

Technologie wytwarzania powłok przewodzących na tworzywach sztucznych.

Streszczenie. Zastosowanie pokrytych warstwą przewodzącą tworzyw sztucznych jako lekkich i nowoczesnych materiałów konstrukcyjnych otwiera nowe możliwości wykorzystania ich w produkcji przemysłowej. Kluczową kwestią przy metalizacji tworzyw sztucznych jest adhezja powłoki do polimerowego podłoża. Wyzwaniem podjętym w trakcie prowadzonych badań było wykorzystanie prądowego i bezprądowego niklowania do metalizacji szerokiej gamy tworzyw sztucznych (PA6, POM, Peek, Lab 920, PTFD, Tecafine) oraz zastosowanie aktywacji powierzchni przez nałożenie kleju elektroprzewodzącego na bazie srebra.

Abstract. The use of conductive coated plastics as light and modern construction materials opens up new possibilities of using them in industrial production. The key issue in the metallization of plastics is the adhesion of the coating to the polymer substrate. The challenge undertaken in the course of the research was to use the electrochemical and electroless nickel plating to metallization of a wide range of plastics (PA6, POM, Peek, Lab 920, PTFD, Tecafine) and the use of surface activation by applying a silver-based electroconductive adhesive. (**Technologies for producing conductive coatings on plastics.**)

Słowa kluczowe: Powłoki NiP, tworzywa sztuczne, metalizacja tworzyw sztucznych, PA6, POM, Peek, Lab 920, PTFD, Tecafine, elektrochemiczne i bezprądowe pokrywanie tworzyw sztucznych

Keywords: NiP coatings, plastic, metallization of plastics, PA6, POM, Peek, Lab 920, PTFD, Tecafine, electroplating and electroless plating of plastics

I Wstęp

Tworzywa sztuczne mają ogromny potencjał jako materiały konstrukcyjne. Są one wykorzystywane w przemyśle, gdzie znajdują szerokie zastosowanie ze względu na swoje właściwości. Są lekkie, trwałe, odporne na działanie chemikaliów i różnych środowisk, co stawia je w czołówce współczesnych materiałów. Coraz częściej i powszechniej stosowane są np. jako pokrycia dekoracyjne oraz jako materiały o właściwościach przewodzących. Tworzywa sztucznych używa się, gdy wymagane jest rozproszenie ładunku statycznego, ekranowanie pola elektromagnetycznego, w bateriach, kablach elektroenergetycznych, membranach ogniwo paliwowych, inteligentnych samoregulujących się przewodach grzejnych [1]. W wyrobach elektronicznych korpus urządzenia pełni rolę „ekranu” chroniącego przed zakłóceniami elektromagnetycznymi, zarówno emitowanymi przez urządzenie jak i tymi zewnętrznymi, które mogłyby wpływać na pracę urządzenia. Zazwyczaj jest on połączony z ujemnym biegunem zasilania (baterii lub zewnętrznego źródła). Ważne jest, aby korpus taki posiadał warstwę przewodzącą, która z jednej strony pełni rolę ochronną (ekranującą), a z drugiej stanowił jednorodny punkt odniesienia (wspólny potencjał 0 V, tzw. masa) dla wszystkich elementów elektronicznych. Takie rozwiązanie konstrukcyjne poprawia nie tylko niezawodność, ale także ułatwia projektowanie i montaż urządzenia.

Zestawiając te atuty z możliwością ich metalizacji, możemy otrzymać materiały łączące w sobie zarówno swoje pierwotne właściwości jako tworzywa sztuczne, jak i cechy metali, dzięki czemu możemy nadać im zdolność przewodzenia prądu.

Zastosowaniem dla tego typu materiałów może być optoelektronika, wykorzystująca m.in. gogle noktowizyjne stosowane przez indywidualnych żołnierzy piechoty, kierowców oraz załogi śmigłowców. Urządzenia te mocowane są na hełmie użytkownika i kluczowe w tym przypadku są zarówno przewodzenie pewnych elementów noktowizorów, jak również mała masa urządzenia. Ważnym aspektem jest w tym przypadku selektywna metalizacja, która otwiera również nowe kierunki rozwoju dla przemysłu zbrojeniowego czy sektora cywilnego dla tego typu powłok naniesionych na tworzywa. Kolejnym zastosowaniem

powłok NiP są rezystory cienkowarstwowe wykonane z folii ze stopu niklowo-fosforowego (NiP). Stosowane są m.in. w bardzo wymagających wojskowych, specjalistycznych urządzeniach elektronicznych do wysokoczęstotliwościowych oraz dynamicznych modułów pamięci [2].

