

Renata ROGOWSKA, Jerzy SMOLIK
Instytut Technologii Eksploatacji – PIB, Radom

ODPORNOŚĆ KOROZYJNA POWŁOK WĘGLOWYCH NANOSZONYCH METODĄ HYBRYDOWĄ

Słowa kluczowe

Powłoki węglowe, odporność korozyjna, metoda RF PACVD, powłoki DLC.

Streszczenie

Celem pracy było uzyskanie i przebadanie, pod względem odporności korozyjnej, powłok DLC (ang. *diamond like carbon*). Powłoki DLC o różnym składzie chemicznym oraz różnych udziałach procentowych fazy diamentu i grafitu otrzymano metodą hybrydową, będącą połączeniem metody RFPACVD oraz reaktywnego rozpylania magnetronowego. Dobierając optymalny skład powłoki zmieniano temperaturę podłoża, skład atmosfery, ciśnienie gazu, polaryzację podłoża, napięcie wyładowania magnetronowego oraz czas procesu. Wykonano elektrochemiczne badania korozyjne. Oceniono wygląd powłok węglowych po badaniach korozyjnych i wytypowano powłoki o największej odporności na korozję.

Wprowadzenie

Od kilku lat w wielu ośrodkach naukowych zarówno w Polsce, jak i za granicą trwają prace nad powłokami DLC. Zainteresowanie tymi powłokami wynika z ich obojętności chemicznej, odporności korozyjnej, jak i biokompatybilności. Powłoki DLC ze względu na swoją biokompatybilność [1] testowane są jako materiały do zastosowań biomedycznych (instrumentarium medyczne, implanty).

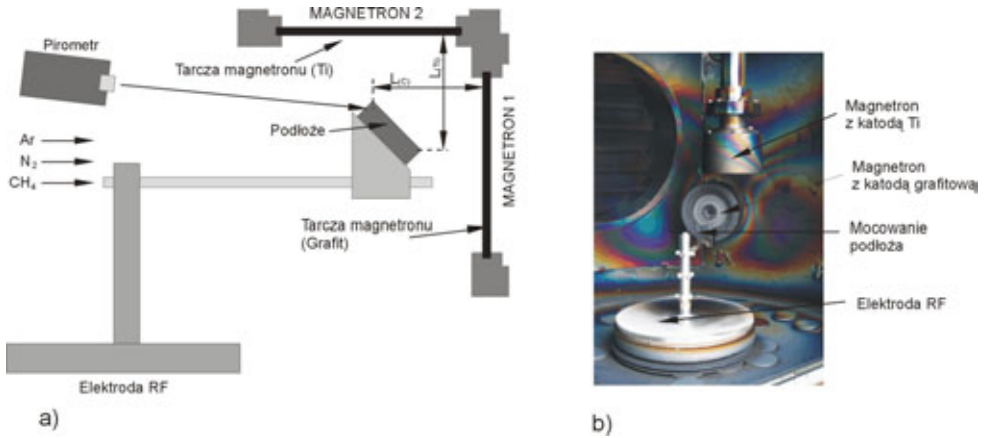
1. Otrzymywanie powłok

Powłoki węglowe przeznaczone do badań wytworzono metodą hybrydową, będącą połączeniem metody magnetronowej [2] oraz metody RF PACVD [3].

