

Proces impregnowania teflonem powłoki tlenkowej wytwarzanej metodą anodowego utleniania na podłożu aluminium

Przemysław KWOLEK* – Katedra Materiałoznawstwa, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów; Patrycja GÓRECKA; Andrzej OBŁÓJ – Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotniczego, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów; Urszula KWOLEK – Wydział Chemii, Uniwersytet Jagielloński, Kraków; Kamil DYCHTON; Marcin DRAJEWICZ; Jan SIENIAWSKI – Katedra Materiałoznawstwa, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów

Prosimy cytować jako: CHEMIK 2016, 70, 7, 361–368

Wstęp

Aluminium i jego stopy, dzięki małej gęstości i dobrym właściwościom mechanicznym (szczególnie po umacniającej obróbce cieplnej), są szeroko stosowane jako materiał konstrukcyjny, m. in. w lotnictwie i motoryzacji. Dla poprawy ich odporności korozyjnej i zwiększenia przyczepności powłok malarskich do ich podłoża, prowadzony jest proces anodowania. Wytwarzane powłoki tlenkowe cechują się małą twardością i odpornością na zużycie w warunkach tarcia. Powłoki o lepszych właściwościach tribologicznych wytwarzane są w procesie anodowania twardego. Charakterystyczne jego cechy, to niska temperatura elektrolitu (najczęściej < 273 K) i duża gęstość prądu ($> 2,5 \text{ A} \cdot \text{dm}^{-2}$) [1]. Grubość wytwarzanych powłok Al_2O_3 jest zwykle większa od $51 \mu\text{m}$ [2]. Elementy konstrukcyjne ze stopów aluminium po anodowaniu twardym są stosowane w lotnictwie i motoryzacji (m. in. cylindry i tłoki silników spalinowych, elementy układów hydraulicznych i pneumatycznych) [1]. Wysokie wymagania stawiane powłokom stosowanym w tych dziedzinach techniki wymagają dalszej poprawy przede wszystkim ich właściwości tribologicznych. Materiały odporne na zużycie ścierne powinny się cechować dużą twardością i małą wartością współczynnika tarcia. Twardość powłok wytwarzanych w procesie anodowania twardego osiąga wartości do 500 HV (zależy od składu chemicznego stopu), natomiast ich współczynnik tarcia 0,25. Poprawę właściwości tribologicznych można osiągnąć przez zmniejszenie wartości współczynnika tarcia.

Dlatego są one modyfikowane materiałami o właściwościach smarujących – cząstkami teflonu (politetrafluoroetylen PTFE), grafitu i siarczku molibdenu(IV) MoS_2 . Wprowadzenie teflonu do powłoki pozwala zmniejszyć wartość współczynnika tarcia do 0,13 [5, 17–19]. Teflon, oprócz poprawy właściwości tribologicznych wytwarzanych powłok, zapewnia ich dobrą odporność korozyjną i hydrofobowość. Dzięki temu pozwala unikać osadzania się lodu, np. na powierzchni przewodów energetycznych [3–5].

Powłoki na podłożu aluminium wytwarzane w procesach anodowania cechują się porowatością. Średnica ich porów zależy od składu chemicznego elektrolitu oraz przyjętych wartości jego temperatury, także napięcia elektrolizy. Stwierdzono, że powłoki tlenkowe wytwarzane w roztworze kwasu siarkowego o stężeniu $165 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$, $T = 278 \text{ K}$ charakteryzują się średnicą porów od 17 do 20 nm [1,5]. Proces anodowania twardego jest zwykle prowadzony w roztworach kwasu siarkowego o większym stężeniu, w niższej temperaturze [1]. Powoduje to zmniejszenie średnicy porów. Przyjęto, że w procesie impregnowania, cząstki stosowanej substancji wprowadza się w pory powłoki. Ponieważ średnica cząstek teflonu dostępnych na rynku jest większa od 100 nm (fir-