W pracy przebadano szereg tworzyw sztucznych, wybranych do badań ze względu na ich korzystne charakterystyki. Jedną z grup tworzyw wytypowanych do badań był poliamid 6 (PA6). Charakteryzuje się on m.in. wysoką wytrzymałością mechaniczną, sztywnością i twardością, dobrą wytrzymałością zmęczeniową, odpornością na ścieranie i zarysowania oraz wysoką odpornością chemiczną, zwłaszcza na działanie rozpuszczalników organicznych, w tym olejów, paliw, smarów. Prawie 75% poliamidów jest stosowana jako włókna, a około 15% jako tworzywa konstrukcyjne. Poliamidy są higroskopijne – tworzą się w nich wiązania wodorowe pomiędzy cząsteczkami wody a polarna grupa amidowa. Absorpcja wody jest większa w obszarach amorficznych wskutek większej dostępności grup amidowych [3].

Poliacetal (POM) został wybrany jako następna grupa tworzyw. Bardzo ważną cechą tworzyw poliactalowych, z punktu widzenia ich właściwości konstrukcyjnych, jest wysoka wytrzymałość mechaniczna, sztywność, twardość oraz bardzo dobra stabilność wymiarowa. Nie bez znaczenia jest także stosunkowo szeroki zakres temperatur, w których można stosować elementy wykonane z tego tworzywa. Poliactale wykazują znakomitą odporność na wodę w temperaturze pokojowej. Poliactal chłonie minimalne ilości wody z otoczenia. Zaabsorbowana woda nie jest w trwały sposób związana w masie tworzywa i dlatego możliwa jest całkowita resorpcja wilgoci. Poliactale dzięki wyjątkowemu połączeniu takich właściwości mechanicznych jak bardzo dobra wytrzymałość i sztywność oraz dobra elastyczność i duża twardość

powierzchni, znajdują zastosowanie w wielu aplikacjach technicznych, takich jak: koła zębate, krzywki, nakrętki, śruby, haki, łożyska [4].

Ze względu na swoje korzystne właściwości kolejnym wytypowanym tworzywem był poliuretan -Lab 920 .

Tworzywem najbardziej obiecującym ze względu na właściwości konstrukcyjne jest polisiaczek fenylenu wzmocniony w 40 % włóknem szklanym (PPS GF 40). PPS jest krystaliczny, o dużej chemoodporności (nie rozpuszcza się pod wpływem rozpuszczalników organicznych), jest niepalny, a chłonność wody jest bardzo niska [5] na poziomie <0.01/0.01 % wg DIN EN ISO 62 [5].

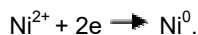
Podobnie niskim wchłanianiem wody charakteryzuje się PEEK – polieteroeteroketon, a na poziomie 0.02/0.03 %. PEEK cechuje się doskonałą stabilnością wymiarową, wytrzymuje duże obciążenia i zapewnia stabilność wymiarową w długim okresie czasu dzięki dużej sztywności i odporności na pęcznienie. Niska absorpcja wody sprawia, że PEEK jest odporny na zmiany wymiarowe spowodowane pęcznieniem, nawet przy dużej wilgotności [7].

Kolejnymi tworzywami o korzystnych właściwościach, wytypowanymi do badań były HDPE -polietylen o dużej gęstości oraz politetrafluoroetylen (PTFE).

Opisane powyżej tworzywa to tworzywa konstrukcyjne i przemysłowe o niskiej wartości absorpcji wody oraz właściwościach mechanicznych pozwalających na zapewnienie stabilnych wymiarowo wyrobów.

