

tom 65
4•2022
kwiecień

ISSN 0473-7733
e-ISSN 2449-9501

cena 44 zł (w tym 8% VAT)

MIESIĘCZNIK

ochrona przed korozją

**Corrosion
Protection**



WYDAWNICTWO
SIGMA-NOT



www.anticorr.pl • www.anticorr.com.pl • www.laboratorium.anticorr.pl

OFERUJEMY

- Akcesoria do malowania, piaskowania i metalizacji
- Urządzenia do obróbki strumieniowo-ścierniej
- Komory malarskie, lakiernicze i śrutownicze
- Urządzenia do piaskowania i śrutowania
- Urządzenia do odzysku ścierniwa
- Sprzęt kontrolno-pomiarowy
- Urządzenia do metalizacji
- Myjki wysokociśnieniowe
- Agregaty malarskie
- Ściany lakiernicze

LABORATORIUM pomiarowe Anticorr

- Badania powłok i materiałów
- Akredytacja na komorę solną, grubość, termometry i higrometry
- Wzorcowania i sprawdzenia urządzeń pomiarowych
- Badania odporności na działanie warunków klimatycznych w komorach solnych i starzeniowych



 **AGENCJA
ANTICORR**

Agencja Anticorr Gdańsk Sp. z o.o.
ul. Tarcice 11, 80-718 Gdańsk
tel.: 58 342 24 15
biuro@anticorr.pl

**LIDER POLSKIEGO RYNKU DOSTAWCÓW TECHNOLOGII
I URZĄDZEŃ DO OCHRONY PRZED KOROZJĄ**

Klimatyczne wnętrza w samym sercu Warszawy

Warszawski Dom Technika

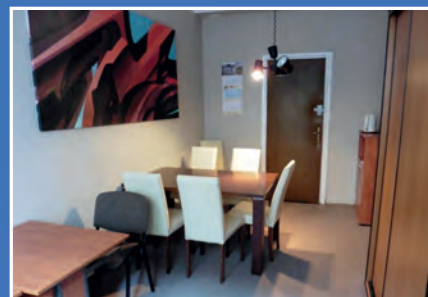
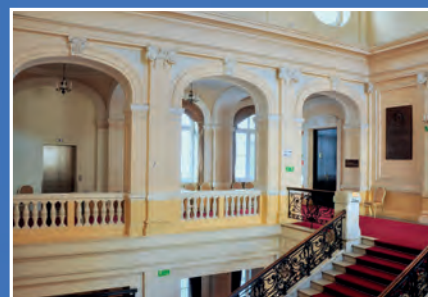
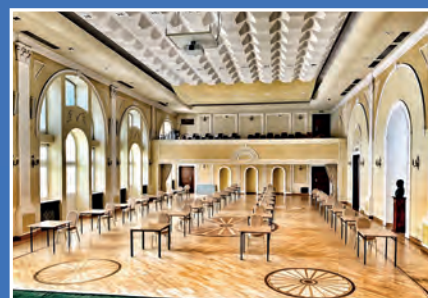
Tadeusza Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa

WYNAJEM SAL – tel. 729 052 512

WYNAJEM POWIERZCHNI BIUROWEJ – tel. 729 052 516

6 klimatyzowanych, w pełni wyposażonych sal mogących pomieścić od 15 do 400 osób.

Doświadczony zespół pomoże, doradzi, zorganizuje, każde wydarzenie w reżimie sanitarnym.



www.wdtnot.pl



REDAKCJA / EDITORIAL OFFICE: ul. Chopina 6, pok. 202, 44-100 Gliwice, tel.: 32 231 02 24 • www.ochronaprzekorozja.pl
e-mail: redakcja@ochronaprzekorozja.pl

ZESPÓŁ REDAKCYJNY / EDITORIAL STAFF:

Redaktor Naczelna: dr hab. inż. Małgorzata Zubieliwicz
Z-ca Red. Naczelnej: mgr Małgorzata Śmieszek-Glanc
Redaktorzy tematyczni: prof. dr hab. inż. Janusz Flis, prof. dr hab. inż. Danuta Kotnarowska, dr inż. Agnieszka Królikowska, dr hab. inż. Ginter Nawrat, dr inż. Wojciech Sokólski, prof. dr hab. inż. Adam Zybura
Redakcja językowa: Expressis Verbis – jęz. pol.
Redaktor językowy: mgr Grzegorz Sosna – jęz. ang.
Redaktor statystyczny: mgr inż. Anna Trams

RADA NAUKOWA / SCIENTIFIC COUNCIL:

prof. dr hab. inż. Witold Gnot, *Polska*
prof. dr hab. Henryk Bala, *Polska*
prof. Idalina Vieira Aoki, *Brazylia*
dr inż. Adam Baryła, *Polska*
mgr inż. Magdalena Borek-Daruk, *Polska*
prof. Pier Luigi Bonora, *Włochy*
dr Henrikas Cesiulis, *Litwa*
prof. dr rer. nat. Ahmed Abd El-Aziz, *Egipt*
prof. Lorenzo Fedrizzi, *Włochy*
prof. João Salvador Fernandes, *Portugalia*
prof. dr Damien Féron, *Francja*
prof. dr hab. inż. Janusz Flis, *Polska*
dr Daniel de la Fuente, *Hiszpania*
prof. Andréa Kalendová, *Czechy*
prof. dr hab. inż. Jacek Kijewski, *Polska*
prof. Niki Kouloumbi, *Grecja*
dr Olga Kulikova, *Rosja*
mgr inż. Józef Kozieł, *Polska*
dr inż. Agnieszka Królikowska, *Polska*
dr inż. Andrzej Królikowski, *Polska*
prof. Vesna B. Mišković-Stanković, *Serbia*
prof. Roman Nowak, *Finlandia*
dr hab. inż. Hanna Pokhmurska, *Niemcy*
dr inż. Tomáš Prošek, *Czechy*
dr Thadeus Schauer, *Niemcy*
dr inż. Wojciech Sokólski, *Polska*
prof. dr hab. inż. Maria Sozańska, *Polska*
prof. dr hab. inż. Bogdan Szczygieł, *Polska*
dr Judit Telegdi, *Węgry*
prof. dr hab. inż. Tadeusz Wierchoń, *Polska*
prof. dr hab. inż. Tadeusz Zakroczyński, *Polska*

Czasopismo „Ochrona przed Korozją” jest indeksowane w:
Master Journal List; Emerging Sources Citation Index, Scopus, Baztech, Index Copernicus.

