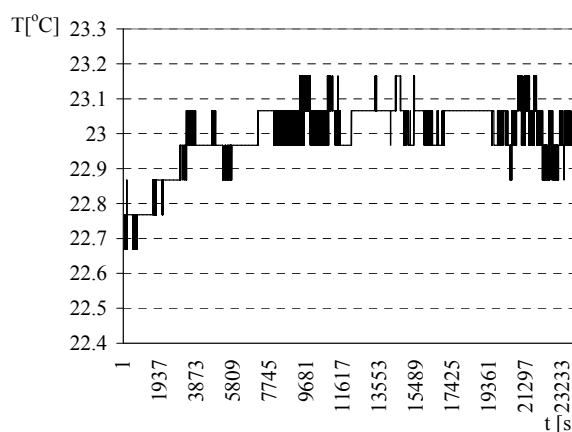
Rys. 4. Wyniki pomiarów średniego współczynnika tarcia powłok hybrydowych i Cr

Fig. 4. The results of measurement of the mean friction coefficient of the hybrid and Cr coatings



Rys. 5. Zmiana współczynnika tarcia w funkcji czasu. Próbką IV

Fig. 5. Change of the friction coefficient in the function of time. Sample IV



Rys. 6. Zmiana temperatury w funkcji czasu. Próbką IV

Fig. 6. Change of the temperature in the function of time. Sample IV

Niekorzystne okazało się wbudowanie zbyt dużej ilości cząstek. Powłoka osadzona z kąpieli III zawierała najwięcej wbudowanych cząstek SiC i PTFE (rys. 1), miała złą przyczepność do podłoża i z tego powodu nie

została użyta do dalszych badań. Przyczyną złej przyczepności mogło być zbyt duże naprężenie początkowe tej powłoki (rys. 2). Pozostałe powłoki hybrydowe miały niewielkie naprężenia ściskające, a powłoka osadzona z kąpeli I miała naprężenia bliskie 0 przez cały zakres badanej grubości (rys. 2).

Badania odporności na korozję metodą Corrodokote wykazały, że wszystkie badane powłoki spełniają wymagania dla warunków ciężkich, gdyż wskaźnik ochrony R_p dla wszystkich próbek powłok (z wyjątkiem Cr1) był równy lub powyżej 8 (tab. 4). Przedłużenie czasu próby dla warunków wyjątkowo ciężkich spowodowało korozję powłok chromowych i wskaźnik ochrony dla tych powłok zmalał do 5 (tab. 4). Powłoki hybrydowe po 32 godzinach nadal nie były skorodowane w stopniu większym niż dopuszczalny dla uznania ich dobrej ochrony przed korozją. Najlepszą ochronę przed korozją wykazała próbka osadzona z kąpeli I. Przeprowadzone badania metodą Corrodokote wykazały przydatność osadzonych powłok hybrydowych do zastosowań w przemyśle motoryzacyjnym, a otrzymane wyniki wskazują na znacznie większą trwałość tych powłok w porównaniu z powłoką z technicznego chromu w warunkach narażeń związanych z eksploatacją środków transportu.

Prezentowane wyniki próby korozyjnej Corrodokote są pierwszymi publikowanymi badaniami galwanicznych powłok hybrydowych Ni-SiC-PTFE. W normach krajowych i międzynarodowych nie ma wymagań dotyczących takich powłok. Badania metodą Corrodokote przewiduje się dla galwanicznych powłok niklowych z warstwą chromu. Prezentowane w tej pracy wyniki badań metodą Corrodokote dowodzą, że powłoki hybrydowe mają tak dużą odporność na korozję w warunkach narażeń związanych z eksploatacją samochodów, iż nie jest wymagana wierzchnia powłoka chromu, zwiększająca odporność korozyjną powłoki niklowej. Warunki badań tribologicznych wytworzonych powłok hybrydowych i porównawczo powłoki z technicznego chromu były przeprowadzone pod kątem ich użycia w skojarzeniach ślizgowych części i zespołów pojazdów mechanicznych pracujących w ruchu posuwisto-zwrotnym lub oscylacyjnym. Zmiany współczynnika tarcia podczas próby wykazywały stabilność podczas pracy skojarzenia ślizgowego (rys. 5), a zmiany temperatury skojarzenia ślizgowego podczas pracy były niewielkie (rys. 6). Powierzchnie próbek i przeciwpróbek po zakończeniu testu nie wykazały śladów zużycia (rys. rys. 7 i 8). Wygląd powłoki i przeciwpróbki stalowej po badaniach tribologicznych przedstawiono dla próbki I na rysunku 7, a dla próbki V na rysunku 8.

W badaniach stanowiskowych w ruchu oscylacyjnym najmniejsze zużycie, także sumaryczne próbka + przeciwpróbka, uzyskano dla skojarzenia próbka I-stal i dalej dla skojarzenia próbka IV-stal. W parze ślizgowej próbka II-stal powłoka hybrydowa miała większe zuży-

cie niż powłoka chromu w parze chrom-stal, ale sumaryczne zużycie próbki i przeciwpróbki było równorzędne dla obu par.