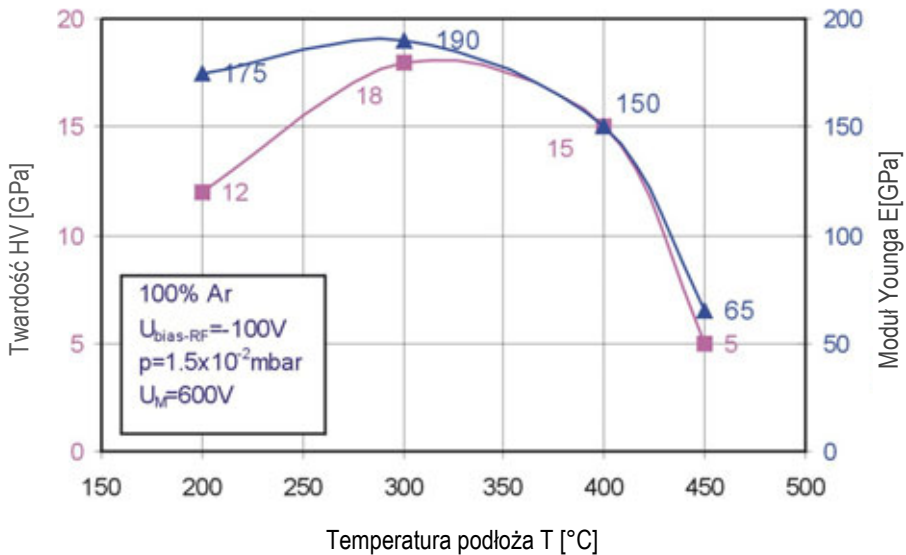
Powłoki węglowe typu a-C, a-C:H oraz a-C:H:N, tj. powłoki nie zawierające domieszki metalicznej, otrzymano z wykorzystaniem magnetronu cylindrycznego z katodą grafitową. W celu zróżnicowania składu chemicznego powłok procesy wyładowania magnetronowego realizowano w trzech różnych atmosferach procesowych, tj.: Ar, Ar+CH₄, Ar+N₂+CH₄. Powłoki węglowe z domieszką metaliczną, tj. powłoki typu a-C:Ti, a-C:H:Ti oraz a-C:H:N:Ti otrzymano z wykorzystaniem dwóch magnetronów cylindrycznych. Pierwszy magnetron posiadał katodę grafitową, drugi natomiast katodę wykonaną ze stopu tytanu WT4-0 zawierającego około 6% pierwiastków stopowych (0,2% Al, 3% Fe, 0,8% C, 0,15% H, 0,5% N, 1,5% O) i służył do wprowadzania domieszki metalicznego tytanu do strefy osadzania powłoki. Próbkę usytuowaną bezpośrednio na elektrodzie RF tak, aby potencjał autopolaryzacji katody w plazmie wyładowania RF był jednocześnie potencjałem polaryzacji podłoża w procesie wytwarzania powłok węglowych metodą magnetronową. Celem wykorzystania przemienego potencjału $U_{BIAS-RF}$ o charakterze zmian RF było zapewnienie odpływu ładunków gromadzonych na podłożu w przypadku nakładania powłok dielektrycznych, do których należą powłoki węglowe typu a-C:H. Podłoża przeznaczone do badań stanowiły próbki $\phi = 30$ mm wykonane ze stali proszkowej M390 f-my BÖHLER (C = 1,9%, Cr = 20%, Mo = 1,0%, Mn = 0,3%, V = 4,0%, W = 0,6%, Si = 0,7%) poddane procesowi ulepszenia cieplnego do twardości 51 HRC.

Dla realizacji opracowanej metody hybrydowej wytwarzania powłok węglowych wykorzystano istniejące urządzenie produkcji ITeE – PIB w Radomiu typ: CDS_2/RF-1/02, zbudowana na bazie stanowiska próżniowego WU2M produkcji ukraińskiej, umożliwiające wytwarzanie powłok węglowych metodą RF PACVD. Stanowisko wyposażono dodatkowo w dwa cylindryczne źródła magnetronowe wyprodukowane przez Politechnikę Wrocławską. Widok wnętrza komory próżniowej oraz schemat stanowiska doświadczalnego przedstawia rys. 1.

W pierwszej kolejności przeprowadzono procesy wytwarzania powłok typu a-C. Procesy wykonano w atmosferze czystego Ar w funkcji zmian temperatury podłoża w zakresie 200°C÷450°C. Parametry technologiczne, dla których powłoka typu a-C charakteryzowała się największą twardością, tj. $T = 300^{\circ}\text{C}$, $U_{BIAS-RF} = -100\text{V}$, oraz $p = 1,5 \times 10^{-2}$ mbar (rys. 2) posłużyły jako parametry wytwarzania powłok węglowych a-C:H oraz a-C i a-C:H domieszkowanych azotem i tytanem. Parametry technologiczne wytwarzania badanych powłok węglowych pokazano w tab. 1.



Rys. 1. Stanowisko doświadczalne do wytwarzania powłok węglowych metodą hybrydową, stanowiącą połączenie metody magnetronowej oraz metody RF PACVD; (a) schemat stanowiska, (b) widok wnętrza komory



Rys. 2. Wpływ temperatury podłoża na zmiany twardości i modułu Younga dla powłoki węglowej typu a-C, wytworzonej na stali stopowej proszkowej M390

