

Sylwia WĘGRZYNKIEWICZ, BELOS-PLP S.A. BU CYNKOWNIA, Bielsko- Biała
Dariusz SOŁEK, Wydział Powłok Ochronnych, FAMED S.A., Żywiec
Maciej HAJDUGA, Dariusz JĘDRZEJCZYK, Zakład Inżynierii Materiałowej, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

OCENA POWŁOK GALWANICZNYCH NANOSZONYCH NA SPRZĘT MEDYCZNY I REHABILITACYJNY JAKO ZABEZPIECZENIE ANTYKOROZYJNE I ANTYBAKTERYJNE

Streszczenie. Badania objęły identyfikację jakościową i ilościową bakterii znajdujących się na powierzchni próbek pobranych z konstrukcji łóżka rehabilitacyjnego. Dokonano oceny osadzania się wybranych szczepów bakterii na przygotowanych próbkach stali konstrukcyjnej DC01 z wielowarstwowymi powłokami ochronnymi. Otrzymane wyniki wskazują, że próbki z powłokami ochronnymi: miedź oraz nikiel-miedź, o najbardziej rozbudowanej topografii przestrzennej, stwarzają dogodne warunki dla adhezji bakterii.

1. WSTĘP

Długotrwała eksploatacja urządzeń i konstrukcji sprzętu medycznego i rehabilitacyjnego w warunkach uciążliwych i trudnych powoduje, że są one narażone na działania mechaniczne, a dalej na uszkodzenia powłok zabezpieczających (niklowo - chromowych) [2]. Dochodzi wówczas do znacznego obniżenia odporności korozyjnej powłok galwanicznych, a w konsekwencji pojawienia się korozji (rys. 1,2).

W tym obszarze mamy także do czynienia z korozją powodowaną płynami ustrojowymi (mocz, krew, ślina, pot i inne) oraz działaniem środków dezynfekcyjnych. Problem obejmuje zarówno eksploatację sprzętu rehabilitacyjnego (rys.2), jak i sprzętu ratownictwa medycznego (elementy wewnętrznej zabudowy karetka pierwszej pomocy), rejon kłesk żywiołowych i strefy działań wojennych. Powstawanie „ognisk” korozji i losowe ich rozprzestrzenianie umożliwia osiadanie i rozwój bakterii takich jak np. pałeczka okrężnicy (*łac. Escherichia coli*), pałeczka ropy błękitnej (*łac. Pseudomonas aeruginosa*), gronkowiec złocisty (*łac. Staphylococcus aureus*) i inne [3-6].

Celem pracy jest analiza rodzaju bakterii na powierzchni metalicznej powłoki ochronnej typu nikiel-nikiel-chrom (Fe/Ni20d/Crr) z intensywną korozją lokalną (rys.1). Dalej przeprowadzenie oceny osadzania się wybranych gatunków bakterii na próbkach z wielowarstwowymi powłokami ochronnymi (nikiel-nikiel-chrom, nikiel-chrom, nikiel-miedź, miedź) tworzonymi metodą elektrolizy. Dokonano oceny warstwy wierzchniej powłok ochronnych poprzez określenie chropowatości i topografii.



Rys.1. Łóżko rehabilitacyjne. Elementy łóżka rehabilitacyjnego z „ogniskami” korozji



Rys.2. Wózek inwalidzki z elementami miejscowej korozji

2. BADANIA WŁASNE

2.1. Identyfikacja bakterii na skorodowanych elementach konstrukcyjnych

Do badań wytypowano sprzęt medyczny łóżko rehabilitacyjne o symbolu LP-01.0 (rok produkcji 1994), na którym zaobserwowano miejscową korozję. Następnie wycięto z konstrukcji stalowej łóżka dwa elementy zaatakowane widoczną korozją (rys.1) . Materiał ten z powłoką galwaniczną typu nikiel-nikiel-chrom poddano badaniom mikrobiologicznym w celu ustalenia jakie bakterie zalegają w niszach, kawernach i na powłoce ochronnej elementów badanych.

Próbki inkubowano w 37 °C w 50 ml BHI. Następnie, co godzinę hodowle mieszano przez 5 minut na wytrząsarce, a następnie wykonywano posiew powierzchniowy na BHI agar: po pierwszej godzinie 0,5ml w kolejnych godzinach 0,1ml. Po 24 godzinach inkubacji kolonie identyfikowano i liczone. Po 24 godzinach hodowli na wybrane podłoża diagnostyczne (BHI agar, Mc, Sól, Edwards itp.) wysiewano powierzchniowo 0,1ml każdej hodowli płynnej w rozcieńczeniu 10^{-4} i 10^{-6} , inkubowano w 37 °C. W celu końcowej identyfikacji bakterii wykonywane były testy biochemiczne API.