my DuPont, Dyneon 3M, RO-59 Inc.), ich penetrowanie w pory powłoki anodowej jest niemożliwe. Podczas impregnowania, na powierzchni powłoki Al_2O_3 tworzy się powłoka teflonowa. Jej adhezję do podłoża zapewniają słabe oddziaływania van der Waalsa [6]. Jednocześnie proces impregnowania powłoki anodowej należy odróżnić od jej uszczelniania, często stosowanego w technologii anodowania stopów aluminium. Uszczelnianie jest procesem chemicznym wykorzystującym efekt przemiany bezwodnego tlenku glinu tworzącego powłokę (odmiany polimorficzne $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\gamma'\text{-Al}_2\text{O}_3$, $\eta\text{-Al}_2\text{O}_3$) w bemit $\text{AlO}(\text{OH})$ w temperaturze podwyższonej ($> 353 \text{ K}$) [1,7]. Proces ten jest najczęściej prowadzony w parze wodnej, wrzącej wodzie demineralizowanej, roztworach soli niklu(II), kobaltu(II) lub chromu(VI) [7,8]. Prowadzi do poprawy odporności korozyjnej powłoki tlenkowej, jednocześnie pogorszeniu ulegają jej właściwości tribologiczne. Dlatego powłoki wytwarzane w procesie anodowania twardego, ze względu na ich zastosowania nie są uszczelniane.

Początkowo proces impregnowania realizowano przez zanurzenie obrabianego wyrobu w zawieszinie cząstek teflonu. Powłoka teflonowa tworzy się w wyniku oddziaływania elektrostatycznego pomiędzy nimi a tlenkiem Al_2O_3 . Powierzchnia tlenków metali w roztworach wodnych jest naładowana elektrycznie. Spowodowane jest to reakcjami chemicznymi protonowania i deprotonowania jonów tlenkowych eksponowanych na ich powierzchni. Wartość różnicy potencjału pomiędzy powierzchnią fazy stałej i elektrolitem jest określana potencjałem zeta ξ , który zmniejsza się monotonicznie wraz ze zwiększaniem pH, od wartości dodatniej do ujemnej. Wartość pH, dla której ładunek elektryczny powierzchni tlenku jest zerowy, jest punktem izoelektrycznym (IEP). Dla tlenku Al_2O_3 wartości potencjału $\xi = 0$ odpowiada wartość $\text{pH} = 8$ i zależy od składu chemicznego stopu oraz elektrolitu stosowanego w procesie anodowania [1,9]. Powierzchnia tlenku jest naładowana dodatnio dla wartości $\text{pH} < 8$, natomiast dla $\text{pH} > 8$ – ujemnie. Proces impregnowania w roztworach kwaśnych lub alkalicznych wymaga więc zastosowania cząstek teflonu, odpowiednio o ujemnym lub dodatnim ładunku elektrycznym. Ładunek elektryczny cząstek jest skutkiem zastosowania związków powierzchniowo czynnych (anionowych lub kationowych) do elektrostatycznego stabilizowania zawiesiny.

Proces impregnowania jest prowadzony w szerokim zakresie temperatury (310–360 K) i stężenia zawiesiny (10–35% mas.), w czasie od 10 do 30 minut [10]. Stwierdzono, że dobrą stabilność zawiesiny teflonowej zapewnia roztwór rozcieńczony (1–5% mas.). Unikać należy jego nagrzewania do temperatury bliskiej wrzenia roztworu [3–5, 11, 12]. Mieszanie zawiesiny metodą ultradźwiękową poprawia jej stabilność i kinetykę procesu wytwarzania powłok teflonowych [9, 13].

Prędkość migracji cząstek teflonu do podłoża, i wytwarzanej powłoki, zwiększa zewnętrzne pole elektryczne, proporcjonalne do różnicy potencjału pomiędzy obrabianym elementem a elektrodą pomoc-

Autor do korespondencji:
Dr inż. Przemysław KWOLEK., e-mail: pkwolek@prz.edu.pl

niczą (proces elektroforezy). Polaryzacja impregnowanego elementu zależy od ładunku elektrycznego cząstek teflonu – o ujemnym ładunku migrują w kierunku dodatnio spolaryzowanej impregnowanej powłoki anodowej. Większa wartość ładunku elektrycznego cząstek i mniejsza odległość pomiędzy elektrodami poprawia wydajność procesu wytwarzania powłoki teflonowej [14, 15].