Autor za publikację artykułu w czasopiśmie naukowym „Ochrona przed Korozją” otrzymuje 40 punktów zgodnie z komunikatem Ministra Edukacji i Nauki z dnia 1 grudnia 2021 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych.

Wersja papierowa czasopisma jest wersją pierwotną (referencyjną).



Czasopismo wydawane we współpracy z Polskim Stowarzyszeniem Korozyjnym
Czasopismo jest na liście czasopism Europejskiej Federacji Korozyjnej (EFC)



WYDAWCA: Wydawnictwo Czasopism i Książek Technicznych SIGMA-NOT

Spółka z o.o., ul. Ratuszowa 11, 03-450 Warszawa, tel.: 22 818 09 18, www.sigma-not.pl • Nakład (w tym wersja elektroniczna) do 500 egz.

PRENUMERATA: tel. 22 840 30 86, e-mail: prenumerata@sigma-not.pl
Wskazówki dla Autorów: www.ochronaprzekorozja.pl

OGŁOSZENIA przyjmują:

- Redakcja: tel. 32 231 02 24, e-mail: redakcja@ochronaprzekorozja.pl
 - Ewa Sadowska: ochronaprzekorozja-reklama@sigma-not.pl
 - Dział Reklamy i Marketingu, Warszawa, tel./fax: 22 827 43 65, e-mail: reklama@sigma-not.pl
- Za treść reklam i ogłoszeń redakcja nie odpowiada.

ARTYKUŁY NAUKOWE / RESEARCH ARTICLES

Wstępne badania porównawcze procesu polaryzacji anodowej stali austenitycznej 304 w rozpuszczalnikach eutektycznych zawierających glikol propylenowy lub etylenowy 103

Initial comparative studies of the anodic polarization of 304 austenitic steel in eutectic solvents containing propylene or ethylene glycol

— M. Marczewski, S. Frąckowiak, J. Winiarski

Powłoki ochronne na bazie winylotrójmetoksylosilanu (VTMS) z dodatkiem surfaktantu (Triton X-100) do zastosowań w implantologii 107

Protective coatings based on vinyltrimethoxysilane (VTMS) with the addition of a surfactant (Triton X-100) for application in implantology

— O. Kierat, A. Dudek, L. Adamczyk

Porównanie mikrostruktury i odporności na korozję powłok natryskiwanych metodą HVOF (high velocity oxy fuel) na podłożu ze stopu magnezu 112

Comparison of microstructure and corrosion resistance of coatings sprayed by HVOF (high velocity oxy fuel) onto magnesium alloy substrate

— J. Jaworska, M. Gruszka, M. Nabrdalik, M. Marcinkowski, W. Mikołajko, E. Augustyn, E. Jonda, A. Maciej, A. Kiljan

OCHRONA PRZED KOROZJĄ W PRAKTYCE / CORROSION PROTECTION IN PRACTICE

Połączony, zautomatyzowany system czyszczenia strumieniowo-ściernego poprawia jakość i obniża koszty 124

ARTYKUŁY PROMOCYJNE / SPONSORED CONTENT

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników – działalność naukowo-badawcza Centrum Farb i Tworzyw w Gliwicach 126

RUBICOAT® – modułowe rozwiązanie 130

WYDARZENIA

Prestiżowy Kongres organizowany przez SITPChem 134

X Kongres Technologii Chemicznej 135

WYDAWNICTWA

Resins for water-borne coatings 136

Czasopisma związane z tematyką korozji (cz. 10) 137

Z PRASY TECHNICZNEJ

Firma Sherwin-Williams laureatem nagród AMPP Structure Awards 138

Najnowsze osiągnięcia w dziedzinie powłok ochronnych do zabezpieczania dóbr dziedzictwa kulturowego

Farby przeciwporostowe

MATERIAŁY • URZĄDZENIA • TECHNOLOGIE

Wynalazki. Biuletyn Urzędu Patentowego 2022, nr 5–8 III okł.



We protect and beautify the world™

Przyjazne środowisku

ul. Łużycka 8A
81-537 Gdynia
tel. 58 774 99 00
fax 58 774 99 01
customers@ppg.com

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT 

ponad **70** LAT NA RYNKU

34 TYTUŁY

129 000 PUBLIKACJI

WYGODNY DOSTĘP
DO ARTYKUŁÓW FACHOWYCH

Nowy

PORTAL INFORMACJI TECHNICZNEJ

www.sigma-not.pl

Zmieniamy się dla Ciebie



MAREK MARCZEWSKI*

ORCID: 0000-0002-2728-5363

SANDRA FRĄCKOWIAK**JULIUSZ WINIARSKI**

ORCID: 0000-0003-0761-1579

Group of Surface Technology, Department of Advanced Material Technologies, Faculty of Chemistry, Wrocław University of Science and Technology, wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław, Poland

* Corresponding Author

DOI: 10.15199/40.2022.4.1

Wstępne badania porównawcze procesu polaryzacji anodowej stali austenitycznej 304 w rozpuszczalnikach eutektycznych zawierających glikol propylenowy lub etylenowy