Na próbce pierwszej zidentyfikowano szczep bakterii *Bacillus cereus*, na drugiej szczep bakterii *Staphylococcus aureus* oraz *Acinetobacter baumani*.

Największa liczba bakterii stwierdzona została na próbce pierwszej (180 CFU/ml po 5 godzinach inkubacji) dla drugiej próbki wynosiła 160 CFU/ml.

2.2. Materiały przeznaczone do badań

Przeprowadzono analizę chemiczną stali – materiał konstrukcyjny łóżka - a wyniki podano w tabeli 1.

Wyniki analizy chemicznej pozwoliły stwierdzić, że jest to stal DC01 wg PN-EN 10130:2009, którą poddano opracowaniu powierzchni w formie krążków wyciętych z blachy o średnicy 14,6mm i grubości 3mm

Skład chemiczny stali przeznaczonej do badań przeprowadzono przy pomocy analizy spektralnej i zamieszczono w tabeli 1

Tabela 1. Stal przeznaczona do badań

Rodzaj stali	Wagowa zawartość pierwiastków stali DC01 w [%]									
	C	P	S	Mn	Al	Si	Cu	Cr	Ni	Fe
Stal DC01	≤ 0,120	≤ 0,045	≤ 0,045	≤ 0,600	-	-	-	-	-	reszta
Wg analizy chemicznej	0,070	0,020	0,016	0,490	0,034	0,060	0,056	0,013	0,032	reszta

Węgiel i siarkę oznaczono na analizatorze węgla i siarki LECO CS-125, pozostałe pierwiastki na spektrometrze ICP-OES. Pomiar twardości wykonano na twardościomierzu uniwersalnym Zwick/Roell ZHU-250, wg normy PN-EN ISO 6507-1:2007. Średnia wartość zmierzonej twardości wynosi 105 HV1.