Tabela 1. Parametry technologiczne wytwarzania powłok węglowych typu a-C:H oraz a-C i a-C:H domieszkowanych azotem i tytanem

	a-C	a-C:N	a-C:Ti	a-C:H	a-C:H:N	a-C:H:Ti
Atmosfera	100% Ar	90% Ar+10% N ₂	100% Ar	95% Ar+5% N ₂	85% Ar+10% N ₂ +5% CH ₄	95% Ar+5% CH ₄
Ciśnienie p [mbar]	1,5x10 ⁻² mbar	1,5x10 ⁻² mbar	1,5x10 ⁻² mbar	1,5x10 ⁻² mbar	1,5x10 ⁻² mbar	1,5x10 ⁻² mbar
U _{BIAS-RF} [V]	-100	-100	-100	-100	-100	-100
T [°C]	300	300	300	300	300	300
U _{M(C)} [V]	600	600	600	600	600	600
L _(C) [mm]	50	50	50	50	50	50
U _{M(Ti)} [V]	-	-	330	-	-	330
L _(Ti) [mm]	-	-	50	-	-	50
t [min]	30	30	45	30	30	45

T – temperatura podłoża

p – ciśnienie

U_{BIAS-RF} – napięcie polaryzacji podłoża

U_{M(C)} – napięcie wyładowania magnetronowego (magnetron z katodą grafitową)

L_(C) – odległość próbki od magnetronu z katodą grafitową

U_{M(Ti)} – napięcie wyładowania magnetronowego (magnetron z katodą Ti)

L_(Ti) – odległość próbki od magnetronu z katodą Ti

t – czas procesu

2. Metodyka badań

Przez pojęcie *korozja* rozumiemy samorzutne niszczenie materiałów na skutek jego oddziaływania z otaczającym środowiskiem. Otaczające środowisko, zwane również środowiskiem agresywnym lub korozyjnym, dotyczy generalnie atmosfery lub roztworu, z którym styka się materiał [4].

Korozja materiału (najczęściej ciała stałego) jest procesem zachodzącym na granicy faz z roztworem ciekłym lub gazowym, dlatego jej szybkość (V_{kor}) należy odnosić do jednostki powierzchni materiału.

W celu zbadania odporności korozyjnej materiałów konstrukcyjnych czy też powłok ochronnych na powierzchni metalu stosuje się bardzo wiele metod. Laboratoryjne metody badań odporności korozyjnej można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- badania długotrwałe, polegające na wielodobowej ekspozycji próbek badanych materiałów w sztucznie stworzonym środowisku korozyjnym, a następnie określenie postępu zniszczeń korozyjnych;
- badania elektrochemiczne, do których można zaliczyć: metodę ekstrapolacji prostych *Tafela*, metodę polaryzacji liniowej (metoda Sterna), metodę anodowych krzywych polaryzacji oraz badania impedancyjne [5].

Z teorii elektrod mieszanych wynikają dwie elektrochemiczne metody oznaczania szybkości korozji. Są nimi metoda ekstrapolacji prostych Tafela oraz metoda polaryzacji liniowej.

Szybkość korozji metali określana jest na podstawie oporności reakcji przejścia R_t i zależności *Sterna-Geary*:

$$I_{corr} = \frac{b_a b_k}{2,303(b_a + b_k)} \cdot \frac{1}{R_t} \quad (1)$$

gdzie: I_{corr} – prąd korozyjny, b_a i b_k – nachylenie prostych Tafela, odpowiednio reakcji anodowej (rozpuszczenie metalu) i reakcji katodowej (redukcja depolaryzatora) [6, 7].

Ubytek masy, Δm_{corr} , spowodowany korozją obliczany jest z prawa Faradaya [6, 7]:

$$\Delta m_{corr} = i_{corr} \cdot t \cdot \frac{M}{nF} \quad (2)$$

gdzie: t – czas korozji,
 M – masa atomowa metalu,
 F – stała Faradaya,
 n – ładunek jonów metalu.

Elektrochemicznym badaniom korozyjnym poddano dwie grupy powłok węglowych, tj. powłoki węglowe typu a-C i a-C:H oraz ich warianty domieszkowane azotem lub tytanem.

Badania korozyjne powłok diamentowo-grafitowych przeprowadzono w 0,5-molowym roztworze NaCl w zakresie temperatur 18÷21°C dla oceny ich odporności w środowisku chlorkowym – w warunkach ryzyka korozji lokalnej (wżerowej). Użyto trójelektrodowe naczynie pomiarowe. Elektroda odniesienia była elektroda chloro-srebrowa o potencjale 197 mV, zaś elektrodą pomocniczą – siatka platynowa. Badania wykonano przy użyciu potencjostatu Parstat 2263 z oprogramowaniem Power Suite. Próbkę były stabilizowane przez 24 godziny. Podczas stabilizacji wykonywano pomiar zależności potencjału obwodu otwartego od czasu. Potencjał badanych próbek stabilizował się po 24 godzinach. Badania elektrochemiczne wykonywano w następującej kolejności: wyznaczenie szybkości korozji metodą ekstrapolacji krzywych Tafela, wyznaczenie szybkości korozji metodą polaryzacji liniowej Sterna, elektrochemiczne badania impedancyjne, wyznaczenie krzywej polaryzacji anodowej metodą potencjodynamiczną.