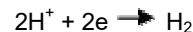
Metalizację tworzyw sztucznych prowadzi się już na szeroką skalę od ubiegłego wieku i istnieje szereg metod umożliwiających całościowe pokrywanie powierzchni tworzyw sztucznych warstwą metaliczną. Metodami metalizacji są [8]: chemiczne nakładanie metali, elektrochemiczne nakładanie metali, czy też metalizowanie natryskowe - zabieg, który jest stosowany w celu wytworzenia powłoki antykorozyjnej. Metalizacja natryskowa dzieli się na kilka różnych rodzajów: natryskiwanie płomieniowe (gazowe), plazmowe, naddźwiękowe, łukowe, próżniowe, magnetronowe i napyłanie katodowe. W natryskiwaniu płomieniowym kluczowe znaczenie ma rozpylony materiał (może to być proszek lub drut). W natryskiwaniu plazmowym źródło ciepła stanowi gaz plazmotwórczy. Z kolei natryskiwanie naddźwiękowe jest jedną z najbardziej nowoczesnych i skutecznych metod metalizacji. Natryskiwanie łukowe bazuje na wykorzystaniu łuku elektrycznego [9]. Kolejną metodą jest naporowywanie próżniowe, w którym nakładanie powłoki odbywa się w warunkach podciśnienia [9], napyłanie katodowe [11] oraz technologia magnetronowa (rozpylanie magnetronowe). Magnetron jest szczególnym przypadkiem układu diodowego z zimną katodą. W wyniku oddziaływania pola elektrycznego powstaje zjonizowany gaz roboczy, którego jony bombardują ujemnie spolaryzowaną elektrodę (target). Podczas bombardowania jony przekazują swoją energię atomom lub cząsteczkom targetu, powodując ich wybijanie. Powstały w ten sposób strumień par metalu przenoszony jest w kierunku podłoża, na którym następuje proces kondensacji i budowy warstwy [12].

Bardzo często wykorzystywaną metodą metalizacji tworzyw jest elektrochemiczne nakładanie metali, które charakteryzuje się małą wgłębnością działania kąpeli oraz stwarza ograniczenia związane z odpowiednim ustawieniem ekranów i elektrod. Wgłębność kąpeli związania jest ze stopniem skomplikowania, rozwinięcia powierzchni detalu, który chcemy pokryć. Im bardziej skomplikowany detal tym większa trudność w dotarciu kąpeli do wszystkich zagłębień obrabianej części. Podstawą galwanicznego procesu wydzielania metalu, np. niklu jest redukcja zawartych w roztworze kationów niklowych:

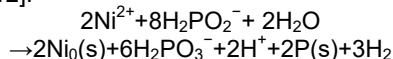


przy użyciu prądu elektrycznego [13,14].

Dodatkowo na katodzie zachodzi uboczna reakcja redukcji jonów wodorowych:



Kolejną metodą metalizacji, wybraną przez autora do badań, jest chemiczne nakładanie stopów metali, wykorzystujące w tym przypadku proces niklowania chemicznego wg mechanizmu autokatalitycznego (tzw. niklowanie bezprądowe). Podstawą niklowania chemicznego jest, podobnie jak w przypadku niklowania elektrochemicznego, redukcja zawartych w roztworze kationów niklowych reduktorem, najczęściej diwodorofosforanem (I) sodu. Z tym, że źródłem potrzebnych do tego elektronów jest reduktor/substancja redukująca [12].



Warstwa niklu, może zostać nałożona, ale wymaga to wcześniejszej modyfikacji chemicznej powierzchni. W przypadku autokatalizy możemy warstwę nanosić selektywnie tylko na wybranym fragmencie powierzchni.

W przypadku każdej z powyższych metod, kluczową kwestią jest adhezja [15] osadzonej warstwy metalicznej do podłoża. Problem przyczepności występuje powszechnie w przypadku materiałów, na powierzchniach których występuje niska energia powierzchniowa. Uzyskanie odpowiedniego poziomu przyczepności na materiałach o niskiej energii powierzchniowej może czasami być niezwykle trudne z uwagi na ich gładkość. Podczas obróbki powierzchni tworzyw sztucznych, występuje konieczność zwiększenia poziomu energii swobodnej występującej na powierzchni, aby przekroczył napięcie powierzchniowe powłoki, co zwiększy przyciąganie chemiczne [16,17]. Metod aktywacji jest wiele. Jedną z nich jest rozwinięcie powierzchni przez wykonanie piaskowania [15,18], śrutowania [19] lub chemicznego wytrawiania. Dzięki tym operacjom atomy metalu osadzają się i zakotwiczą w podłożu tworzywa sztucznego [20].

Kolejnym technikami zwiększającymi adhezję są: obróbka termiczna, wyładowanie koronowe oraz aktywacja plazmą [20]. Te operacje również mają na celu powierzchniową degradację polimeru, zwiększając zdolność atomów metali do zaczepienia się w materiale podłoża.