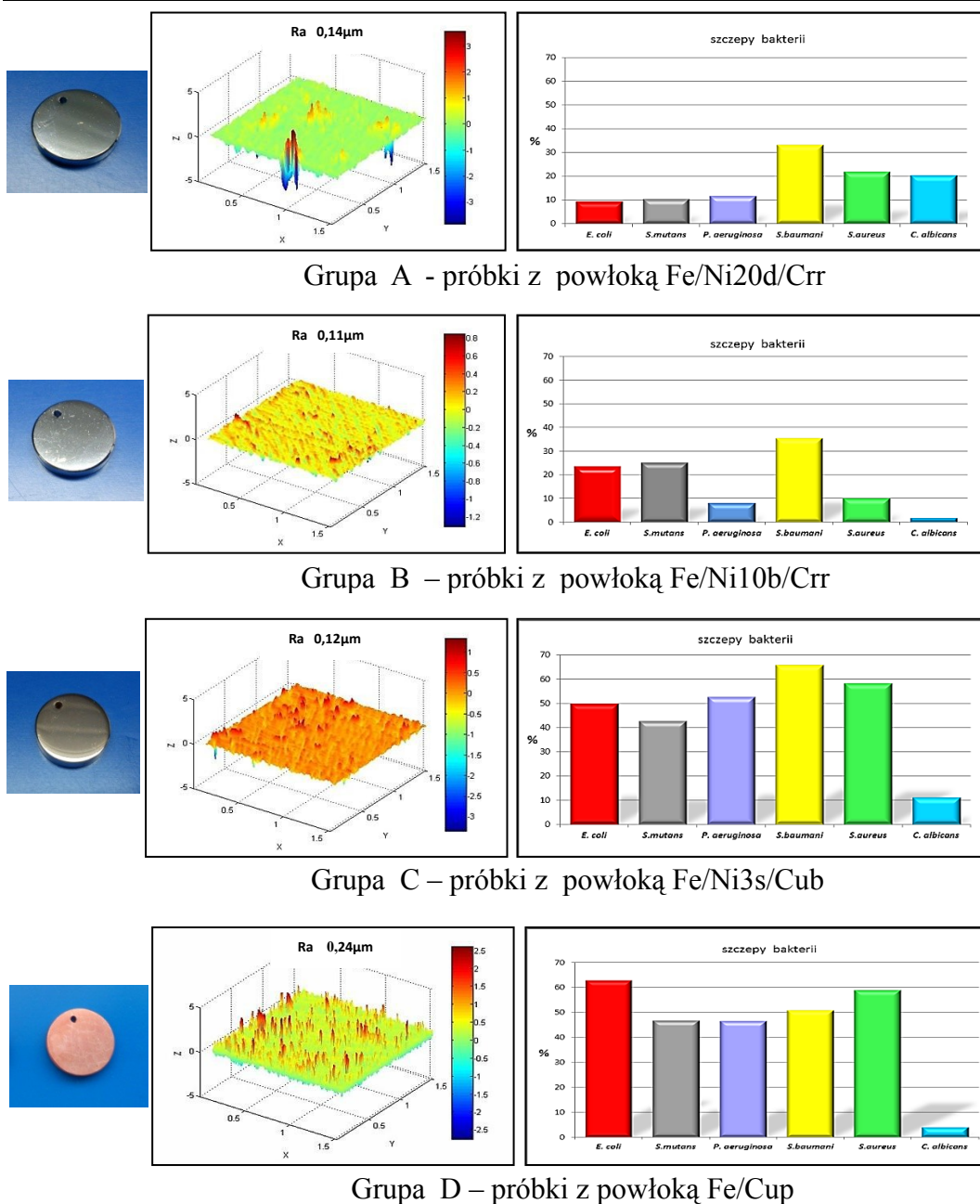
2.3. Przygotowanie próbek do badań

Do badań przeznaczono wycięte próbki, które szlifowano na tarczach szlifierskich o granulacji 80 i 120 z pastą szlifierską, a następnie polerowano. Metodą elektrolityczną nałożono warstwy galwaniczne w układzie : **Fe/Ni20d/Crr**, **Fe/Ni10b/Crr**, **Fe/Ni3s/Cub**, **Fe/Cus**, gdzie: **Fe** – oznacza podłoże, **Ni** - powłoka niklowa, **20** - minimalna grubość powłoki niklowej (10µm), **d** – powłoka niklowa dwuwarstwowa, **b** – jednowarstwowa powłoka niklowa o grubości minimum 10µm, **Crr** – powłoka chromowa zwykła o nominalnej grubości 0,3µm, **3** – grubość powłoki niklowej (3µm), **s** – powłoka jednowarstwowa niklowa półbłyszcząca, **Cub** – miedź błyszcząca, **Cup** – miedź matowa [8-9].

Próbki do badań podzielono na 4 grupy wg oznaczenia (rys.3).

2.4. Ocena warstwy wierzchniej badanych próbek

Dokonano pomiaru topografii w ujęciu 3D oraz chropowatości Ra nałożonych powłok galwanicznych, przy użyciu profilometru Perthometer Concept firmy Mahr. Wyniki pomiarów zaprezentowano na rysunku nr 3.



Rys.3. Widok ogólny próbek. Ocena warstwy wierzchniej dla badanych próbek. Procentowa zawartość bakterii ulegających adhezji

2.5. Adhezja bakterii na wielowarstwowych powłokach galwanicznych

Badania przeprowadzono na czterech grupach próbek rysunek 3. Wybrano sześć szczepów bakteryjnych charakterystycznych dla środowiska szpitalnego *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus baumani*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Streptococcus mutans*, *Candida albicans*.

W celu przeprowadzenia testu adhezji zawiesinę wybranych szczepów bakterii w objętości 2 ml (gęstość 2×10^6 bakterii na 1 ml PBS) inkubowano z poszczególnymi grupami próbek w mikropłytkie 12 dołkowej przez 1 godzinę w temperaturze 25 C. Inkubacja poprzedzona była

10 minutowym mieszaniem płytki na wytrząsarce w celu równomiernego rozproszania bakterii. Po zakończonej inkubacji próbki płukano trzykrotnie w PBS, a następnie wykonywano test redukcji MTT i bezpośrednie liczenie bakterii pod mikroskopem fluorescencyjnym. Procentową zawartość bakterii ulegających adhezji przedstawia rysunek 3, natomiast ilość komórek bakteryjnych w analizowanym mikroobszarze opisuje tabela 2.

Tabela 2. Ilość komórek bakteryjnych w analizowanym mikroobszarze

Grupa próbek	Liczba komórek bakteryjnych (średnica pola 0,08mm)					
	<i>Escherichia coli</i>	<i>Streptococcus mutans</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Streptococcus baumani</i>	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Candida albicans</i>
I Fe/Ni20d/Crr	20	66	35	45	60	10
II Fe/Ni10b/Crr	45	70	27	65	61	24
III Fe/Ni3s/Cub	>200	>200	>200	80	>200	16
IV Fe/Cup	>200	>200	137	71	>200	6

2. DYSKUSJA WYNIKÓW

Z przeglądu piśmiennictwa wynika, że nie ma dogłębnej wiedzy temat badań flory bakteryjnej znajdującej się na sprzęcie szpitalnym w szczególności znajdującej się na powłokach metalicznych. Dlatego podjęcie tematyki obejmuje ocenę rodzaju bakterii lokujących się na powłokach galwanicznych jako zabezpieczenie antykorozyjne dla sprzętu szpitalnego uważano za stosowne.

Na próbkach pobranych ze skorodowanych elementów konstrukcji łóżka rehabilitacyjnego zidentyfikowano trzy gatunki bakterii *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* oraz *Acinetobacter baumani*. Są to bakterie charakterystyczne dla środowiska szpitalnego [4-6].