Initial comparative studies of the anodic polarization of 304 austenitic steel in eutectic solvents containing propylene or ethylene glycol

W pracy zaprezentowano wstępne badania porównawcze nad procesem polerowania elektrochemicznego stali austenitycznej 304 w dwóch rozpuszczalnikach eutektycznych (deep eutectic solvents, DES) opartych na polioliach jako donorach wiązania wodorowego. Pierwszym z rozpuszczalników był znany w literaturze przedmiotu układ złożony z chlorku cholin i glikolu etylenowego, a drugim – rzadko omawiany układ złożony z chlorku cholin i glikolu propylenowego. Wykazano, że w wypadku ostatniej cieczy można osiągnąć podobne wyniki co w tej na bazie glikolu etylenowego, nie uzyskując jednak wyraźnego efektu polerowania elektrochemicznego. Proces polaryzacji anodowej w każdym zakresie gęstości prądu dla każdej cieczy doprowadził do zwiększenia się chropowatości powierzchni przy jednoczesnym wygładzeniu mikrostruktury stali w wypadku ustalonych wysokich gęstości prądu. Stwierdzono drobny wzrost odporności na korozję próbek poddanych polaryzacji anodowej przy średnich i wysokich gęstościach prądu w porównaniu z próbką stalową trawioną chemicznie.

Słowa kluczowe: stal stopowa, polerowanie elektrochemiczne, rozpuszczalniki eutektyczne, odporność na korozję, morfologia powierzchni

This work presents preliminary comparative studies on the process of electrochemical polishing of austenitic 304 steel in two deep eutectic solvents (DES), based on polyols as hydrogen bond donors. The first is the choline chloride and ethylene glycol solvent, known before in the literature, and the second is the rarely discussed choline chloride and propylene glycol solvent. The analyzes showed that in the latter liquid it is possible to achieve similar results as in the first solvent, but without obtaining a full-fledged effect of electrochemical polishing. The process of anodic polarization in each range of current density for each liquid led to an increase in surface roughness and a simultaneous smoothing of the steel microstructure in the case of tested high current densities. For samples subjected to anodic polarization at medium and high current densities, a slight increase in corrosion resistance was observed compared to the chemically etched steel sample.

Keywords: stainless steel, electrochemical polishing, deep eutectic solvents, corrosion resistance, surface morphology

Marek Marczewski, M.Sc., Ph.D. Student, Group of Surface Technology, Department of Advanced Material Technologies, Faculty of Chemistry, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland. Marek Marczewski within his Ph.D. thesis investigates the possibilities of potential use of deep eutectic solvents in electrochemical polishing processes.

E-mail: marek.marczewski@pwr.edu.pl

Sandra Frąckowiak, B.Sc., Student, Department of Advanced Material Technologies, Faculty of Chemistry, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland.

E-mail: 246464@student.pwr.edu.pl

Juliusz Winiarski, DSc Eng, Assoc. Prof., Group of Surface Technology, Department of Advanced Material Technologies, Faculty of Chemistry, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poland. Head of the Group of Surface Technology. Area of interest: modern electroplating; electrochemistry; corrosion

E-mail: juliusz.winiarski@pwr.edu.pl

■ Otrzymano / Received: 8.03.2022. Przyjęto / Accepted: 28.03.2022

1. Introduction

Stainless steels are one of the most popular materials used in industry and construction [1]. Their operational parameters make them eagerly chosen as a construction material for objects requiring high strength and corrosion resistance [2]. In the latter case, the parameters of these materials can be further modified based on surface engineering. Various methods of improving this parameter are used here, which include, among others electrochemical polishing. Unlike mechanical polishing, where various types of abrasives are used, electrochemical polishing takes place in specially prepared electroplating baths, where, under the influence of current flow, surfaces with high gloss, low roughness and increased resistance to pitting corrosion are obtained. Due to the above parameters, it is one of the most frequently chosen methods of processing stainless steels of the AISI 3XX series, which can then be used in the medical, cosmetic or food industry [3–5]. One of the drawbacks of this method is the current composition of the electropolishing baths. These are highly corrosive mixtures that require appropriate working conditions for operators. However, due to their very good operating parameters, low production and use costs, they are widely used. An alternative is to develop a new electrolyte in which the present process would operate under similar parameters, but without the potential harm to humans. Here, a potential solution is seen in the use of deep eutectic solvents [6]. These compounds are non-corrosive, low aggressive in relation to conventional baths and the processes taking place in them show high current efficiency and marginal gas generation at the anode/liquid interface [7–8]. Their use is already widely documented and they have been used in a number of electrochemical processes [9–12], where their disadvantage may be their high cost of production.

For this study, a eutectic solvent consisting of choline chloride and propylene glycol in a molar ratio of 1:2 was selected, which has not been extensively researched in the literature, but should have similar parameters to the reference liquid [13], which is the choline chloride-based solvent, and ethylene glycol in a 1:2 molar ratio. It is a solvent in which a stable electrochemical polishing process has already been carried out [14–15] and in which preliminary tests have been carried out for the AISI 316 steel [16]. Both of these liquids are characterized by a low crystallization temperature, stability of the liquid state at room temperature and high bath conductivity compared to alternative ionic liquids. The basis of the comparative research itself was the analysis of the influence of changes in the parameters of the anodic polarization process in each of the solvents on the course of the process and their result of changes in topography, surface and corrosion resistance.

