

TESTY POTENCJODYNAMICZNE DRUTÓW STALOWYCH PRZEZNACZONYCH DLA KARDIOLOGII

JOANNA PRZONDZIOŃ¹, WITOLD WALKE², MAŁGORZATA FILIPEK¹,
PIOTR WRONA¹

¹POLITECHNIKA ŚLĄSKA, KATEDRA TECHNOLOGII MATERIAŁÓW,
UL. KRASIŃSKIEGO 8, 40-019 KATOWICE, POLSKA

²POLITECHNIKA ŚLĄSKA,
KATEDRA BIOMATERIAŁÓW I INŻYNIERII WYROBÓW MEDYCZNYCH,
UL. AKADEMICKA 16, 44-100 GLIWICE, POLSKA
MAILTO:JOANNA.PRZONDZIOŃ@POLSL.PL

Streszczenie

Celem pracy była ocena wpływu modyfikacji powierzchni oraz odkształcenia zadawanego w procesie ciągnięcia na właściwości korozyjne drutów ze stali X2CrNiMo 17-12-2 przeznaczonych dla kardiologii inwazyjnej. Odporność na korozję elektrochemiczną oceniano w oparciu o rejestrację krzywych polaryzacji anodowej metodą potencjodynamiczną. Krótkotrwałe testy potencjodynamiczne, jak również testy po 30. dniowej ekspozycji realizowano w sztucznym osoczu symulującym środowisko układu krwionośnego. Kolejne etapy modyfikacji powierzchni polegały na szlifowaniu drutów po technologicznym procesie ciągnięcia, ich elektrochemicznym polerowaniu oraz chemicznej pasywacji. Testy potencjodynamiczne w roztworze sztucznego osocza wykazały zróżnicowaną odporność na korozję elektrochemiczną drutów ciągniętych z odkształceniem w zakresie $\epsilon=0\div 2,99$. Stwierdzono, że najwyższą odpornością korozyjną charakteryzuje się walcówka w stanie wyżarzonym. Wraz ze wzrostem odkształcenia następuje obniżenie charakterystyk korozyjnych drutu. Zaobserwowano, że z kolei zabiegi modyfikacji powierzchni poprawiają właściwości korozyjne drutów. Dodatkowe polepszenie odporności drutów na korozję elektrochemiczną spowodowała 30. dniowa ekspozycja w sztucznym osoczu.

Słowa kluczowe: druty ze stali nierdzewnej X2CrNiMo 17-12-2, korozja elektrochemiczna, testy potencjodynamiczne w sztucznym osoczu, modyfikacja powierzchni

[Inżynieria Biomateriałów, 117-118, (2012), 104-108]

Wprowadzenie

Badania zjawisk korozyjnych zachodzących na instrumentarium i implantach przeznaczonych do kontaktu z krwią wykazały, że prawidłowa ich biotolerancja związana jest bezpośrednio z wysoką odpornością korozyjną materiałów metalowych. Właściwości drutu i wyrobów z drutu zależą głównie od jakości metalurgicznej stali użytej do ich produkcji, umocnienia odkształceniowego zachodzącego w procesach przeróbki plastycznej na zimno, struktury i właściwości użytkowych oraz właściwości fizykochemicznych powierzchni. Metody kształtowania prawidłowych właściwości fizykochemicznych powierzchni w istotny sposób ograniczają niekorzystne zjawiska zachodzące na granicy faz: biomateriał – środowisko tkankowe. Modyfikacja powierzchni powinna powodować minimalizację ilości produktów korozji przenikających do środowiska tkankowego

POTENTIODYNAMIC TESTS OF STEEL WIRES FOR CARDIOLOGY

JOANNA PRZONDZIOŃ¹, WITOLD WALKE², MAŁGORZATA FILIPEK¹,
PIOTR WRONA¹

¹SILESIAŃ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,
FACULTY OF MATERIALS SCIENCE AND METALLURGY,
8 KRASIŃSKIEGO STR., 40-019 KATOWICE, POLAND