W pracy wykorzystano 6 typów tworzyw oraz zastosowano 2 technologie nanoszenia powłok metalicznych. Pozwoliły one na podjęcie próby selektywnego naniesienia i wytworzenia powłoki przewodzącej tzn. tylko na określonych powierzchniach próbki. Technologie te łączą nanoszenie kleju elektroprowadzącego EK-5 oraz procesu niklowania prądowego i bezprądowego. Warstwy te osadzane są na poddanych procesom uczulania i aktywacji, podłożach niemetalicznych [21].

2 Metodyka badań

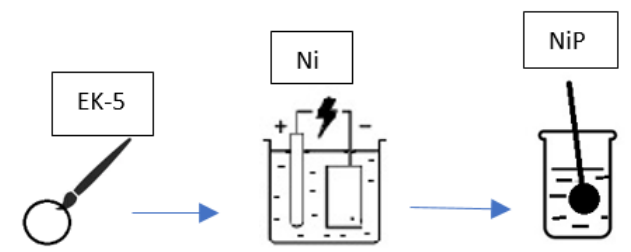
Do badań wykorzystano 6 rodzajów tworzyw sztucznych: Ertalon – PA6 – poliamid, Ertacetal – POM – poliactal, LAB 920 – poliuretan, Tecafine – polietylen, Teflon – PTFE, Peek – polieteroeteroketon.

Tworzywa wytypowano na podstawie ich właściwości tj. niskiej wartości absorpcji wody [7,8] oraz właściwości mechanicznych, pozwalających na zapewnienie stabilnych wymiarowo wyrobów [3].

Próbki przygotowano w formie płaskich krążków o wymiarach: \varnothing 20 mm i grubość 3 mm. Przygotowanie powierzchni tworzyw sztucznych polegało na naniesieniu warstwy kleju ze srebrem (EK-5), firmy ERGOM Sp. z o.o. Łódź, z lub bez dodatkowego niklowania elektrochemicznego (Rys. 1, Rys. 2). Tak przygotowane podłoże poddano następnie procesom niklowania chemicznego w kąpeli o pH = 4.2 oraz temp t = 90°C w czasie 30 min. Skład elektrolitu podano w Tabeli 1.

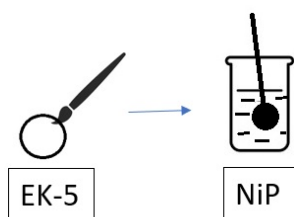
Tabela 1. Skład kąpeli do niklowania chemicznego

| Składniki kąpeli | Niklowanie elektrochemiczne | Niklowanie chemiczne |
|--|-------------------------------|-------------------------------|
| | Stężenie mol·dm ⁻³ | Stężenie mol·dm ⁻³ |
| NiSO ₄ ·6H ₂ O | 1,14 | 0,11 |
| NiCl ₂ ·6H ₂ O | 0,17 | |
| H ₃ BO ₃ | 0,57 | |
| NaH ₂ PO ₂ ·H ₂ O | | 0,28 |
| CH ₃ COONa | | 0,43 |
| C ₂ H ₄ OHCOOH | | 0,18 |



Rys. 1. Schemat technologii 1

Technologia 1, EK-5 + Ni + NiP (Rys.1) polega na naniesieniu pędzelkiem kleju elektroprowadzącego na bazie srebra (EK-5), na próbkę z tworzywa sztucznego w kształcie krążka oraz poddaniu jej niklowaniu elektrochemicznemu (Ni) oraz niklowaniu chemicznemu (NiP).



Rys.2. Schemat technologii 2

Technologia 2, EK-5 + NiP (Rys.2) polega na naniesieniu pędzelkiem, kleju elektroprowadzącego na bazie srebra (EK-5), na próbkę z tworzywa sztucznego w kształcie krążka oraz poddaniu jej niklowaniu chemicznemu (NiP).

Badanie morfologii powierzchni wytworzonych powłok wykonano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego Hitachi SU70 wyposażonego w system do mikroanalizy rentgenowskiej typu EDS firmy Noran.

Badania chropowatości powierzchni zostały przeprowadzone na profilometrze SURFTTEST SJ-210 firmy Mitutoyo. Zostały wyznaczone następujące parametry: Ra, Rq oraz Rz. Wykonano 5 pomiarów każdego z parametrów, a wyniki uśredniono.

Badania przyczepności powłok do podłoża przeprowadzono metodą zarysowania przy użyciu urządzenia CSM instruments Revetest w zakresie sił obciążenia: 1-50 N przy szybkości przesuwu wgłębnika 2 N/min na długości rysy 8 mm. Do oceny jakości przyczepności tych powłok do podłoża wykorzystano mikroskop optyczny Nikon eclipse LV 150N, umożliwiający obserwację powstałych rys.