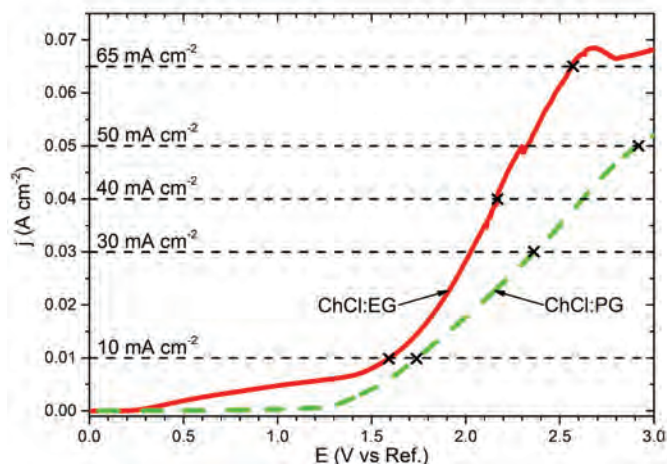
2. Experimental section

2.1. Materials

For the all tests, disks (14.8 mm diameter, geometric surface 4.1 cm^2) made of AISI 304 alloy steel were selected, which before the measurements were degreased in methanol in an ultrasonic bath and chemically etched in a solution of (vol.%): 10% HNO_3 , 20% HCl and 70% deionized water. The first of the eutectic ionic liquids was made by mixing choline chloride (2-hydroxyethyltrimethylammonium chloride $\geq 98\%$, Sigma, as supplied) with ethylene glycol (Merck Empura) in a 1:2 molar ratio (hereinafter referred to as "ChCl:EG"), and the second was prepared by replacing ethylene glycol with propylene glycol (Merck Empura) in a 1:2 molar ratio (referred as "ChCl:PG"). Each of the solution production processes was carried out at a temperature of 75°C until a uniform and transparent liquid was obtained.

2.2. Research methods

Polarization measurements (LSV) were made with a Reference 3000 (Gamry) potentiostat, at a scanning rate of 20 mV s^{-1} ,



Rys. 1. Voltamogram LSV zarejestrowany dla stali AISI 304 w dwóch rozpuszczalnikach eutektycznych w 65°C w zakresie od E_{OC} do 3 V wzgl. Ag z szybkością 2 mV s^{-1}

Fig. 1. LSV voltammogram registered for AISI 304 steel for two eutectic solvents at 65°C in the range from E_{OC} to 3 V vs Ag at a scan rate of 2 mV s^{-1}

starting from the open circuit potential (E_{OC}) and ending at 3 V vs E_{OC} . A silver electrode (99.9% Ag) was used as a reference electrode, while two platinum plates (99.9% Pt) placed parallel to the steel anode acted as cathodes. The measurements were carried out at 65°C . This temperature was chosen due to the increased kinetics of the process [17], and the selected temperature is within the range used in industrial baths [3]. From the obtained curves (Fig. 1), the most representative conditions of the polarization process were selected, deciding to choose two extreme points, which are specific limits of the sample oxidation process, and to choose the centered value for each range. In this way, three current density values were obtained for each of the liquids: for the ChCl:EG liquid they were 10, 40 and 65 mA cm^{-2} , and for the ChCl:PG liquid they were 10, 30 and 50 mA cm^{-2} . In these parameters, it was decided to conduct anodic polarization of the steel samples for 5 minutes at 65°C .

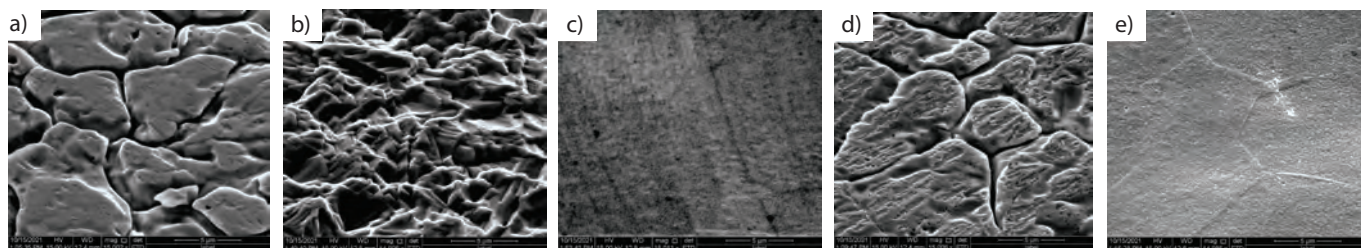
The surface morphology was analyzed using the SEM Quanta 250 (FEI) scanning electron microscope equipped with the EDS Octane Elect Plus SDD detector (25 kV, 10^{-4} Pa). The surface topography was examined with a DektakXT profilometer (Bruker) using a $12.5 \mu\text{m}$ thick stylus under a load of 3 mg and a scan speed of $1000 \mu\text{m min}^{-1}$.

Corrosion resistance measurements were performed with the Reference 1010E (Gamry) potentiostat in 0.5 M NaCl solution using a MultiPort Corrosion Cell (Gamry). The geometric surface area of the working electrode was 0.5 cm^2 . A platinum plate with a working surface of 6 cm^2 was used as a counter electrode, and a silver-silver chloride electrode (RL-100, Hydromet, $E_{Ag|AgCl} = +197 \text{ mV vs. SHE}$ at 25°C) was used as the reference electrode. Potentiodynamic curves were registered in the range from -100 mV to $+500 \text{ mV}$, relative to the open circuit potential (E_{OC}), with a scan rate of 1 mV s^{-1} . LPR measurements were carried out in the range from -10 mV to $+10 \text{ mV}$ in relation to the E_{OC} , with a scanning rate of 1 mV s^{-1} .