²SILESIAŃ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY,
FACULTY OF BIOMEDICAL ENGINEERING,
16 AKADEMICKA STR., 44-100 GLIWICE, POLAND
MAILTO:JOANNA.PRZONDZIOŃ@POLSL.PL

Abstract

The study was aimed at evaluation of the impact of surface modification and strain applied in drawing process on corrosion characteristics of wires made of X2CrNiMo 17-12-2 steel used in invasive cardiology. Resistance to electrochemical corrosion was evaluated on the ground of anodic polarisation curves registered by means of potentiodynamic method. Short-term potentiodynamic tests as well as tests after 30-day exposure were performed in artificial blood plasma simulating blood vascular system. Further steps of surface modification comprised grinding wires that have been subject to technological drawing process, their electrochemical polishing and chemical passivation. Potentiodynamic tests in artificial blood plasma solution showed differentiated resistance to electrochemical corrosion of wires drawn with strain applied within the range of $\epsilon=0\div 2,99$. It was proved that annealed wire rod featured the highest corrosion resistance. With increasing strain, wire corrosion properties decrease. Next, it was observed that surface treatment increases wire corrosion characteristics. Additional improvement of wire resistance to electrochemical corrosion was brought forth by 30-day exposure to artificial blood plasma.

Key words: wires made of stainless steel X2CrNiMo 17-12-2, electrochemical corrosion, potentiodynamic tests in artificial blood plasma, surface modification

[Engineering of Biomaterials, 116-117, (2012), 104-108]

Introduction

Tests of corrosion phenomena that take place on instruments and implants intended to contact blood showed that their proper biotolerance is directly related to high corrosion resistance of metallic materials. Properties of wires and wire products mainly depend on metallurgical quality of steel used for their production, work hardening that takes place in the process of cold working, structure and functional characteristics as well as physical and chemical characteristics of the surface. Methods how to achieve proper physical and chemical surface characteristics limit to a great extent unfavourable phenomena that take place on phase boundary: biomaterial – tissue. Surface modification should minimize the amount of corrosion products penetrating to the tissue. Surface layer is shaped through application of various surface engineering technologies, among other things: electrochemical polishing and passivation.

Steel X2CrNiMo 17-12-2, popular in cardiology, is used among other things for production of guide wires and stents [1-4]. The study presents analysis of surface modification

Warstwa powierzchniowa kształtowana jest poprzez zastosowanie różnych technologii inżynierii powierzchni, m. in. elektrochemicznego polerowania oraz pasywacji.

W kardiologii zastosowanie znajduje stal X2CrNiMo 17-12-2 stosowana m. in. do wytwarzania drutów prowadzących i stentów [1-4]. W pracy dokonano analizy wpływu modyfikacji powierzchni oraz odkształcenia zadawanego w procesie przeróbki plastycznej na właściwości korozyjne drutów ze stali X2CrNiMo 17-12-2 przeznaczonych dla kardiologii inwazyjnej. Testy potencjodynamiczne realizowano w sztucznym osoczu symulującym środowisko układu krwionośnego.

Material i metodyka

Materiałem wyjściowym do badań była walcówka wykonana ze stali X2CrNiMo 17-12-2 średnicy 5,58 mm w stanie wyżarzonym. Walcówkę ciągniono do średnicy 1,25 mm. W trakcie realizacji procesu ciągnięcia odcinano próbki drutu do badań korozyjnych. Druty poddano następnie zabiegom modyfikacji powierzchni, które polegały na szlifowaniu, elektrochemicznym polerowaniu oraz chemicznej pasywacji.

Odporność na korozję elektrochemiczną oceniano w oparciu o rejestrację krzywych polaryzacji anodowej metodą potencjodynamiczną z wykorzystaniem systemu do badań elektrochemicznych VoltaLab® PGP 201 firmy Radiometer [5-8]. Wykonano krótkotrwałe testy korozyjne oraz badania po 30. dniowej ekspozycji drutów w roztworze sztucznego osocza. Skład chemiczny osocza podano w TABLICY 1. Badania realizowano zgodnie z zaleceniami normy EN-ISO 17475:2008. Podstawę do wyznaczenia charakterystycznych wielkości opisujących odporność na korozję wżerową stanowiły krzywe polaryzacji anodowej.