Topografia materiału przygotowanego dodatkowo do badań uwidoczniła, że próbki z grupy D (z miedzią matową) posiadają najbardziej rozbudowaną warstwę wierzchnią $R_a = 0,24\mu\text{m}$. Chropowatość dla próbek z grupy A (nikiel-nikiel-chrom, $R_a=0,14\mu\text{m}$), B (nikiel-chrom, $R_a=0,11\mu\text{m}$) oraz C (nikiel-miedź, $R_a=0,12\mu\text{m}$) wyrażona jest zbliżonymi wartościami R_a .

Badania mikrobiologiczne przeprowadzone dla sześciu gatunków bakterii wykazały, że adhezja nastąpiła na wszystkich rodzajach powłok ochronnych. Największy procent bakterii, które uległy adhezji wykazały próbki z warstwą wierzchnią miedzi (próbki C = 46,83%, D = 45,17%).

Współczynniki R_a dla próbek C i D różni się znacząco (dla C, $R_a=0,12\mu\text{m}$; dla D, $R_a=0,24\mu\text{m}$), jednak obraz graficzny ukazuje podobny charakter powierzchni, co tłumaczy tak wysoki procent ilości bakterii, które uległy adhezji.

W ocenie procentowej adhezji bakterii do podłoża (rys.3) należy zauważyć, że *Candida albicans* (średni procent 9,3%) oraz *Streptococcus baumani* (średni procent 46,3%) charakteryzują się zbliżonymi wielkościami dla poszczególnych rodzajów powłok galwanicznych. Powodem tego może być brak powinowactwa tych bakterii do komponentów powierzchni metalicznej próbek.

Ilość komórek bakteryjnych (tabela 2) jest wynikiem średniej liczby bakterii ulegających adhezji na 8 polach (średnica pola 0,08mm) na środku płytki.

4. WNIOSKI

Miejsca z lokalną korozją sprzyjają osadzeniu się bakterii na podłożu korozyjnym a zidentyfikowane bakterie (*Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus*, *Acinetobacter baumani*) świadczą o braku skuteczności dezynfekcji. Powłoka nikiel-nikiel-chrom oraz nikiel – chrom wykazuje najmniejszą podatność na osadzanie się bakterii. Powłoki ochronne nikiel-miedź oraz miedź, o najbardziej rozbudowanej topografii, sprzyjają adhezji bakterii do podłoża.

LITERATURA

- [1] Ziębowicz B., Ziębowicz A., Szkodny J., FEM used in improvement of quality of medical devices, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering volume 41 issues 1-2 July-August 2010, 172-179.
- [2] Sułek W., Jedynek R., Wpływ powłok galwanicznych niklu i chromu na opory ruchu, Tribologia: tarcie, zużycie, smarowanie, nr 4, 2002, 1295-1301.
- [3] Kamiński M., Kamiński J., Wierzchoń T., Wpływ chropowatości i składu chemicznego powierzchni adsorbentu na kinetykę adhezji i wzrostu biofilmu bakterii pseudomonas w środowisku wodnym, Ochrona przed korozją (Wydanie specjalne) XLII, 1999, 143-147.
- [4] Łopaciuk U., Semczuk K., Dzierżanowska D.: Mikrobiologia zakażeń szpitalnych, Zakażenia 2002, 1–2, 98–102.
- [5] Fiedotow M., Denys A., Wybrane aspekty zakażeń szpitalnych., Pol.Merk.Lek., 2006, XXI, 484–488.
- [6] Bloch-Bogusławska E., Wolska E., Engelgardt P., Mikucka A., Paradowska A., Bakteryjne zakażenia szpitalne w latach 2000-2006 w materiałach własnych Katedry Medycyny Sądowej CM UMK w Bydgoszczy. ARCH.MED.SĄD.KRYM., 2008, LVIII, 22-26
- [7] PN-EN 12540:2002, Polska Norma. Ochrona metali przed korozją. Elektrolityczne powłoki niklowe, nikiel-chrom, miedź-nikiel, miedź-nikiel-chrom.
- [8] PN-EN 1403:2002, Polska Norma. Ochrona metali przed korozją. Powłoki elektrolityczne. Metoda podawania wymagań ogólnych.

EVALUATION OF GALVANIC COATINGS OF MEDICAL AND REHABILITATION EQUIPMENT AS THE ANTICORROSIVE AND ANTIBACTERIAL PROTECTION

Summary. The study included a qualitative and quantitative identification of bacteria on the surface of samples taken from the construction of rehabilitation beds. An assessment of the deposition of selected strains of bacteria in the prepared samples of constructional steel DC01 with multilayer protective coatings. Samples with protective layers: copper and nickel-copper, with higher developed three-dimensional topography reveals higher bacteria adhesion level.