Przedstawione procesy impregnowania dotyczą wcześniej wytworzonej powłoki anodowej. Powłoki teflonowe na podłożu Al_2O_3 można również wytwarzać jednoetapowo – przez anodowanie w elektrolicie (np. H_2SO_4) zawierającym zawiesinę cząstek teflonu. Cząstki te podczas procesu zostają wbudowane w powłokę anodową. Teflon jest miękkim materiałem i stąd powłoki wytwarzane w procesie jednoetapowym cechują się małą twardością. Dla zwiększenia twardości powłok, do elektrolitu wprowadzane są twarde cząstki fazy umacniającej, np. węgla krzemu. Uzyskuje się powłoki kompozytowe zbudowane z osnowy Al_2O_3 , miękkich cząstek teflonu o małej wartości współczynnika tarcia i twardych cząstek fazy umacniającej [11].

Powłoki tlenkowe impregnowane teflonem, wytwarzane różnymi metodami, są zawsze poddawane suszeniu. Po wstępnym osuszeniu w powietrzu następuje ich wygrzewanie, często w temperaturze $> 523\text{ K}$ w czasie od 0,5 do 24 h [3 ÷ 5, 10, 16]. Podwyższanie temperatury procesu powoduje poprawę przyczepności teflonu do podłoża.

Celem prowadzonych badań było ustalenie wpływu warunków impregnowania powłok tlenkowych w procesie elektroforezy na ich odporność na zużycie ściernie i korozję w roztworach kwaśnych i alkalicznych.

Część eksperymentalna

Powłoki tlenkowe wytwarzano na podłożu aluminium o czystości technicznej (EN-AW 1050) i składzie chemicznym: Fe – 0,3% mas., Si 0,25% mas., Zn 0,05% mas., Ti, Mg, Mn $< 0,05\%$ mas. Próbki odtłuszczano i trawiono w roztworze NaOH o stężeniu $100\text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$. Proces anodowania twardego prowadzono w wodnym roztworze H_2SO_4 o stężeniu $158\text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$ w temp. 273 K . Stosowano gęstość prądu $2,5\text{ A}\cdot\text{dm}^{-2}$, czas anodowania 45 min. Wytworzone powłoki tlenkowe o grubości $32\text{ }\mu\text{m}$ po procesie anodowania płukano wodą demineralizowaną. Do ich impregnowania w procesie elektroforezy stosowano zawiesinę wodną cząstek teflonu o rozmiarach $< 200\text{ nm}$, pH = 10 (Dyneon 3M), $T = 290\text{ K}$. Dla określenia wartości potencjału ξ cząstek teflonu w roztworze wykonano pomiary ich prędkości w polu elektrycznym metodą laserową (Malvern Instrument Ltd.). Anodę w procesie elektroforezy stanowiło podłoże aluminiowe, natomiast katodę stal nierdzewna. Próbki po procesie impregnowania płukano wodą demineralizowaną i suszono w temp. 373 K w czasie 20 min. Ustalono wpływ napięcia (5 i 10 V) i czasu prowadzenia procesu elektroforezy (od 5 do 75 min) na odporność na zużycie w warunkach tarcia wytwarzanych powłok (próbki płaskie o wymiarach $100\times 100\text{ mm}$) metodą Tabera (TABER® Rotary Platform Abrasion Tester). Stosowano prędkość obrotową stolika 60 obr/min, obciążenie kółek ścierniczących (CS-17) 9,81 N. Ubytek masy określano po wykonaniu 1000, 2000, 3000, 5000 i 10000 obrotów.