Przed przystąpieniem do badań wszystkie próbki oczyszczono w 96 % alkoholu etylowym w płucze ultradźwiękowej. Badania rozpoczynano od wyznaczenia potencjału korozyjnego, a następnie zarejestrowano krzywe polaryzacji anodowej. Na podstawie zarejestrowanych krzywych wyznaczono charakterystyczne wielkości opisujące odporność na korozję wżerową, tj.: potencjał przebicia, opór polaryzacyjny, gęstość prądu korozyjnego. Badania realizowano osobno dla próbek szlifowanych, osobno dla szlifowanych, a następnie polerowanych oraz próbek szlifowanych, polerowanych i chemicznie pasywowanych. Dla wyznaczenia oporu polaryzacji zastosowano metodę Sterna.

Testy potencjodynamiczne realizowano w temperaturze $T=37\pm 1^{\circ}\text{C}$, a $\text{pH}=7,0\pm 0,2$. Elektroda odniesienia była nasycona elektroda kalomelowa (NEK) typu KP-113, natomiast elektrodą pomocniczą - elektroda platynowa typu PtP-201. Badania rozpoczynano od wyznaczenia potencjału otwarcia E_{OCP} . W dalszej kolejności rejestrowano krzywe polaryzacji anodowej, rozpoczynając pomiary od potencjału o wartości $E=E_{\text{OCP}}-100\text{ mV}$. Zmiana potencjału następowała w kierunku anodowym z szybkością 1 mV/s. Po osiągnięciu gęstości prądu anodowego 10 mA/cm² zmieniano kierunek polaryzacji. W ten sposób rejestrowano krzywą powrotną. Potencjał otwarcia E_{OCP} badanych próbek ustalał się po 60 minutach.

Wyniki i dyskusja

Zrealizowane badania potencjodynamiczne w sztucznym osoczu pozwoliły na ustalenie, jak zmienia się odporność na korozję elektrochemiczną drutów zarówno w zależności od

influence and strain applied in plastic working on corrosion characteristics of wires made of X2CrNiMo 17-12-2 steel for invasive cardiology. Potentiodynamic tests were performed in artificial blood plasma simulating blood and vascular system environment.

Material and methodology

Annealed wire rod of X2CrNiMo 17-12-2 steel with diameter of 5,58 mm was used as stock material for tests. Wire rod was drawn to the diameter of 1,25 mm. During drawing process wire samples were cut off for corrosion tests. Next, wire was subject to surface modification, which included grinding, electrochemical polishing and chemical passivation.

Resistance to electrochemical corrosion was evaluated on the ground of anodic polarisation curves registered with potentiodynamic method with application of electrochemical testing system VoltaLab® PGP 201 by Radiometer [5-8]. Short-term corrosion tests as well as tests after 30-day wire exposure to artificial blood plasma solution were performed. Chemical composition of the solution is presented in TABLE 1. The tests were performed in accordance with recommendations of EN-ISO 17475:2008. Anodic polarisation curves enabled to determine typical factors describing resistance to pitting corrosion.

Prior to test commencement, all samples were cleaned in 96 % ethanol in ultrasonic washer. The tests started with determination of corrosion potential, which was followed by registration of anodic polarisation curves. Registered curves enabled to determine the following typical factors

describing resistance to pitting corrosion: breakdown potential, polarisation resistance, corrosion current density. The tests were performed separately for ground samples, for ground and then polished samples and finally for samples that were ground, polished and chemically passivated. Stern method was used to determine polarisation resistance.