3. Results and discussion

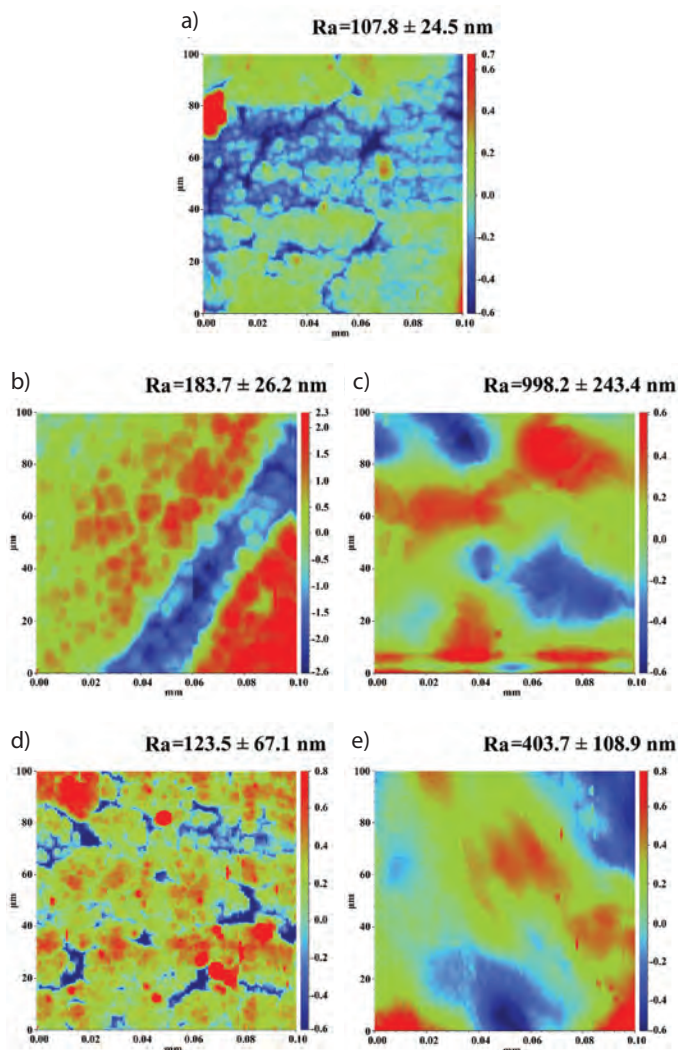
3.1. Surface morphology and topography

While the AISI 304 sample subjected to chemical etching (Fig. 2a) does not represent large changes in morphology, which was already found in the previous round of research [18], the anodic polarization process had a significant effect on the morphology. As the most noticeable and contrasting morphology changes occur at low and high current densities, it was decided to present the



Rys. 2. Morfologia próbek ze stali AISI 304: a) tylko po trawieniu chemicznym; po dodatkowej polaryzacji anodowej przez 10 min w 65°C w roztworze i gęstości prądu odpowiednio: b) ChCl:EG, 10 mA cm⁻², c) ChCl:EG, 65 mA cm⁻², d) ChCl:PG, 10 mA cm⁻² i e) ChCl:PG, 50 mA cm⁻²

Fig. 2. Morphology of samples made of AISI 304 steel: a) only after chemical etching; after additional anodic polarization for 10 min at 65°C in solution and current density, respectively: b) ChCl:EG, 10 mA cm⁻², c) ChCl:EG, 65 mA cm⁻², d) ChCl:PG, 10 mA cm⁻² and e) ChCl:PG, 50 mA cm⁻²



Rys. 3. Mapy topograficzne dla stali AISI 304: a) tylko po trawieniu chemicznym; po dodatkowej polaryzacji anodowej przez 10 min w 65°C w roztworze i gęstości prądu odpowiednio: b) ChCl:EG, 10 mA cm⁻², c) ChCl:EG, 65 mA cm⁻², d) ChCl:PG, 10 mA cm⁻² i e) ChCl:PG, 50 mA cm⁻²

Fig. 3. Topographic maps for AISI 304 steel: a) only after chemical etching; after additional anodic polarization for 10 min at 65°C in solution and current density, respectively: b) ChCl:EG, 10 mA cm⁻², c) ChCl:EG, 65 mA cm⁻², d) ChCl:PG, 10 mA cm⁻² and e) ChCl:PG, 50 mA cm⁻²

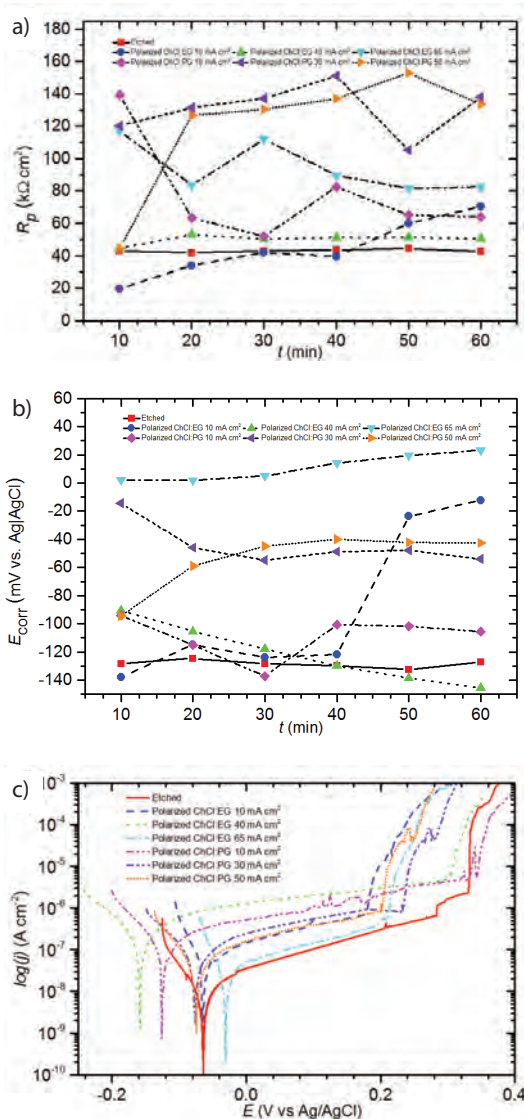
processed surfaces under the most extreme process conditions. At low current densities (10 mA cm⁻² for both liquids), in the case of the ChCl:EG (Fig. 2b), the surface was aggressively oxidized, what resulted in the formation of a strongly jagged and uneven surface. This could have happened as a result of uneven etching of elements on the metal surface. In the ChCl:PG solvent, at a low cur-

rent density (Fig. 2d), there was only a slight etching of the surface of individual grains. Samples polarized at high current densities (65 mA cm⁻² for ChCl:EG and 50 mA cm⁻² for ChCl:PG) are characterized by a fairly significant surface smoothing, where in the case of a sample processed in ChCl:EG (Fig. 2c) it is not even possible to distinguish between individual grain boundaries, where the sample processed in ChCl:PG (Fig. 2e) has visible grain boundaries.