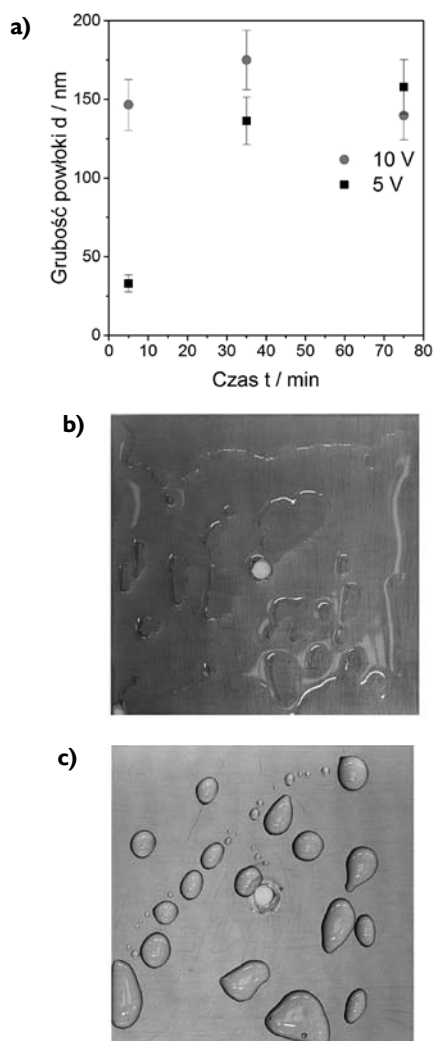
Do ustalenia odporności korozyjnej impregnowanych powłok stosowano wodny roztwór NaOH ($0,05\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) i HCl ($0,5\text{ mol}\cdot\text{dm}^{-3}$) o temp. = 300 K . Próbki prostokątne o wymiarach $40\times 50\text{ mm}$ poddano anodowaniu, następnie impregnacji ($T = 293\text{ K}$, $t = 30\text{ min.}$, $U = 25\text{ V}$) oraz suszeniu ($t = 30\text{ min.}$, $T = 373\text{ K}$). Krawędzie próbek zabezpieczono taśmą odporną na działanie stosowanych roztworów. Wodór wydzielający się w procesach korozji był odprowadzany do biurety. Prowadzono pomiar objętości wydzielonego H_2 w czasie.

Analiza wyników badań

Poprawne prowadzenie procesu elektroforezy wymaga ustalenia ładunku cząstek teflonu w zawiesinie. Stwierdzono, że cząstki w używanej zawiesinie cechują się ujemnym potencjałem ξ

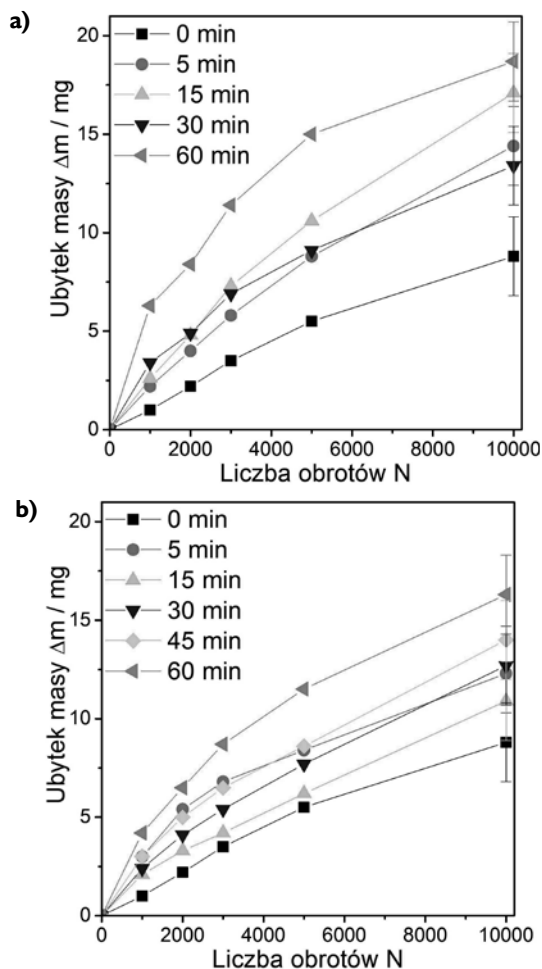
(-22 mV dla pH = 10,8). Taka wartość potencjału zapewnia stabilność zawiesiny. Zmiana pH w zakresie od 2,9 do 10,9 nie prowadzi do koagulacji cząstek. Analiza uzyskanych wyników badań pozwoliła ustalić, że element pokryty powłoką tlenkową, w procesie impregnowania powinien być spolaryzowany dodatnio względem przeciw Elektrody ze stali nierdzewnej. Obecne pole elektryczne wymusza przemieszczanie się naładowanych cząstek teflonu do impregnowanej powłoki. Cząstki najłatwiej związane z podłożem usuwano przez płukanie w wodzie demineralizowanej. Powierzchnię impregnowanej powłoki, po wysuszeniu w temp. 373 K , poddano obserwacji wizualnej. Obecność jego cząstek na powierzchni powłoki anodowej potwierdzono jakościowo w próbie zwilżenia wodą demineralizowaną (Rys. 1b,c). Granica międzyfazowa teflon-woda cechuje się dużą wartością napięcia międzyfazowego – woda nie zwilża teflonu (kąt zwilżania $> 90^\circ$).