Potentiodynamic tests were performed at the temperature of $T=37\pm 1^{\circ}\text{C}$, and $\text{pH}=7,0\pm 0,2$. Saturated calomel electrode (NEK) of KP-113 type served as the reference electrode, whereas platinum electrode of PtP-201 type served as auxiliary electrode. The tests started with determination of opening potential E_{OCP} . Next, anodic polarisation curves were registered, the measurement starting with potential $E=E_{\text{OCP}}-100\text{ mV}$. Potential changed in anodic direction at the rate 1 mV/s. When anodic current density reached 10 mA/cm², polarisation direction was reversed. Thus, return curve was registered. Opening potential E_{OCP} of tested samples stabilised after 60 minutes.

Results and review

Performed potentiodynamic tests in artificial blood plasma enabled to determine changes to wire resistance to electrochemical corrosion, depending both on strain ap-

TABLICA 1. Skład chemiczny roztworu sztucznego osocza.

TABLE 1. Chemical composition of artificial blood plasma solution.

Związek chemiczny Chemical compound	Ilość wody destylowanej, g/l Amount of distilled water, g/l
NaCl	6,8
CaCl ₂	0,2
KCl	0,4
MgSO ₄	0,1
NaHCO ₃	2,2
Na ₂ HPO ₄	0,126
NaH ₂ PO ₄	0,026

TABLICA 2. Wyniki krótkotrwałych testów korozyjnych
TABLE 2. Results of short-term corrosion tests

Średnica drutu d, mm Wire diameter d, mm	Stan powierzchni drutu Condition of wire surface	Odształcenie w procesie ciągnięcia, ϵ Strain applied in drawing process, ϵ	Potencjał korozyjny E_{kor} , mV Corrosion potential E_{corr} , mV	Opór polaryzacyjny R_p , k Ω cm ² Polarisation resistance R_p , k Ω cm ²	Gęstość prądu korozyjnego i_{kor} , μ A/cm ² Corrosion current density i_{corr} , μ A/cm ²	Potencjał przebicia E_b , mV Breakdown potential E_b , mV
5,58	szlifowany	0	-179	791	0,033	+490
	polerowany		-28	341	0,076	+371
	pasywowany		-19	1030	0,025	+1159
2,12	szlifowany	1,94	-193	406	0,064	+408
	polerowany		-82	230	0,113	+344
	pasywowany		-61	2350	0,011	+940
1,25	szlifowany	2,99	-224	145	0,179	+380
	polerowany		-122	126	0,206	+126
	pasywowany		-40	779	0,033	+639

odkształcenia zadawanego w procesie ciągnięcia, jak i od sposobu przygotowania powierzchni drutu.

W TABLICY 2 przedstawiono wyniki krótkotrwałych testów potencjodynamicznych, a w TABLICY 3 wyniki badań korozyjnych drutów wybranych średnic po 30. dniowej ekspozycji w roztworze sztucznego osocza.

plied in drawing process as well as the way of wire surface preparation.

TABLE 2 presents the results of short-term potentiodynamic tests, and TABLE 3 shows the results of corrosion tests of wires with specified diameter after 30-day exposure to artificial blood plasma solution.

TABLICA 3. Wyniki testów korozyjnych po 30. dniowej ekspozycji w sztucznych osoczu
TABLE 3. Results of corrosion tests after 30-day exposure to artificial blood plasma

Średnica drutu d, mm Wire diameter d, mm	Stan powierzchni drutu Condition of wire surface	Odształcenie w procesie ciągnięcia, ϵ Strain applied in drawing process, ϵ	Potencjał korozyjny E_{kor} , mV Corrosion potential E_{corr} , mV	Opór polaryzacyjny R_p , k Ω cm ² Polarisation resistance R_p , k Ω cm ²	Gęstość prądu korozyjnego i_{kor} , μ A/cm ² Corrosion current density i_{corr} , μ A/cm ²	Potencjał przebicia E_b , mV Breakdown potential E_b , mV
5,58	szlifowany	0	-129	135	0,193	+440
	polerowany		-274	80	0,325	+776
	pasywowany		+120	337	0,077	+1198
2,75	szlifowany	1,39	-116	398	0,065	+377
	polerowany		-231	181	0,144	+612
	pasywowany		-224	421	0,062	+1077
1,25	szlifowany	2,99	-195	430	0,060	+470
	polerowany		-127	1050	0,025	+561
	pasywowany		-176	964	0,027	+1161

Na RYS.1 przedstawiono krzywe polaryzacji anodowej drutów średnicy 5,58 i 1,25 mm po krótkotrwałych testach korozyjnych. RYS.2 ilustruje krzywe polaryzacji anodowej drutów tych samych średnic po 30. dniowej ekspozycji w roztworze sztucznego osocza.