Krzywe Tafela sporządzano zapisując zależność potencjału od logarytmu natężenia prądu. Zakres zmian potencjału wynosił ±0,250 V wokół potencjału obwodu otwartego. Wykorzystując oprogramowanie Power Suite wyliczono: potencjał korozyjny w miliwoltach (przy prądzie korozyjnym $I = 0$), prąd korozji

(μA), stałe Tafela anodową i katodową (mV), zużycie (ubytek) materiału w ciągu roku Co w jednostkach mpy.

Krzywą Sterna wyznaczano zapisując zależność potencjału od natężenia prądu. Badanie przeprowadzano w zakresie $\pm 0,020\text{ V}$ wokół potencjału obwodu otwartego. Przy użyciu oprogramowania wyznaczano: potencjał korozyjny (przy $I = 0$), prąd korozji (μA), opór polaryzacji (Ω), stałe Tafela anodową i katodową (we wszystkich badaniach obie miały wartość 100 mV) oraz zużycie materiału w ciągu roku (w jednostkach mpy).

Elektrochemiczne badania impedancyjne [8, 9] wykonano w zakresie częstotliwości od 100 kHz do 10 mHz , przy amplitudzie sinusoidalnego sygnału napięciowego 10 mV . W badaniach impedancyjnych wyznaczano krzywą Nyquista – zależność części urojonej impedancji od części rzeczywistej w zakresie zadanych częstotliwości oraz krzywe Bodego – zależność kąta fazowego od częstotliwości oraz zależność modułu impedancji od częstotliwości. Z wykresu Nyquista można wyznaczyć rezystancję przeniesienia ładunku (niskoczęstotliwościowe przecięcie pętli z osią rzeczywistą). Odwrotność tej rezystancji jest proporcjonalna do gęstości prądu korozji, a więc stanowi miarę szybkości korozji.

Krzywe polaryzacji anodowej metodą potencjodynamiczną rejestrowano w zakresie potencjałów od $-1,0\text{ V}$ do $+2,0\text{ V}$.

3. Wyniki badań

W tab. 2 zamieszczono symbole badanych powłok oraz wygląd powłok po badaniach korozyjnych, a w tab. 3 zebrano wyniki badań metodą Tafela i Sterna.

Tabela. 2. Badane powłoki

Symbol powłoki	Typ powłoki	Wygląd powłoki po badaniach korozyjnych
D11	a-C:H:N	Jeden duży wżer i ślad po badaniu na powłoce
D12	a-C	Dziewięć wżerów, trzy głębokie i ślad po badaniu na powłoce
D13	a-C:N	Sześć wżerów większych, ale płytkich, trzy wżery małe, ślad po badaniu na powłoce
D21	a-C:H:N	Jeden wżer głęboki
D22	a-C:H:N	Powłoka bez śladów korozji
D23	a-C:H:N	Powłoka bez śladów korozji
D25	a-C:Ti	Liczne wżery głębokie, około $\frac{1}{4}$ powierzchni próbki uległa korozji
D26	a-C:H:Ti	Trzy głębokie wżery, pięć bardzo drobnych wżerów
D27	a-C:H:N:Ti	Trzy płytkie wżery