In the case of the sample roughness and topography analysis, comparing the initial sample (Fig. 3a) with $R_a = 107.8 \pm 24.5$ nm, it can be seen that each anodic polarization process led to an increase in the overall roughness of the samples. On the samples subjected to polarization at low current densities (Figs 3b and 3d), the general grain microstructure can still be observed, however, the roughness tests confirm the general oxidation of the sample polarized in the ChCl:EG, by increasing its roughness to $R_a = 183.7 \pm 26.2$ nm, which is confirmed by microscopic examinations. On the other hand, for samples polarized at high current densities (Figs 3c and 3e), a drastic increase in the R_a parameter can be noticed (998.2 ± 243.4 nm for the ChCl:EG solvent and 403.7 ± 108.9 nm for the ChCl:PG solvent). By comparing the values of these parameters with the obtained maps and microscopic photos, we can conclude that the surface was significantly smoothed in the microscopic sense, with the macroscopic increase in the waviness of the profile.

3.2. Corrosion resistance

Corrosion measurements show an increase in corrosion resistance after the anodic polarization processes. The starting point was a steel sample subjected to the chemical etching process, which resulted in the removal of the passive layer on the surface. From the reading of resistance to polarization R_p for each sample (Fig. 4a), it can be concluded that under all conditions it was possible to create a form of a passive layer, which increased the corrosion resistance of the sample. In the case of using a low current density (10 mA cm⁻²) the low kinetics of the process probably did not lead to the formation of a tight passive layer, so these samples were characterized by a similar value of $R_p \sim 42.0$ kΩ cm² during exposure in 0.5 M NaCl solution. On the other hand, when comparing the higher current densities, the samples polarized in the ChCl:PG showed an overall higher polarization resistance, where the highest $R_p = 152.9$ kΩ cm² was calculated for the sample polarized at 50 mA cm⁻². In the case of samples polarized in ChCl:EG, these values were lower, but they clearly increased with the increase of the current density. In this case, the sample polarized at 65 mA cm⁻² had the highest resistance: $R_p = 116.9$ kΩ cm². In the graphs representing the corrosion potential (Fig. 4b) it can be seen that the anodic polarization process causes the shift of E_{corr} for all samples towards more positive values, compared to the reference (etched) sample. However, these values are not very stable, except for the sample polarized in the ChCl:EG solution at 65 mA cm⁻². The process of polarization itself also shifted the E_{corr} towards positive values.



Rys. 4. Zależność od czasu wartości: a) oporu polaryzacji (R_p), b) potencjału korozji (E_{corr}) oraz c) krzywe polaryzacyjne zarejestrowane po 60 min ekspozycji próbek w 0,5 M roztworze NaCl

Fig. 4. Time dependence of the values of: a) polarization resistance (R_p), b) corrosion potential (E_{corr}) and c) polarization curves recorded after 60 minutes of exposure of samples in 0.5 M NaCl solution

Analyzing the polarization curves in Fig. 4c it can be concluded that virtually every form of anodic polarization led to the transfer of the cathode-to-anode potential transition point towards negative values, with the exception of the sample polarized in the ChCl:EG bath at 65 mA cm^{-2} , the transition point of which was shifted towards positive values. The curves for all polarized samples show the passive regions with different anodic currents, clear breakdown potentials and different wide of this region. The widest passive region was observed for a sample polarized in ChCl:EG at 40 mA cm^{-2} ($\sim 0.22 \text{ V}$), and the shortest for a sample polarized in the same liquid at 40 mA cm^{-2} ($\sim 0.15 \text{ V}$).

4. Conclusions

It can be stated that both presented galvanic baths may allow for the electrochemical polishing of AISI 304 alloy steel in the future. This process should be stabilized, however, because in the current parameters it is not possible to fully confirm obtaining a satisfactory effect. Although the SEM microscopic analyzes showed smoothing of the

surface of the samples for both used liquids at current densities in the range from 30 to 65 mA cm^{-2} and macroscopically they are more glossy, there is a noticeable increase in the roughness of the samples, where you can even say about their waviness, especially on a sample polarized at 65 mA cm^{-2} in a ChCl:EG solution. The roughness of this sample was $Ra = 998.2 \pm 243.4 \text{ nm}$, which in macroscopic terms can be observed as the "orange peel" effect. This is a very undesirable effect in this process, as it can lead to corrosion in places where dirt accumulates on the surface. It is also worth mentioning that the samples after the anodic polarization process show a noticeable increase in corrosion resistance, especially in the case of the sample processed in the presence of the ChCl:PG solvent at 10 mA cm^{-2} .