Testy potencjodynamiczne w roztworze sztucznego osocza wykazały zróżnicowaną odporność na korozję elektrochemiczną drutów ciągniętych z odkształceniem w zakresie $\epsilon=0\div 2,99$. Stwierdzono, że najwyższą odpornością korozyjną charakteryzuje się walcówka w stanie wyżarzonym. Wraz ze wzrostem odkształcenia następuje obniżenie charakterystyk korozyjnych drutu.

Przykładowo, w krótkotrwałych badaniach korozyjnych potencjał korozyjny walcówki szlifowanej wynosi $E_{kor}=-179$ mV, a drutu szlifowanego średnicy 1,25 mm - $E_{kor}=-224$ mV. Opór polaryzacji tych dwóch materiałów obniża się z $R_p=791$ k Ω cm² (walcówka) do $R_p=145$ k Ω cm² (drut średnicy 1,25 mm). Potencjał przebicia spada z warto-

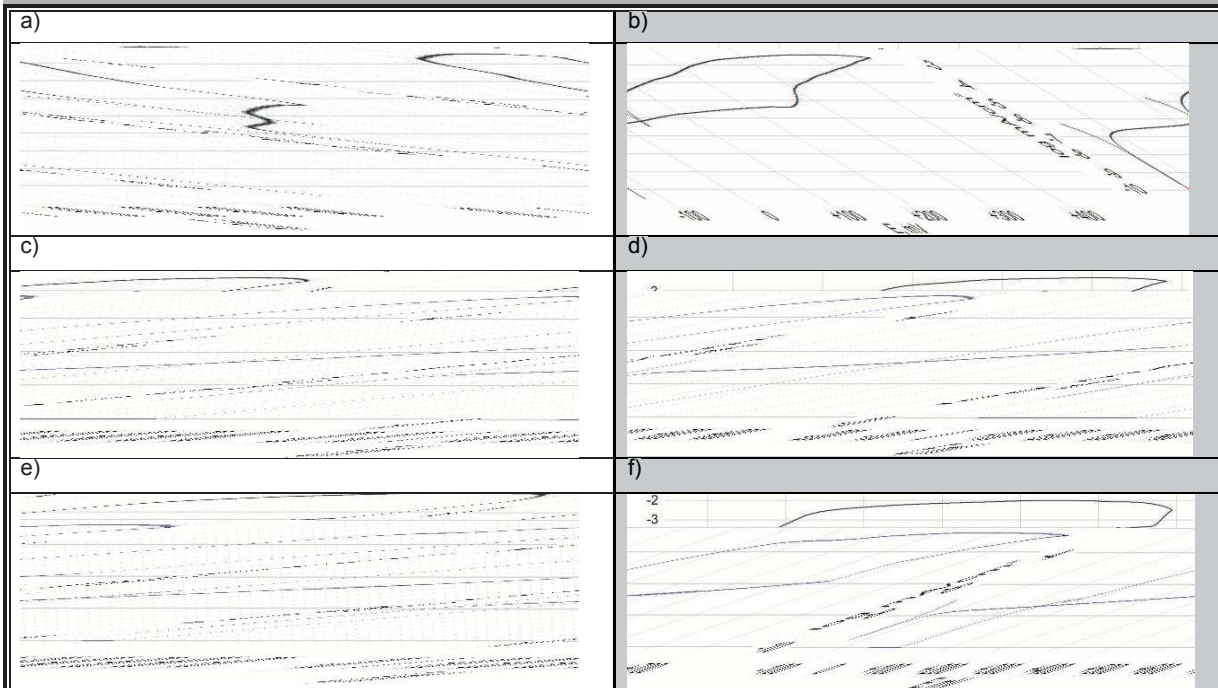
FIG.1 presents anodic polarisation curves of wires with diameter of 5,58 and 1,25 mm after short-term corrosion tests. FIG.2 presents anodic polarisation curves of wires with the same diameter after 30-day exposure to artificial blood plasma solution.