Tabela. 3. Wyniki badań korozyjnych

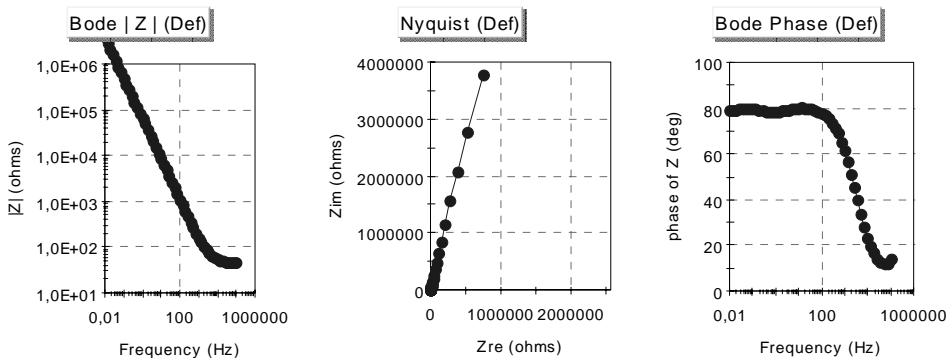
Rodzaj próbki	$E_{\text{pot-obw-otr}}$ [mV]	Metoda Tafela						Metoda Sterna				Krzywa polaryzacji anodowej	Impedancja	
		E_{cor} [mV]	I_{cor} [μA]	Ca [mV]	An [mV]	Co [mpy]	Rp [Ω]	E_{cor} [mV]	I_{cor} [μA]	Co [mpy]	E_{cor} [mV]			
Stal M390	-448	-444	1,236e+000	75	64	1,172e+000	7656	-447	2,839e+000	2,693e+000	-891		Kształt krzywej Nyquista	
D11	-411	-379	1,199e+001	494	203	8,820e+000	3744	-401	5,806e+000	4,270e+000	-389		prosta	
D12	-122	-131	1,114e-002	72	156	5,098e-003	1413676	-132	1,538e-002	7,040e-003	-211		półokrąg	
D13	-171	141	5,163e-003	119	136	3,158e-003	1645181	185	1,321e-002	8,084e-003	-237		prosta	
D21	-326	-332	3,842e-001	71	111	2,311e-001	40058	-332	5,427e-001	3,265e-001	-283		półokrąg	
D22	-184		Brak wyników					25893957	287	8,395e-004	4,997e-004	-155		prosta
D23	7		Brak wyników					19430276	55	1,119e-003	6,806e-004	-253		prosta
D25	-423	-413	2,462e+001	1008	146	1,465e+001	8301	-416	2,616e+000	1,557e+000	-495		półokrąg	
D26	-434	-420	1,913e-001	147	71	1,157e-001	1115159	-431	1,888e-001	1,142e-001	-409		półokrąg	
D27	168		Brak wyników					56686216	235	3,835e-004	2,307e-004	-162		prosta

Powłoki oznaczone symbolami D22 D23 i D27 mają najwyższy opór polaryzacji – rzędu kilkudziesięciu $M\Omega$. Charakteryzują się również niskimi prądami korozji oraz niską szybkością korozji rzędu E-04 (w jednostkach mpy). Kształt krzywych Nyquista (rys. 3) potwierdza wysoką odporność korozyjną wymienionych powłok. Na rys. 4–6 przedstawiono krzywe polaryzacji anodowej metodą potencjodynamiczną badanych powłok w odniesieniu do krzywej polaryzacji materiału podłoża. Uzyskiwane wykresy przedstawiają zależność potencjału od logarytmu natężenia prądu. Z krzywych można wyznaczyć część katodową i część anodową polaryzacji, potencjał korozyjny i prąd korozji. Na krzywych nie zaobserwowano zakresów pasywacji. Krzywe próbek pokrytych warstwami materiałów diamentowo-grafitowych wykazują większą odporność korozyjną w stosunku do materiału podłoża. W stosunku do krzywych potencjodynamicznych obrazujących odporność korozyjną materiału podłoża są one przesunięte w kierunku wyższych potencjałów i niższych gęstości prądu. Potencjał korozyjny powłok D22, D23 i D27 jest najwyższy spośród badanych powłok DLC.

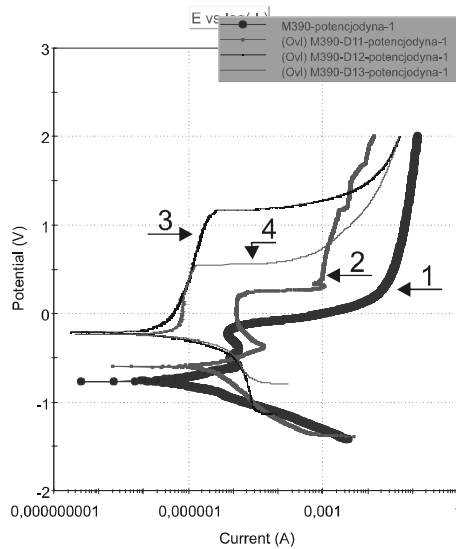
Powłoki D21, D22 i D23 były osadzone przy różnym składzie atmosfery roboczej.

Krzywe polaryzacji powłok D11, D21 oraz D25 wykazują najmniejszy wzrost potencjału korozyjnego oraz najmniejszy spadek prądu korozji w stosunku do parametrów zanotowanych dla niepokrytej stali M390.