Przyrost masy próbek, określony po procesie impregnowania wynosi od 1,5 do $7,7\text{ mg}\cdot\text{dm}^{-2}$. Odpowiada więc grubości powłoki od 30 do 180 nm (gęstość teflonu = $2,2\text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$). Stwierdzono, że zwiększanie czasu impregnowania powoduje wzrost grubości powłoki (Rys. 1a). Jednocześnie dla ustalonego czasu impregnowania zwiększanie wartości napięcia prowadzi do większej grubości powłoki. Jej zmniejszenie, po czasie 35 min, dla napięcia impregnowania 10 V może być spowodowane częściowym usunięciem powłoki podczas płukania w wodzie po procesie impregnowania. Podkreślić należy, że wytworzone powłoki są higroskopijne stąd uzyskane wyniki należy traktować szacunkowo.



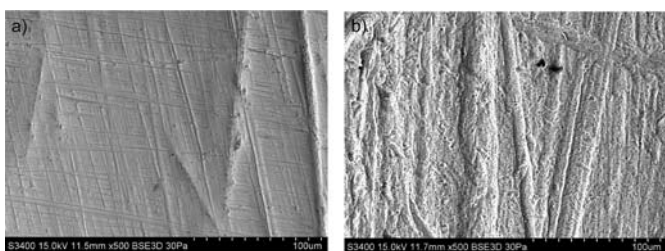
Rys. 1. Grubość powłoki teflonowej w zależności od napięcia w procesie impregnowania oraz czasu a); obraz powierzchni powłoki po próbie zwilżenia wodą demineralizowaną: b) próbka nieimpregnowana; c) impregnowana (10 V, 35 min)

Metoda Tabera jest dedykowana w technice lotniczej do charakteryzowania odporności na zużycie ścierne materiałów – także powłok anodowych wytwarzanych na podłożu aluminium i jego stopów [1,2,17]. Stwierdzono, że wartość różnicy ubytku masy dla 5 próbek anodowanych w tych samych warunkach, po 10 tys. obrotów wynosi ± 2 mg. Wartość tę naniesiono na Rysunku 2 w postaci słupka błędów dla ubytku masy uzyskanego po 10 tys. obrotów.



Rys. 2. Ubytek masy w zależności od napięcia w procesie impregnacji: a) 5 V b) 10 V oraz czasu ($T = 290$ K, parametry suszenia: $t = 30$ min, $T = 373$ K)

Analiza uzyskanych wyników badań wykazała, że impregnowanie teflonem powłoki anodowej na podłożu aluminium zmniejsza jej odporność na ścieranie. Stwierdzono największą odporność na zużycie powłoki nieimpregnowanej (Rys. 2). Jest to spowodowane słabą przyczepnością cząstek teflonu do podłoża. Ich usunięcie następuje na początku ścierania – obserwowany jest zwiększony ubytek masy w porównaniu z próbką nieimpregnowaną. Dlatego zwiększenie czasu w procesie impregnowania (większa masa powłoki teflonowej) prowadzi do większego ubytku masy próbki. Jednocześnie zwiększanie wartości napięcia w procesie elektroforezy wpływa korzystnie na poprawę odporności powłoki na zużycie w warunkach tarcia. Powłoki impregnowane przy napięciu 10 V mają zbliżone wartości ubytku masy.