Potentiodynamic tests in artificial blood plasma solution showed differentiated resistance to electrochemical corrosion of wires drawn with strain in the range of $\epsilon=0\div 2,99$. It was proved that annealed wire rod featured the best corrosion resistance. With increasing strain, wire corrosion properties decrease.

For example, in short-term corrosion tests, corrosion potential of wire rod equals $E_{corr}=-179$ mV, and of ground wire with diameter of 1,25 mm - $E_{corr}=-224$ mV. Polarisation resistance of those two materials decreases from $R_p=791$ k Ω cm² (wire rod) to $R_p=145$ k Ω cm² (wire with diameter of 1,25 mm). Perforation potential decreases from $E_b=+440$ mV (wire rod) to $E_b=+380$ mV (wire with diameter of 1,25 mm).

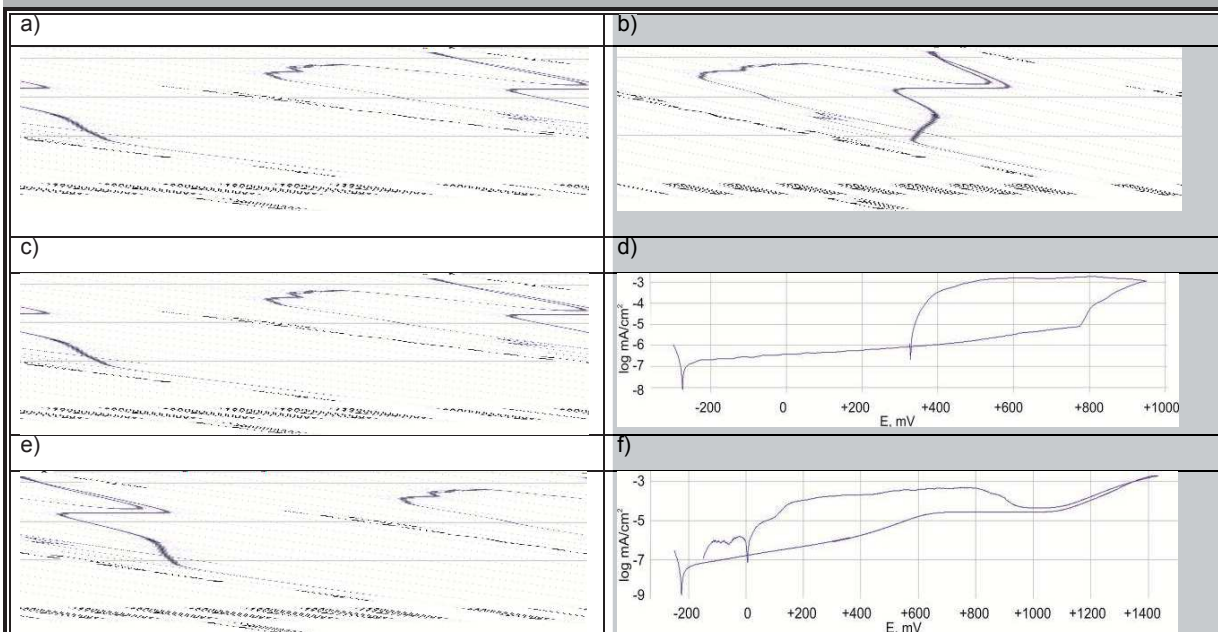
RYS. 1. Krzywe polaryzacji anodowej wyznaczone dla drutów: a) szlifowanych - $d = 1,25$ mm, b) szlifowanych - $d = 5,58$ mm, c) polerowanych - $d = 1,25$ mm, d) polerowanych - $d = 5,58$ mm, e) pasywowanych - $d = 1,25$ mm, f) pasywowanych - $d = 5,58$ mm.