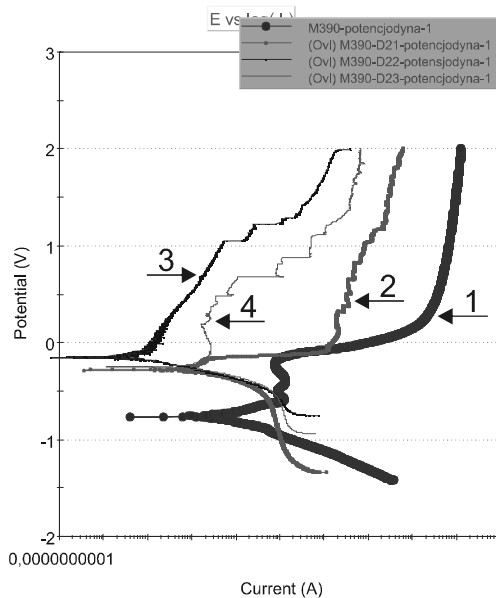
Każde modelowanie wyników pomiarowych impedancji wymaga wyboru zastępczego obwodu elektrycznego, którego elementy odpowiadają opisanemu elektrochemicznemu układowi. W przypadku złożonej charakterystyki impedancyjnej dobre dopasowanie uzyskać można niejednokrotnie nie tylko jednym elektrycznym obwodem zastępczym. Przykładowy wynik dopasowania do wyników eksperymentalnych obwodu zastępczego przedstawiono na rys. 7 i 8.



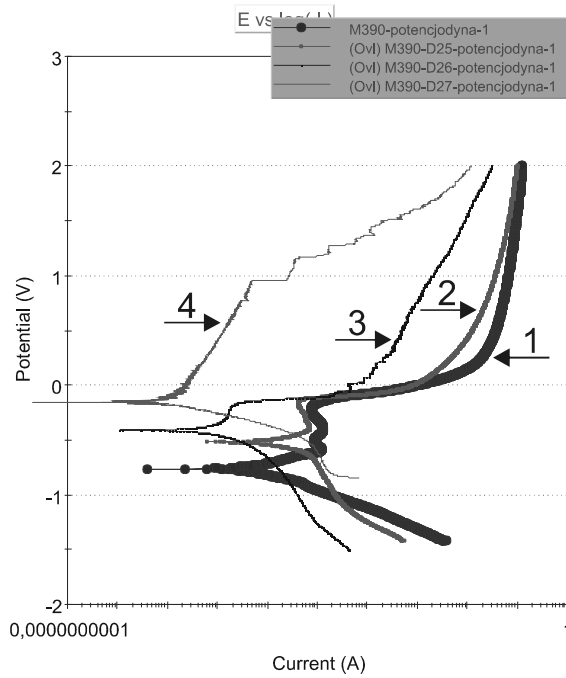
Rys. 3. Wykresy Nyquista i Bodego dla stali M390 z powłoką D22 badanej w 0,5-molowym roztworze NaCl



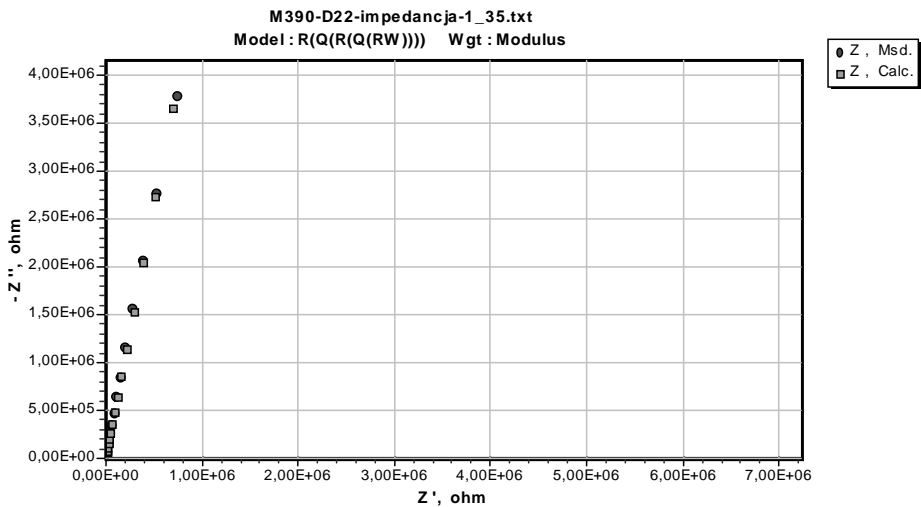
Rys. 4. Krzywe polaryzacji anodowej wyznaczone metodą potencjodynamiczną dla stali M390 bez powłoki oraz dla stali M390 z powłokami D11, D12, D13; Stal M390 – krzywa 1, D11 – krzywa 2, D12 – krzywa 3, D13 – krzywa 4