3 Wyniki badań

Na Rys. 4 widoczne są obrazy morfologii powierzchni wytworzonych powłok. Otrzymane powłoki nie są ciągle, nie są jednorodne, nie wykazują cech charakterystycznych dla powłok NiP. Z obu zastosowanych technologii wyróżnia

się obraz powłoki powstały na tworzywie Peek. W przypadku technologii 1. (EK-5 + NiP) wyraźne jest świecenie i płynięcie fragmentu powłoki co może świadczyć o braku powłoki na tworzywie oraz braku przewodzenia wytworzonej powłoki. Jest to tyle ciekawe zjawisko, że po badaniu makroskopowym próbki stwierdzono obecność powłoki na całej powierzchni próbki. Sugeruje to, że ponieważ klej elektroprowadzący EK-5 z drobinami srebra jest produktem dwuskładnikowym (zawiera bazę i utwardzacz) jest przygotowywany ręcznie – składniki odważane i mieszane ręcznie oraz nakładanie kleju na próbkę także odbywa się w taki sam sposób, mogło dojść do sytuacji, gdzie drobiny srebra ułożyły się tak, że w pewnym obszarze wystąpił brak czynnika przewodzącego.

Podobnie obraz wygląda w przypadku tego samego tworzywa oraz technologii 2 (EK-5 + Ni + NiP), gdzie obserwujemy na części powierzchni próbki poddanej analizie SEM, występowanie powłoki z cechami charakterystycznymi dla powłok NiP oraz powierzchni z cechami świecenia i płynięcia powłoki.

W pozostałych przypadkach obrazy są zbliżone w wyglądzie. Powierzchnia jest mocno poszarpana, bez cech powłoki NiP.

Badanie składu chemicznego metodą EDS przedstawione w tabeli 3. wskazuje, że srebro zawarte w kleju elektroprowadzącym EK-5, nie jest dobrym katalizatorem dla autokatalizacyjnej reakcji niklowania chemicznego NiP. Otrzymane wyniki wskazują, że wartości niklu jak i fosforu są śladowe i oscylują w granicy P = 0,1 – 0,3 a Ni = 0,4 – 1.2 % wag. Wartości Ag są wysokie i mieszczą się w przedziale Ag = 75,7 – 86 % wag.

W przypadku drugiej technologii (EK-5 + Ni + NiP) uwzględniającej niklowanie elektrochemiczne i niklowanie chemiczne, zawartość niklu w otrzymanej powłoce jest większa niż w przypadku technologii z samym niklowaniem chemicznym (EK-5 + NiP), ale stop nikiel-fosfor osadził się na wytworzonej powłoce po niklowaniu elektrochemicznym, a nie osadził się na podłożu zawierającym srebro. W osadzonym stopie nikiel-fosfor, fosforu jest około 10% względem zawartości niklu.