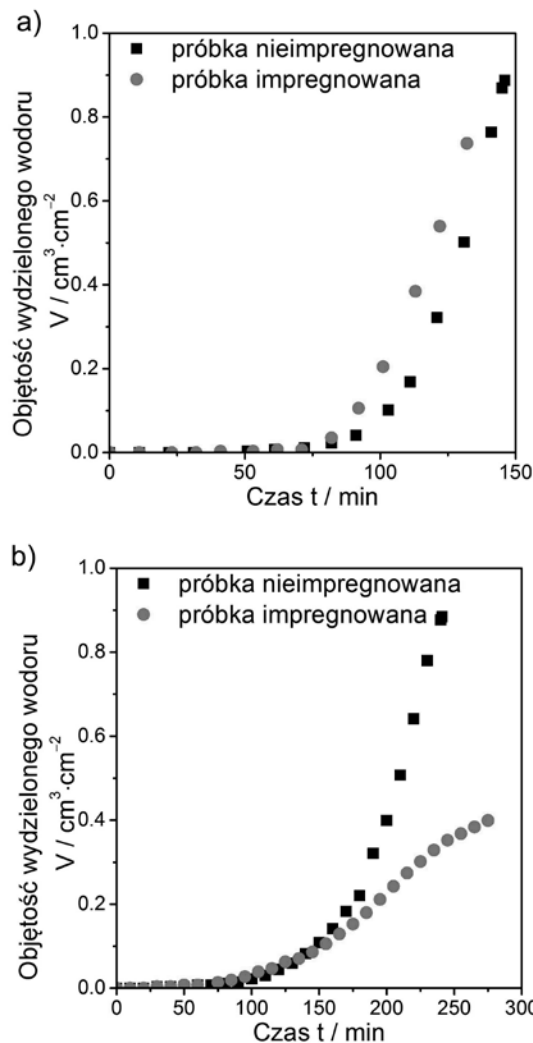
Rys. 3. Obraz powierzchni powłok impregnowanych (10 V, 35 min): a) obszar ścierany, b) obszar nieścierany

Większe różnice obserwowano dla mniejszego napięcia impregnowania. Ustalono także, że dla dużego napięcia (10 V) mniej istotny jest wpływ czasu impregnowania. Stąd można przyjąć, że po wytworzeniu powłoki teflonowej o określonej grubości, adsorpcja fizyczna kolejnych warstw będzie ograniczona. Większa wartość napięcia może też korzystnie wpływać na przyczepność powłoki do podłoża.

Obraz powierzchni powłoki impregnowanej po ścieraniu przedstawiono na Rysunku 3. Obszar ścierany charakteryzuje się mniejszą chropowatością w porównaniu z fragmentem próbki niepoddawany próbie ścierania.

W prowadzonej analizie dokonano również porównania odporności korozyjnej powłoki impregnowanej i nieimpregnowanej w roztworach NaOH i HCl. Stwierdzono, że powłoka impregnowana teflonem (napięcie 10 V) nie wykazuje właściwości ochronnych w roztworach NaOH i HCl – jest porowata. Dla uzyskania powłok o lepszej odporności korozyjnej zwiększono napięcie stosowane podczas impregnacji do 25 V. Ponownie w roztworze alkalicznym ($0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ NaOH) o silnym korozyjnym działaniu na aluminium i Al_2O_3 nie zaobserwowano właściwości ochronnych powłoki (Rys. 4a). Wydzielający się podczas korozji podłoża metalicznego wodór odrywa cząstki teflonu od powierzchni powłoki anodowej. Różnica pomiędzy próbką impregnowaną, a nieimpregnowaną wynika z błędów pomiarowych.

Efekt ochronny wystąpił tylko dla mniej agresywnego roztworu HCl o stężeniu $0,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ (Rys. 4b). Objętość wydzielanego wodoru jest wówczas jest znacznie mniejsza, w porównaniu z powłoką nieimpregnowaną.