Rys. 5. Krzywe polaryzacji anodowej wyznaczone metodą potencjodynamiczną dla stali M390 bez powłoki oraz dla stali M390 z powłokami D21, D22, D23; Stal M390 – krzywa 1, D21 – krzywa 2, D22 – krzywa 3, D23 – krzywa 4



Rys. 6. Krzywe polaryzacji anodowej metodą potencjodynamiczną dla stali M390 bez powłoki oraz dla stali M390 z powłokami D25, D26, D27; Stal M390 – krzywa 1, D25 – krzywa 2, D26 – krzywa 3, D27 – krzywa 4



Rys. 7. Dopasowanie obwodu zastępczego do krzywej Nyquista dla stali M390 z powłoką D22 badanej w 0,5 molowym roztworze NaCl



...\\par\user par\M390-D22-impedancja-1_35, R(Q(R(Q(RW))))).par

1 = detect the sign of Zim

1 = modulus weighting factor

1.000 = sample area in square cm

R(Q(R(Q(RW))))

7.261e-04 = chi squared

Index	fixed	symbol	start	end	% error
1	0	R	1E-7	1,056E-7	7,955E10
2	0	Q	7,665E-8	7,71E-8	154,5
3	0	n	0,8	0,8258	36,04
4	0	R	48,7	48,71	170,9
5	0	Q	3,003E-6	3,003E-6	5,039
6	0	n	0,8828	0,8829	1,259
7	0	R	1,399E4	1,405E4	2,703E30
8	0	W	1,726E-20	1,814E-20	2,533E14

Rys. 8. Model obwodu zastępczego oraz wartości poszczególnych jego elementów uzyskane przy użyciu programu ZSimp Win

Elementy obwodów zastępczych są zazwyczaj oznaczane w następujący sposób:

R_e – opór elektrolitu i warstw ochronnych,

CPE_c , CPE_s albo Q – *Constant phase element* – element stała fazowy (nieidealna pojemność wynikająca z chropowatości próbek),

R_{por} – opór warstwy porowatej,

R_t – opór przejścia (związany z szybkością reakcji rozpuszczania warstwy),

C_d – pojemność warstwy podwójnej,

C_a – pojemność warstwy zaadsorbowanej,

C_{pas} – pojemność warstwy pasywnej,

C_f – pojemność warstwy ceramicznej napylonej (np. TiN, CrN),

R_i – oporność przeniesienia ładunku przez granicę faz dla reakcji elektrochemicznej,

R_a – oporność przeniesienia ładunku dla procesu adsorpcyjnego.

W – impedancja Warburga,

RE – elektroda odniesienia,

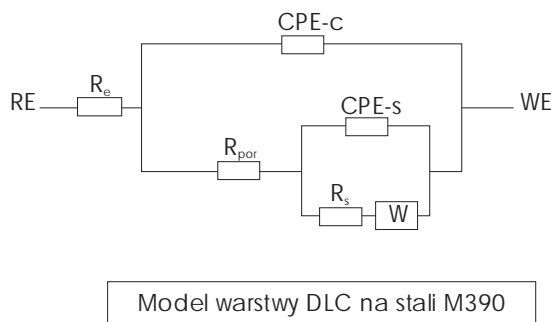
RW – elektroda pracująca (badana próbka).

Hamowanie procesów elektrochemicznych w wyniku zbyt powolnego transportu masy reagentów, np. w wyniku dyfuzji też wprowadza do zastępczego obwodu elektrycznego odpowiednie składowe pojemności i rezystancji [10].

W praktyce często spotyka się wpływ szybkości procesów transportu reagentów, a więc zjawiska stężeniowe i dyfuzyjne. W celu uwzględnienia tych procesów w obwodzie zastępczym Randalsa należy wprowadzić dodatkowy element zwany impedancją Warburga i będący bliżej niesprecyzowaną kombinacją elementów składowych RC. Impedancję Warburga W wprowadza się szeregowo ze składową rezystancją $R_r = R_i$ [10].

Obwody zastępcze dopasowano do uzyskanych wyników wykorzystując program ZSimp Win. W powyższych wzorach R oznacza rezystancję, C – pojemność, W – impedancję Warburga, Q – Constant Phase Element.

Dla powłok węglowych osadzonych na stali M390 badanych w 0,5-molowym roztworze NaCl przeważa obwód typu $R(Q(R(Q(RW))))$ (rys. 8, 9).