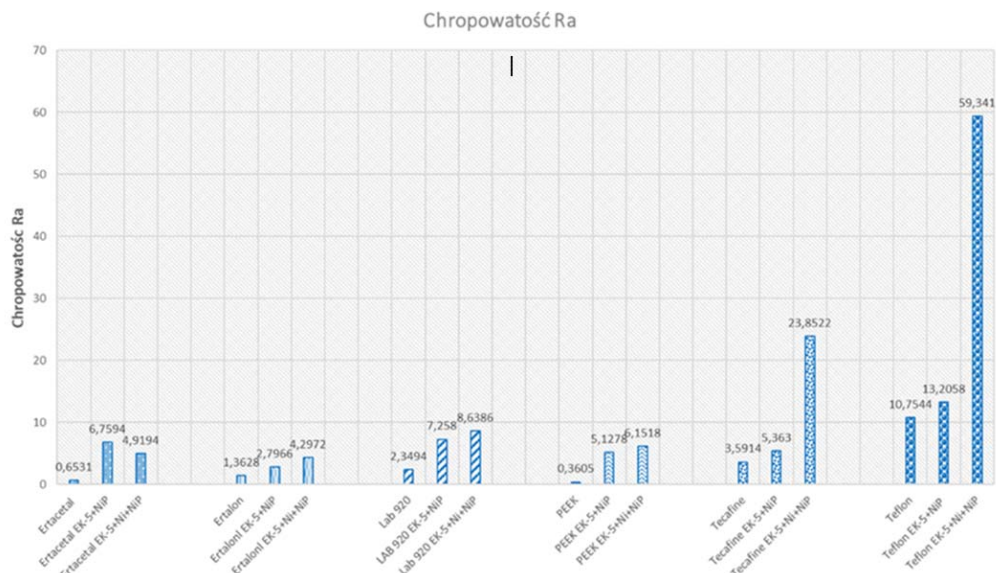
Tabela 2. Siła krytyczna

| Materiał/technologia | L _{c1} | |
|----------------------|-----------------|-----------------|
| | EK-5 + NiP | EK-5 + Ni + NiP |
| Ertacetal | 2.8 | 0.8 |
| Ertalon | 3.3 | 1.3 |
| Lab 920 | 5.7 | 7.2 |
| Peek | 5.7 | 1.8 |
| Tecafine | b.d. | b.d. |
| Teflon | b.d. | b.d. |

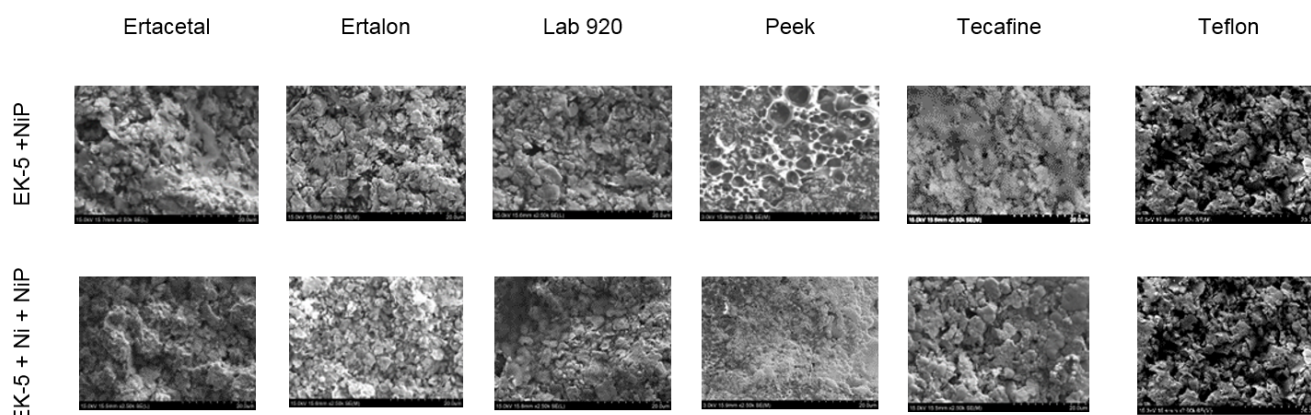
b.d. – brak danych – powłoka się nie osadziła lub osadziła się na tyle słabo, że pomiar był niemożliwy

Tabela 3. przedstawia zestawienie wielkości sił krytycznych po badaniu adhezji metodą scratch testu. Z tabeli widać, że najwyższe wartości L_{c1} dla technologii EK-5 + NiP uzyskano dla tworzyw Lab 920 i Peek. Natomiast dla technologii EK-5 + Ni + NiP najwyższe wartości zaobserwowano dla tworzywa Lab 920.

Na Rys.2 widoczna jest chropowatość Ra dla każdego tworzywa i każdej zastosowanej metody aktywacji podłoża oraz technologii nanoszenia powłoki metalicznej. Z wykresu widać, że najwyższą chropowatość uzyskano dla Teflonu dla obu technologii. Spowodowane jest to prawdopodobnie najwyższą wartością chropowatości dla materiału wyjściowego.



Rys. 3. Chropowość Ra



Rys. 4. Morfologia powierzchni wytworzonych powłok wykonana na mikroskopie skaningowym przy powiększeniu 2.50k

Tabela 3. Skład chemiczny powierzchni powłok metodą EDS

| % wag | Ertacetal | | | Ertalon | | | Lab 920 | | | Peek | | | Tecafine | | | Teflon | | |
|-----------------|-----------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|------|------|------|----------|------|------|--------|------|------|
| | P | Ni | Ag | P | Ni | Ag | P | Ni | Ag | P | Ni | Ag | P | Ni | Ag | P | Ni | Ag |
| EK-5 + NiP | 0.3 | 0.4 | 83.7 | 0.2 | 1.2 | 84.4 | 0.4 | 1.2 | 88.0 | 0.1 | 1.0 | 84.6 | 0.3 | 0.8 | 75.7 | 0.2 | 1.0 | 86.0 |
| EK-5 + Ni + NiP | 1.2 | 10.8 | 72.8 | 1.4 | 11.7 | 74.2 | 2.7 | 20.1 | 59.3 | 2.9 | 28.6 | 60.0 | 4.1 | 48.7 | 41.4 | 1.8 | 16.5 | 67.9 |