Rys. 4. Objętość wydzielonego wodoru w czasie dla powłok impregnowanej i nieimpregnowanej, warunki impregnacji: $T = 293$ K, $t = 30$ min, $U = 25$ V, warunki suszenia: $t = 30$ min, $T = 373$ K): a) roztwór NaOH, $0,05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ $T = 300$ K, b) roztwór HCl, $0,5 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ $T = 300$ K

Podsumowanie

Analiza uzyskanych wyników badań wykazuje słuszność przyjętego założenia o możliwości wykorzystania zjawiska elektroforezy do procesu impregnowania teflonem powłok anodowych wytwarzanych na podłożu aluminium. Stwierdzono, że wytworzone powłoki teflonowe cechuje porowatość, mała grubość oraz słaba adhezja do podłoża. Ustalono, że zwiększanie napięcia w procesie elektroforezy korzystnie wpływa na odporność na zużycie ścierne powłok impregnowanych. Jednocześnie słaba adhezja do podłoża powoduje mniejszą ich odporność na zużycie – większy ubytek masy w próbie ścierania w porównaniu z powłoką nieimpregnowaną. Porowatość wytwarzanych powłok zmniejsza również ich odporność na korozję w środowisku silnie alkalicznym. W środowisku kwaśnym natomiast powłoka impregnowana teflonem stanowi ochronę przed korozją podłoża z aluminium. Poprawę właściwości tribologicznych i antykorozyjnych impregnowanych powłok tlenkowych na podłożu aluminium można osiągnąć przez zwiększanie napięcia w procesie impregnowania oraz podwyższenie temperatury suszenia dla osiągnięcia efektu spiekania cząstek teflonu. Proces taki nie może być zastosowany do wytwarzania powłok teflonowych na podłożu stopów aluminium umacnianych wydzieleniowo.

Praca finansowana w ramach projektu nr UOD-DEM-1-557/001 współfinansowane przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego. Stypendysta wsparty finansowaniem Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej (FNP).

Literatura

1. Sheasby P.G., Pinner R., Wernick S.: *The surface treatment and finishing of aluminium and its alloys*. sixth ASM International 2001.
2. Anodic coatings for aluminum and aluminum alloys. MIL-A-8625F 1993.
3. Menini R., Ghalmi Z., Farzaneh M.: *Highly resistant icephobic coatings on aluminum alloys*. Cold Regions Science and Technology 2011, 65, 65–69.
4. Ghalmi Z., Menini R., Farzaneh M.: *Effect of different aluminium surface treatments on ice adhesion strength*. Advanced Materials Research 2012, 409, 788–792.
5. Menini R., Farzaneh M.: *Elaboration of Al₂O₃/PTFE icephobic coatings for protecting aluminum surfaces*. Surface & Coatings Technology 2009, 203, 1941–1946.
6. Kuhn A.: *PTFE coating vs. impregnation*. Metal Finishing 2004, 102, 12–17.
7. Biestek T., Weber J.: *Powłoki konwersyjne*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne 1968.
8. Henley V.F.: *Anodic oxidation of aluminum and its alloys*. Pergamon Press 1982.
9. Robinson T.R., Nelson L.Y.: *Ultrasonic assisted deposition of anti-stick films on metal oxides*. US Patent 6852266B2, 2005.
10. Covino P.: *Aluminum article having a polymeric fluorohydrocarbon surface and processes for preparing the same*. US Patent 3533920, 1970.
11. Chen S., Kang C., Wang J., Liu C., Sun K.: *Synthesis of anodizing composite films containing superfine Al₂O₃ and PTFE particles on Al alloys*. Applied Surface Science 2010, 256, 6518–6525.
12. Pearlstein F.: *Sealing anodized aluminum*. Metal Finishing 1960, 58, 40–43.
13. Zhang W., Zhang D., Le Y., Li L., Ou B.: *Fabrication of surface self-lubricating composites of aluminum alloy*. 2008, 255, 2671–2674.
14. Zhang D., Dong G., Chen Y., Zeng Q.: *Electrophoretic deposition of PTFE particles on porous anodic aluminum oxide film and its tribological properties*. Applied Surface Science 2014, 290, 466–474.
15. Hattori T., Inogutt K., Ohshima Y., Nakagishi Y., Sakaguchi M.: *Method of making a composite aluminium article*. US Patent 5439712, 1995.
16. Wang Z., Wu L., Qi Y., Cai W., Jiang Z.: *Self-lubricating Al₂O₃/PTFE composite coating formation on surface of aluminium alloy*. Surface & Coatings Technology 2010, 204, 3315–3318.
17. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Organic Coatings by the Taber Abraser. ASTM D4060–09 2009.