Rys. 9. Obwód zastępczy dla układu M390/D22 otrzymany przez przybliżenie krzywych eksperymentalnych EIS uzyskanych dla D22 w roztworze 0,5-normalnym NaCl [11–14]

Podsumowanie

Przebadano 9 powłok DLC o różnym składzie fazy diamentowej i grafitowej otrzymanych przy różnym składzie atmosfery badawczej. Badane powłoki są powłokami katodowymi. Krzywe polaryzacji anodowej metodą potencjodynamiczną dla wszystkich powłok DLC, w stosunku do krzywej dla stali M390, są przesunięte w kierunku wyższych potencjałów i niższych prądów. Wskazuje to na większą odporność korozyjną materiałów pokrytych badanymi powłokami. Największą odporność na korozję wykazały materiały oznaczone symbolami D22, D23, D27. Materiały D22, D23 mają taki sam skład. Są to powłoki typu a:C:H:N otrzymywane przy różnym składzie atmosfery roboczej. Powłoka D27 różni się jedynie obecnością tytanu. Zawartość diamentu w tych powłokach wynosi około 30%. Powłoki D22, D23 i C27 charakteryzują się olbrzymim oporem polaryzacji (tab. 3), krzywa Nyquista ma kształt prostej. Powłoki te charakteryzują się bardzo małymi (rzędu E-03, E-04) prądami korozji, jak również zużyciem materiału w ciągu roku rzędu E-04. Korozja wżerowa występująca w przy-

padku niektórych próbek pokrytych powłokami DLC wskazuje na występowanie porów w badanych powłokach.

Bibliografia

1. Ma W.J. et al.: DLC coatings. Effects of physical and chemical properties on biological response *Biomateriale*, 2007, 28, 1620–1628.
2. Miernik K.: Operation and construction of magnetron devices. *ITeE*, 1997 (in Polish).
3. Mitura S., Haś Z., Gorokhovskiy V.: *Surface and Coatings Technology*, 1991, 47, 106.
4. PN-EN ISO 8044:2002. Corrosion of metals and alloys. Basic terms and definitions.
5. Baszkiewicz J., Kamiński M.: *Fundamentals of materials' corrosion*. Wyd. Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 1987 (in Polish).
6. *Basics of corrosion measurements*. Princeton Applied Research, Application Note Corr 1.
7. *Electrochemistry and corrosion overview and techniques*. Princeton Applied Research, Application Note Corr 4.
8. Mieluch J., Warsza Z.: Impedance methods of electrochemical testing. Part 1. *Ochrona przed korozją*, 1990, 33, 2, 25–29 (in Polish).
9. Mieluch J., Warsza Z.: Impedance methods of electrochemical testing. Part 2. *Ochrona przed korozją*, 1990, 33, 3, 51–55 (in Polish).
10. Hekner A.: *Electrochemical corrosion. Research methods*. Electrochemical impedance spectroscopy – non-published (in Polish).
11. Liu C., Bi Q., Matthews A.: EIS comparison on corrosion performance of PVD TiN and CrN coated mild steel in 0,5 N NaCl aqueous solution. *Corrosion Science*, 2001, 43, 1953–1961.
12. Liu C., Bi Q., Leyland A., Matthews A.: An electrochemical impedance spectroscopy study of the corrosion behaviour of PVD coated steel in 0,5 N NaCl aqueous solution: Part I. Establishment of equivalent circuits for EIS data modeling. *Corrosion Science*, 2003, 42, 1243–1256.
13. Liu C., Bi Q., Leyland A., Matthews A.: An electrochemical impedance spectroscopy study of the corrosion behaviour of PVD coated steel in 0,5 N NaCl aqueous solution: Part II. EIS interpretation of corrosion behaviour. *Corrosion Science*, 2003, 42, 1257–1273.
14. Liu C., Lin G., Yang D., Qi M.: In vitro corrosion behavior of multilayered Ti/TiN coating on biomedical AISI 316 L stainless steel. *Surface & Coatings Technology*, 2006, 200, 4011–4016.

Recenzent:

Ewa KASPRZYCKA

Corrosion resistance of the carbon coatings prepared by hybrid method

Key words

Carbon coatings, corrosion resistance, DLC coatings, RF PACVD method.

Summary

The aim of this work was to obtain and examine the DLC (diamond like carbon) coatings in terms of their corrosion resistance. The DLC coatings, differentiating in chemical structure and composition phase of diamond and graphite, were obtained by hybrid method, which consists of RF PACVD method and reactive magnetron sputtering method. While choosing the optimum composition of coating, the temperature of substrate, composition of atmosphere, pressure of gas, polarization of substrate, tension of magnetron discharge as well as the time of the process were altered. The electrochemical corrosion investigations were carried out. After conducting a corrosive study, the appearance of carbon coatings was estimated and coatings with the largest resistance on corrosion were chosen.