BIBLIOGRAPHY

- [1] Baddoo N. 2008. "Stainless Steel in Construction: A Review of Research, Applications, Challenges and Opportunities". *J. Constr. Steel Res.* 64 (11): 1199–1206.
- [2] Tylek L, Kuchta K. 2014. "Mechanical Properties of Structural Stainless Steels". *Czasopismo Techniczne – Budownictwo* 111 (4-B): 59–80.
- [3] Łyczkowska-Widlak E., Lochyński P., Nawrat G. 2020. "Electrochemical Polishing of Austenitic Stainless Steels". *Mater.* 13 (11): 2557–2582.
- [4] Yang G., Wang B., Tawfiq K., Wei H., Zhou S., Chen G. 2017. "Electropolishing of Surfaces: Theory and Applications". *Surface Engineering* 33 (2): 149–166.
- [5] Mohan S., Kanagaraj D., Sindhuja R., Vijayalakshmi S., Renganathan N. 2001. "Electropolishing of Stainless Steel: A Review". *Transactions of the IMF* 79 (4): 140–142.
- [6] Abbott A., Ryder K., König U. 2008. "Electrofinishing of Metals Using Eutectic Based Ionic Liquids". *Transactions of the IMF* 86 (4): 196–204.
- [7] Smith E., Abbott A., Ryder K. 2014. "Deep Eutectic Solvents (DESs) and Their Applications". *Chem. Rev.* 114 (21): 11060–11082.
- [8] Zhang Q., De Oliveira Vigier K., Royer S., Jérôme F. 2012. "Deep Eutectic Solvents: Syntheses, Properties and Applications". *Chem. Soc. Rev.* 41 (21): 7108–7146.
- [9] Qian Huiquan, Fu Xu, Chi Yun, Zhang Runja, Zhan Chunbo, Sun Haijing, Zhou Xin, Sun Jie. 2022. "Study on Electrodeposition and Corrosion Resistance of Cu-Sn Alloy Prepared in ChCl-EG Deep Eutectic Solvent". *Journal of Solid State Electrochemistry* 26 (2): 469–479.
- [10] Hou Yuanyuan, Peng Zhenjun, Liang Jun, Liu Mingming. 2020. "Ni-Al Nanocomposite Coating Electrodeposited from Deep Eutectic Solvent". *Surface and Coatings Technology* 405: 126587.
- [11] Kityk A., Protsenko V., Danilov F., Pavlik V., Hnatko M., Šoltýs J. 2021. "Enhancement of the Surface Characteristics of Ti-Based Biomedical Alloy by Electropolishing in Environmentally Friendly Deep Eutectic Solvent (Ethaline)". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 613 (36): 126125.
- [12] Karim W. 2021. "Electropolishing of Pure Metallic Titanium in a Deep Eutectic Solvent". *Arabian Journal of Chemistry* 14 (1): 102906.
- [13] Troter D., Todorović Z., Đokić-Stojanović D., Đorđević B. 2017. "The Physicochemical and Thermodynamic Properties of the Choline Chloride-Based Deep Eutectic Solvents". *Journal of the Serbian Chemical Society* 82 (9): 1039–1052.
- [14] Abbott A., Capper G., McKenzie K., Ryder K. 2006. "Voltammetric and Impedance Studies of the Electropolishing of Type 316 Stainless Steel in a Choline Chloride Based Ionic Liquid". *Electrochimica Acta* 51 (21): 4420–4425.
- [15] Abbott A., Capper G., McKenzie K., Glidle A., Ryder K. 2006. "Electropolishing of Stainless Steels in a Choline Chloride Based Ionic Liquid: An Electrochemical Study with Surface Characterisation Using SEM and Atomic Force Microscopy". *Physical Chemistry Chemical Physics* 8 (36): 4214–4221.
- [16] Winiarski J., Marczewski M., Urbaniak M. 2021. "On the Anodic Polarization of 316 Steel in a Choline Chloride: Ethylene Glycol Deep Eutectic Solvent and its Impact on the Surface Topography and Corrosion Resistance". *Ochrona przed Korozją* 64 (1): 3–7.
- [17] Matlosz M., Landolt D. 1989. "Shape Changes in Electrochemical Polishing: The Effect of Temperature on the Anodic Leveling of Fe-24Cr". *Journal of the Electrochemical Society* 136 (4): 919–929.
- [18] Winiarski J., Marczewski M., Tylus W. 2019. "Corrosion Resistance of 304 Stainless Steel after Anodic Polarization in Choline Chloride-Oxalic Acid Non-Aqueous Bath". *Ochrona przed Korozją* 62 (3): 3–7.

Acknowledgements

This research was funded by a statutory activity subsidy from the Polish Ministry of Science and Higher Education for K26W03D05 Department at Wrocław University of Science and Technology in 2022 academic year - grant number 8211104160.

OLIWIA KIERAT

ORCID: 0000-0002-2129-0794

AGATA DUDEK

ORCID: 0000-0001-9115-028X

LIDIA ADAMCZYK

ORCID: 0000-0003-4811-5387

Katedra Inżynierii Materiałowej, WIPiTM, Politechnika Częstochowska

DOI: 10.15199/40.2022.4.2

Powłoki ochronne na bazie winylotrójmetoksylanu (VTMS) z dodatkiem surfaktantu (Triton X-100) do zastosowań w implantologii

Protective coatings based on vinyltrimethoxysilane (VTMS) with the addition of a surfactant (Triton X-100) for application in implantology

W pracy przedstawiono analizę właściwości fizykochemicznych powłok na bazie winylotrójmetoksylanu z dodatkiem surfaktantu – Tritonu X-100 – osadzonych na tytanie Grade 2 oraz stopie tytanu Ti6Al4V. Oceniono adhezję powłok do podłoża, grubość powłok, wpływ wytworzonych powłok na odporność korozyjną materiałów, a także wykonano analizę mikrostruktury i parametrów struktury geometrycznej powierzchni powłok przed badaniami korozyjnymi oraz po nich. Przyczepność powłok analizowano za pomocą taśmy Scotch™. Odporność korozyjną analizowano za pomocą potencjodynamicznych krzywych polaryzacji w symulowanym płynie ustrojowym odwzorowującym warunki ludzkiego organizmu w celu oceny powłok pod kątem ich zastosowania w implantologii. Grubość powłok określono za pomocą mikroskopu cyfrowego KEYENCE VHX-7000 oraz miernika Testan DT-20 AN 120 157.