(Otrzymano – 05.05.2016)

Dr inż. Przemysław KWOLEK. Studia na Wydziale Metali Nieżelaznych, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Doświadczenie zawodowe: asystent i adiunkt w Katedrze Materiałoznawstwa Politechniki Rzeszowskiej. Wyróżnienia i nagrody: stypendium START Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej. Miejsce pracy: Politechnika Rzeszowska, Katedra Materiałoznawstwa. Liczba publikacji: 21. Zainteresowania naukowe: ochrona przed korozją aluminium i jego stopów, fotoelektrochemia półprzewodników, recykling materiałów metalicznych.

e-mail: pkwolek@prz.edu.pl, tel. 17 743 23 76.

Inż. Patrycja GÓRECKA. Studia na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa na Politechnice Rzeszowskiej, kierunek: Inżynieria Materiałowa. Doświadczenie zawodowe: staż na stanowisku kontrolera jakości – MB Aerospace w Rzeszowie. Stypendia i nagrody: stypendium rektora dla najlepszych studentów, I miejsce w konkursie na charakteryzację obrazów mikrostruktury zorganizowanym przez koło naukowe AMSA Inżynierii Materiałowej Politechniki Rzeszowskiej. Zainteresowania naukowe: nowoczesne technologie materiałowe.

e-mail: patrycja.gorecka8@gmail.com.

Inż. Andrzej OBŁÓJ. Studia na Wydziale Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej oraz na Wydziale Informatyki Stosowanej Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie. Miejsce pracy: Politechnika Rzeszowska, Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotniczego.

e-mail: obloja@prz.edu.pl, tel. 17 743 20 40AO

Mgr Urszula KWOLEK. Studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie. Doświadczenie zawodowe: doktorantka w Zespole Nanotechnologii Polimerów i Biomateriałów na Wydziale Chemii UJ. Liczba publikacji: 3. Zainteresowania naukowe: oddziaływania polimer – membrana lipidowa, otrzymywanie i właściwości polimerosomów, nośniki substancji bioaktywnych.

e-mail: kwolek@chemia.uj.edu.pl, tel. 12 663 2020.

Kamil DYCHTON. Studia na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Doświadczenie zawodowe: asystent w Katedrze Materiałoznawstwa Politechniki Rzeszowskiej. Miejsce pracy: Politechnika Rzeszowska, Katedra Materiałoznawstwa. Liczba publikacji: 10. Zainteresowania naukowe: analiza termiczna, nawęglanie próżniowe, korozja metali i stopów.

e-mail: kdychton@prz.edu.pl, tel. 17 743 23 76

Dr inż. Marcin DRAJEWICZ. Studia na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Doświadczenie zawodowe: asystent i adiunkt w Katedrze Szkła i Powłok Amorficznych AGH i adiunkt w Katedrze Materiałoznawstwa Politechniki Rzeszowskiej. Miejsce pracy: Politechnika Rzeszowska, Katedra Materiałoznawstwa. Liczba publikacji: 41. Zainteresowania naukowe: technologia szkła i ceramiki, recykling materiałów.

e-mail: drajewicz@prz.edu.pl, tel. 17 743 24 20.

Prof. dr hab. inż. Jan SIENIAWSKI. Kierownik Katedry Materiałoznawstwa oraz Uczelnianego Laboratorium Badań Materiałów dla Przemysłu Lotniczego w Politechnice Rzeszowskiej, członek Komitetu Nauki o Materiałach i Komitetu Budowy Maszyn PAN. Liczba publikacji: ok. 400, 9 monografii i podręczników akademickich. Zainteresowania naukowe: kinetyka przemian fazowych i procesów wydzieleniowych w przesyconych roztworach stałych – nadstopach niklu i kobaltu oraz stopach aluminium, tytanu i magnezu, charakteryzacja warstw żaroodpornych i powłokowych barier cieplnych.

e-mail: jansien@prz.edu.pl, tel. 17 743 24 13.