FIG. 1. Anodic polarisation curves determined for wires: a) ground - $d = 1,25$ mm, b) ground - $d = 5,58$ mm, c) polished - $d = 1,25$ mm, d) polished - $d = 5,58$ mm, e) passivated - $d = 1,25$ mm, f) passivated - $d = 5,58$ mm.



RYS. 2. Krzywe polaryzacji anodowej po 30. dniowej ekspozycji w sztucznym osoczku wyznaczone dla drutów: a) szlifowanych - $d = 1,25$ mm, b) szlifowanych - $d = 5,58$ mm, c) polerowanych - $d = 1,25$ mm, d) polerowanych - $d = 5,58$ mm, e) pasywowanych - $d = 1,25$ mm, f) pasywowanych - $d = 5,58$ mm.

FIG. 2. Anodic polarisation curves after 30-day exposure to artificial blood plasma, determined for the following wires: a) ground - $d = 1,25$ mm, b) ground - $d = 5,58$ mm, c) polished - $d = 1,25$ mm, d) polished - $d = 5,58$ mm, e) passivated - $d = 1,25$ mm, f) passivated - $d = 5,58$ mm.



ści $E_b = +440$ mV (walcówka) do $E_b = +380$ mV (drut średnicy 1,25 mm).

Zrealizowane badania wykazały, że modyfikacja powierzchni drutów znacząco poprawiła ich charakterystyki korozyjne. W krótkotrwałych testach potencjodynamicz-

Performed tests proved that wire surface modification improved significantly its corrosion characteristics. In short-term potentiodynamic tests, corrosion potential of wire rod increases from $E_{corr} = -179$ mV (ground wire rod) to $E_{corr} = -28$ mV (wire rod after grinding and electrochemical polishing),

nych potencjał korozyjny walcówki wzrasta z $E_{kor}=-179$ mV (walcówka szlifowana) do $E_{kor}=-28$ mV (walcówka szlifowana i elektrochemicznie polerowana), a następnie do $E_{kor}=-19$ mV (walcówka szlifowana, polerowana i chemicznie pasywowana). Opór polaryzacji walcówki po kolejnych etapach obróbki powierzchniowej rośnie z $R_p=791$ k Ω cm² (walcówka szlifowana) do $R_p=1030$ k Ω cm² (walcówka szlifowana, polerowana i chemicznie pasywowana). Potencjał przebicia wzrasta z wartości $E_b=+440$ mV (walcówka szlifowana) do $E_b=+1159$ mV (walcówka szlifowana, polerowana i chemicznie pasywowana).

Testy potencjodynamiczne zrealizowane po 30. dniowej ekspozycji w roztworze sztucznego osocza wykazały, że w większości przypadków właściwości korozyjne drutów uległy poprawie. Najlepiej można to zobrazować na przykładzie potencjału przebicia, którego wartość jest znacząco wyższa od wartości uzyskanych w krótkotrwałych testach korozyjnych. Należy przypuszczać, że ekspozycja w sztucznym osoczu spowodowała dodatkowo wytworzenie cienkiej warstwy tlenkowej o większej stabilności w stosunku do warstwy powstałej w wyniku procesów modyfikacji powierzchni. Zjawisko to jest korzystne i pożądane, zwłaszcza w przypadku zastosowania w zabiegach kardiologii inwazyjnej implantów - stentów.

Podsumowanie

Krótko- i długotrwałe testy potencjodynamiczne drutów wykonanych ze stali nierdzewnej X2CrNiMo 17-12-2 pozwoliły na ustalenie ich odporności na korozję elektrochemiczną w środowisku sztucznego osocza. Analiza porównawcza wszystkich polaryzacji anodowej wykazała, że na powierzchni wszystkich badanych drutów wystąpiła korozja wżerowa.