Rys. 7. Wygląd próbki I i przeciwpróbki po badaniach w oleju

Fig. 7. Appearance of sample I and countersample after investigation in oil



Rys. 8. Wygląd próbki V i przeciwpróbki po badaniach w oleju

Fig. 8. Appearance of sample V and countersample after investigation in oil

Podsumowując badania zużycia w ruchu oscylacyjnym, można powiedzieć, że powłoki hybrydowe I i IV miały przeszło dwukrotnie większą odporność na zużycie niż powłoki z chromu technicznego, powłoka II miała równorzędną odporność na zużycie z powłoką chromową, a powłoką V nieco gorszą. W tej ostatniej warstwie zabudowało się najmniej cząstek SiC - 0,31% obj. i być może dlatego ta powłoka nie miała dobrej odporności na zużycie w ruchu oscylacyjnym.

Współczynnik tarcia wszystkich badanych skojarzeń był mały i zawierał się pomiędzy $0,095 \pm 0,02$. Wartość współczynnika tarcia nie korelowała z zawartością PTFE w warstwie hybrydowej, co było pewnym zaskoczeniem. Cząstki PTFE były wprowadzane do powłoki hybrydowej z intencją zmniejszenia współczynnika tarcia, ale badania w ruchu oscylacyjnym ze smarowaniem wykazały, że najmniejszy współczynnik tarcia miała powłoka hybrydowa I, zawierająca najmniej PTFE. Prawdopodobnie w warunkach tarcia ze smarowaniem na wartość współczynnika tarcia wpływają inne parametry powierzchni trącej, a zawartość cząstek dyspersyjnych jest parametrem drugorzędym.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki badań wytworzonych hybrydowych powłok Ni-SiC-PTFE wykazały, że nadmierne zwiększanie zawartości cząstek dyspersyjnych w powłocie może pogarszać jej właściwości funkcjonalne. Dobre właściwości funkcjonalne miały powłoki o zawartości cząstek od 0,8 do 5% obj.

Powłoki hybrydowe Ni-SiC-PTFE wykazały bardzo dobrą odporność na korozję w warunkach narażeń związanych z eksploatacją pojazdów samochodowych.

Odporność na zużycie trzech wytworzonych powłok hybrydowych w skojarzeniu ze stalą w ruchu oscylacyjnym ze smarowaniem była lepsza lub równorzędna z powłoką chromową.

Współczynnik tarcia wszystkich badanych powłok w skojarzeniu ze stalą w ruchu oscylacyjnym ze smarowaniem był mały i wynosił $0,095 \pm 0,02$.

Powłoki hybrydowe Ni-SiC-PTFE wykazały dobre właściwości funkcjonalne i wydaje się możliwe użycie tych powłok zamiast powłok chromowych w skojarzeniach ślizgowych części i zespołów pojazdów mechanicznych pracujących w ruchu posuwisto-zwrotnym lub oscylacyjnym.

LITERATURA

- [1] Staia M.H., Fragieli A., Carrasquero E., Buono V.T.L., Marques R.G., Junquera R.M.R., Surf. Engin. 2001, 17, 2, 113-117.
- [2] Wu Y.C., Li G.H., Zhang L., Surf. Engin. 2000, 16, 5, 506-510.
- [3] Xy C., Zhang Y., Fan C., Chiu P., Abys J.A., Plat. Surf. Finish. 2000, 9, 88-92.
- [4] Bhalia V., Ramasamy C., Sing N., Pushpavanam M., Plat. Surf. Finish. 1995, 82, 11, 58-61.
- [5] Burakowski T., Wierzchoń T., Inżynieria powierzchni metali, WNT, Warszawa 1995.
- [6] Lawrowski Z., Tribologia, Tarcie, zużywanie i smarowanie, WN PWN, Warszawa 1993.
- [7] Szeptycka B., Skrzynowski A., Badania tribologiczne hybrydowych warstw kompozytowych Ni-SiC-fluoropolimer, Kompozyty (Composites) 2003, 3, 8, 325-331.
- [8] Szeptycka B., Galwaniczne hybrydowe powłoki kompozytowe Ni-SiC-fluoropolimer, Inżynieria Powierzchni 2003, 2, 22-31.
- [9] Szeptycka B., Gajewska A., Investigation of the resistance of electrochemical corrosion of hybrid composite coatings NiSiC-fluoropolymer, Book of Abstracts, Eurocorr 2003, The European Corrosion Congress, Budapest, Hungary 2003, 307.
- [10] Szeptycka B., Gajewska-Midziątek A., Badania odporności na korozję elektrochemiczną hybrydowych powłok Ni-SiC-PTFE, Ochrona przed Korozją 2003, 11 s/A, 227-281.
- [11] Szeptycka B., Wpływ składu kąpieli na strukturę krystalograficzną kompozytowych i hybrydowych warstw galwanicznych z osnową niklową, Kompozyty (Composites) 2004, 4, 9, 109-116.
- [12] Szeptycka B., Hybrydowe niklowe powłoki elektrochemiczne Ni-SiC-PTE, Kompozyty (Composites) 2001, 2, 137-140.
- [13] Szeptycka B., Metoda pomiaru naprężeń własnych w powłokach galwanicznych przy użyciu dylatometru, Powłoki Ochronne 1992, 1-3, 33-42.

Recenzent
Antoni Budniok