Tabela 4. Rezystywność powłok NiP

| Material/technologia | Rezystywność [$\Omega \cdot m$] | |
|----------------------|-----------------------------------|-----------------|
| | EK-5 + NiP | EK-5 + Ni + NiP |
| Ertacetal | 2.45 | 0.2 |
| Ertalon | 3.9 | 0.18 |
| Lab 920 | 0.34 | 0.08 |
| Peek | 0.48 | 0.1 |
| Tecafine | 0.27 | 0.63 |
| Teflon | 0.35 | 0.24 |

Przeprowadzone badania rezystywności wykazały, że wykorzystanie technologii 1 z dodatkowym niklowaniem elektrochemicznym poprawia przewodność powłok, co może być szczególnie istotne w niektórych zastosowaniach. Najniższymi opornościami charakteryzują się powłoki wytworzone technologią 1 na podłożu z Lab 920 oraz Peek, a najwyższymi w tej grupie technologii powłoka na podłożu z Tecafine. Inna zależność jest otrzymana dla technologii 2,

gdzie powłoka wytworzona na Tecafine ma najniższą rezystywność.

4 Podsumowanie i wnioski

Z punktu widzenia przyczepności najlepsze charakterystyki wykazuje powłoka wytworzona przy użyciu technologii EK-5 + NiP na tworzywach Lab 920 i Peek. Powłoka NiP osadzona na tworzywie Lab 920 przy użyciu technologii EK-5 + Ni + NiP również charakteryzuje się dobrą adhezją.

Wysokie wartości parametrów chropowatości oraz niska adhezja powłok NiP wytworzonych na Teflonie wyklucza ten materiał do dalszych zastosowań.

Najkorzystniejsza technologia z punktu widzenia przewodności powłok obejmuje dodatkowe niklowanie elektrochemiczne. Najniższą wartość rezystywności wykazuje tworzywo Lab 920 oraz Peek.

Autorzy: Prof. dr hab. Inż. Jerzy Robert Sobiecki, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa, e-mail: jerzy.sobiecki@pw.edu.pl; dr inż. Beata Kucharska, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa, e-mail: beata.kucharska@pe.edu.pl; mgr inż. Katarzyna Kur, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej, ul. Wołoska 141, 02-507 Warszawa, e-mail: katarzyna.kur2.dokt@pw.edu.pl