Stwierdzono, że odkształcenie zadawane w procesie ciągnięcia powoduje obniżenie właściwości korozyjnych drutów. Wraz ze wzrostem odkształcenia maleje potencjał korozyjny, potencjał przebicia oraz opór polaryzacji. Zwiększeniu ulega gęstość prądu korozyjnego. Badania wykazały również korzystny wpływ na odporność na korozję elektrochemiczną kolejno realizowanych zabiegów modyfikacji powierzchni.

Długotrwała ekspozycja w roztworze sztucznego osocza symulującym środowisko układu krwionośnego poprawiła odporność korozyjną drutów. Można wnioskować, że dodatkowa warstwa tlenkowa będzie powodować poprawę trwałości zastosowanych u pacjentów stentów kardiologicznych.

Podziękowania

Projekt został sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Nauki.

Piśmiennictwo

- [1] Marciniak J., Paszenda Z., Walke W., Kaczmarek M., Tyrlik-Held J., Kajzer W.: Stenty w chirurgii małoinwazyjnej. Wyd. Politechniki Śl., Gliwice, 2006.
- [2] Brzezińska-Rajszys G., Dąbrowski M., Różyło W., Witkowski A.: Kardiologia interwencyjna, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2009.
- [3] Kardiologia interwencyjna. Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa, 2009.
- [4] Marciniak J.: Biomateriały. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.

and then to $E_{corr}=-19$ mV (wire rod after grinding, polishing and chemical passivation). Polarisation resistance of wire rod after successive stages of surface treatment increases from $R_p=791$ k Ω cm² (ground wire rod) to $R_p=1030$ k Ω cm² (wire rod after grinding, polishing and chemical passivation). Perforation potential increases from $E_b=+440$ mV (ground wire rod) to $E_b=+1159$ mV (wire rod after grinding, polishing and chemical passivation).

Potentiodynamic tests performed after 30-day exposure to artificial blood plasma solution showed that in most cases wire corrosion characteristics improved. It can be best exemplified by perforation potential, the value of which is substantially higher than the values obtained after short-term corrosion tests. It can be assumed that exposure to artificial blood plasma caused in addition creation of a thin oxide layer with higher stability when compared to the layer created as the result of surface modification processes. This phenomenon is favourable and welcome, especially as far as application in invasive cardiological treatment – implants and stents – is concerned.

Summary

Short- and long-term potentiodynamic tests of wires made of stainless steel X2CrNiMo 17-12-2 enabled to determine their resistance to electrochemical corrosion in artificial blood plasma. Comparative analysis of anodic polarisation curves showed presence of pitting corrosion on the surface of all tested wires.

It was proved that strain applied in drawing process brings forth decrease of wire corrosion properties. Along with increase in strain, corrosion potential, breakdown potential and polarisation resistance decrease. Corrosion current density increases. The tests also showed favourable influence of successively performed surface treatment on electrochemical corrosion.

Long-term exposure to artificial blood plasma simulating blood and vascular system improved wire resistance to corrosion. It can be concluded that an extra layer of oxides will improve durability of cardiological stents applied for patients.

Acknowledgements

This project was financed from the funds of the National Science Centre.

References

- [5] Kajzer W., Krauze A., Walke W., Marciniak J., Corrosion resistance of Cr-Ni-Mo steel in simulated body fluids, J. Achiev. Mater. Manuf. Eng. 1/2 (2006) 115-118.
- [6] Przondziona J., Walke W., Kulak K.: Potentiodynamic research of wires made of stainless steels in the environment of body fluids. Eng. Biomater., 11 (2008) 104-106.
- [7] Przondziona J., Walke W., Dańczak G.: Odporność na korozję elektrochemiczną drutów przeznaczonych na przewodniki kardiologiczne. Hutnik - Wiadomości Hutnicze, 78 (2011) 104-106.
- [8] Przondziona J., Walke W.: Potentiodynamic studies of stainless steel wire for endourology. Archives of Materials Science and Engineering, 35 (2009) 21-28.