LITERATURA

1. Ewa Kolasińska Aleksandra Szmaja, Grzegorz Napolski, Tymoteusz Świeboda, Igor Tazbir. MODYFIKACJA WŁAŚCIWOŚCI ELEKTRYCZNYCH POLIMERÓW I TWORZYW SZTUCZNYCH. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe Nr 3/2018 (119) 29.
2. Noise properties of thin-film Ni-P resistors embedded in printed circuit boards. A.W. STADLER Z. ZAWIŚLAK, W. STĘPLEWSKI, A. DZIEDZIC. No. 3, 2013, brak miejsca : Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Tom Vol. 6.
3. M. Brzozowska-Stanuch A. Rabiej S. Maślanka. Badania kalorymetryczne PA6 oraz kompozytów PA6/wielosiścienne nanorurki. Przetwórstwo Tworzyw. 2015, Tom T. 21, Nr 1 (163).
4. Porębska mgr inż. Renata. Wybrane zagadnienia oceny własności mechanicznych kompozytów termoplastycznych. Rozprawa doktorska. Kraków : Biblioteka Cyfrowa Politechniki Krakowskiej, 2008.
5. Jacek W. Kaczmar Oliwia Trzaska. Termoplastyczne tworzywa wysokotemperaturowe. Tworzywa sztuczne w przemyśle. 2011, Nr 4.
6. <https://www.ensingerplastics.com/pl-pl/polwyroby/produkty/ppstecatron-gf40-black>. [Online] ensinger.
7. <https://www.ensingerplastics.com/pl-pl/polwyroby/tworzywa-wysokosprawne/peek>. [Online] Ensinger.
8. Słaboń, Małgorzata;. Metalizowanie tworzyw sztucznych - techniki. <https://img.oferia.pl>. [Online]
9. EBMiA. Metalizacja natryskowa – co to jest, rodzaje, jak przebiega metalizowanie? 2 grudnia 2021.
10. Joanna Jakubowska-Stokowska Jacek Niećko, Joanna Piechota-Flinik, Damian Marks. METALIZACJA, Trendy w opakownictwie sposobem na uszlachetnienie opakowań – luksus w lśniącym pudełeczku. Świat przemysłu kosmetycznego. 2013, 4.
11. Bula K. Jurga J. Napylenie katodowe cienkich warstw na powierzchni tworzyw polimerowych. Czasopismo Techniczne. Mechanika. 2006, Tomy R. 103, z. 6-M.
12. Ziąja Jan. Cienkowarstwowe struktury metaliczne i tlenkowe. Właściwości, technologia, zastosowanie w elektrotechnice. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej. 2012.
13. WŁASNOŚCI I ZACHOWANIE SIĘ WARSTW NIKLOWYCH W ZŁĄCZACH CERAMIKA-METAL. Waław MUSZKAT Władysław WŁOSIŃSKI. zeszyt 1, brak miejsca : <http://rcin.org.pl>, 1978.
14. Zbigniew Wiliński Ludwika Lipińska, Agnieszka Rzepka, Roman Batijewski. ELEKTROCHEMICZNE OSADZANIE GRADIENTOWYCH POWŁOK STOPOWYCH Ni-P. MATERIAŁY ELEKTRONICZNE . 2008, Tom T. 36, NR 3.
15. Kaczorowska Ewa. PORÓWNANIE METOD TESTOWANIA WYTRZYMAŁOŚCI KLEJU NA ODRYWANIE DLA RÓŻNYCH SPOSOBÓW PRZYGOTOWANIA POWIERZCHNI PRÓBEK. PRACE INSTYTUTU LOTNICTWA. Warszawa : centrum Technologii Kompozytowych, Instytut Lotnictwa, al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa, 2016. Nr 3 (244).
16. <https://tantec.pl/przyczepnosc-a-obrobka-powierzchni-tworzyw-sztucznych/>. <https://tantec.pl>. [Online]
17. Ocena stopnia aktywacji tworzyw sztucznych. Lech BOROWIK Paweł CZAJA., brak miejsca : PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, 2012, Tom 12b.
18. Wpływ rodzaju obróbki strumieniowo-ściernej na topografię powierzchni blach stalowych. Burdek Marek. 3, brak miejsca : Instytut Metalurgii Żelaza, 2012.
19. Online MM Magazyn Przemysłowy. <https://magazynprzemislowy.pl/artykuly/srutowanie-stali-naczym-polega>. <https://magazynprzemislowy.pl>. [Online] 07 12 2016.
20. K. De Bruyn M. Van Stappen, H. De Deuwaerder, L. Roxhet, J.P. Celis. Study of pretreatment methods for vacuum metallization of plastics. Surface & Coatings Technology. 2003.
21. Wytwarzanie warstw rezystywnych typu Ni-Cu-P. PRUSZOWSKI PIOTR KOWALIK Zbigniew. Vol. 50 nr 10, brak miejsca : Wydawnictwo SIGMA-NOT, 2009, Tom Zeszyt 10.
22. M. Żenkiewicz K. Moraczewski, P. Rytlewski, M. Stepczyńska, B. Jagodziński. Metalizowanie bezprądowe tworzyw sztucznych. Polimery. 2017, Tom LXII, 3.
23. zbiorowa praca. Poradnik galwanotechnika. Warszawa : WNT, 1985.
23. Wołowicz Anna. Zastosowanie palladu i jego związków ze szczególnym uwzględnieniem katalizy. Przemysł Chemiczny. July 2013, 92.
24. Ensinger. <http://ensingerplastics.com>. [Online]
25. Zbigniew Wiliński Ludwika Lipińska, Agnieszka Rzepka, Roman Batijewski. ELEKTROCHEMICZNE OSADZANIE GRADIENTOWYCH POWŁOK STOPOWYCH Ni-P. MATERIAŁY ELEKTRONICZNE . 2008 , Tom T. 36, 3.
26. Porównanie metod testowania wytrzymałości kleju na odrywanie dla różnych sposobów przygotowania powierzchni próbek. Prace Instytutu Lotnictwa. Kaczorowska Ewa. nr 3 (244), Warszawa : Centrum Technologii Kompozytowych, Instytut Lotnictwa, al. Krakowska 110/114, 02-256 Warszawa, 2016.