Słowa kluczowe: tytan, stop tytanu, powłoki silanowe, surfaktant, Triton X-100

This paper presents an analysis of the physicochemical properties of coatings based on vinyltrimethoxysilane with the addition of Triton X-100 surfactant deposited on titanium Grade 2 and titanium alloy Ti6Al4V. The adhesion of coatings to the substrate, the thickness of the coatings, the influence of the produced coatings on the corrosion resistance of materials were assessed, and the microstructure and parameters of the geometric structure of the coatings surface were analyzed before and after corrosion tests. The adhesion of the coatings was analyzed with Scotch™ tape. Corrosion resistance was analyzed using potentiodynamic polarization curves in a simulated body fluid mapping the conditions of the human body in order to evaluate the coatings for their application in implantology. The thickness of the coatings was determined using the KEYENCE VHX-7000 digital microscope and the Testan DT-20 AN 120 157 meter.

Keywords: titanium, titanium alloy, silane coatings, surfactant, Triton X-100

Mgr Oliwia Kierat jest absolwentką biofizyki na Wydziale Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego. W 2019 roku rozpoczęła studia w Szkole Doktorskiej Politechniki Częstochowskiej. Pracę doktorską wykonuje w Katedrze Inżynierii Materiałowej Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej. Zainteresowania naukowe: ochrona przed korozją biomateriałów stosowanych w implantologii, poprawa biokompatybilności biomateriałów, nakładanie powłok na powierzchnię biomateriałów.

E-mail: oliwia.kierat@pcz.pl

Dr hab. inż. Agata Dudek, prof. P.Cz. jest dziekanem Wydziału Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów Politechniki Częstochowskiej. W 1997 roku ukończyła Wydział Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Politechniki Częstochowskiej. W 2002 roku uzyskała stopień doktora nauk technicznych, w 2011 roku – stopień doktora habilitowanego w dziedzinie inżynierii materiałowej. Zainteresowania naukowe: inżynieria powierzchni, materiały dla medycyny, kompozyty.

E-mail: agata.dudek@pcz.pl

Dr hab. Lidia Adamczyk, prof. P.Cz. – jest kierownikiem Katedry Inżynierii Materiałowej, WIPiTM, Politechniki Częstochowskiej. W 2006 roku uzyskała stopień doktora nauk technicznych, w roku 2017 – stopień doktora habilitowanego w dziedzinie technologii chemicznej na Wydziale Chemicznym Politechniki Gdańskiej. Zainteresowania naukowe: korozja elektrochemiczna, modyfikacja powierzchni, polimery przewodzące, kondensatory.

E-mail: lidia.adamczyk@pcz.pl

■ Otrzymano / Received: 25.01.2022. Przyjęto / Accepted: 17.02.2022

1. Wprowadzenie

Implantologię definiuje się jako dział nauki dotyczący wprowadzania implantów do organizmu żywego. Wśród materiałów metalicznych dopuszczonych do stosowania w implantologii wyróżnia się: stopy Co-Cr, tytan oraz stopy tytanu, stopy metali szlachetnych, stale nierdzewne, a także stopy biodegradowalne [1–4]. Na szczególną uwagę zasługuje tytan i jego stopy ze względu na charakteryzujące te materiały doskonałe właściwości mechaniczne, chemiczne, antykorozyjne oraz wysoką biokompatybilność, niski ciężar właściwy i niewielki moduł sprężystości [4–11].

Niektóre materiały wykazują niewystarczającą odporność korozyjną, którą można polepszyć m.in. przez zastosowanie powłok ochronnych [12]. Na podstawie analizy literatury przedmiotu (zob. m.in. [13–18]) można stwierdzić, że zastosowanie powłok silanowych przyczynia się do poprawy właściwości użytkowych biomateriałów metalicznych stosowanych w implantologii. Związki silanowe najczęściej wykorzystuje się jako środki sprzęgające bądź czynniki sieciujące [19]. Do głównych zastosowań przemysłowych silanowych środków sprzęgających zalicza się ochronę metali przed korozją, promowanie adhezji materiałów, samoorganizację monowarstw, a także poprawę dyspersji nieorganicznych wypełniaczy w rozpuszczalnikach [20, 21].

Istnieje wiele sposobów poprawy właściwości układów silanowych, np. zastosowanie środków powierzchniowo-czynnych – surfaktantów [22, 23]. Składają się one z fragmentu hydrofobowego (8-18-węglowa reszta alkilowa) i polarnej, hydrofilowej grupy funkcyjnej [24]. W zależności od charakteru grupy polarnej związki powierzchniowo czynne dzieli się na: niejonowe, anionowe, kationowe oraz amfoteryczne. Niejonowe związki powierzchniowo-czynne nie ulegają zjawisku dysocjacji. Obecność grup polarnych zapewnia, że są one solwatowane przez wodę i mają zdolność rozpuszczania się w wodzie. Surfactanty anionowe w roztworach wodnych ulegają dysocjacji, w wyniku czego najczęściej otrzymuje się prosty kation i anion o dużych rozmiarach. Taki anion złożony jest z grupy alkilowej i podstawnika lub podstawników o hydrofilowej budowie i ujemnym ładunku. Kationowe związki powierzchniowo-czynne także ulegają dysocjacji w środowisku wodnym, w której powstaje dodatnio naładowany jon o aktywności powierzchniowej. Amfoteryczne surfaktanty powstają z alkoilamin. W ich łańcuchu węglowodorowym występują grupy funkcyjne zarówno o dodatnich, jak i ujemnych ładunkach.

W prezentowanej pracy przeanalizowano zachowanie surfaktantu niejonowego jako składnika powłok silanowych, które były przedmiotem badań opisanych w publikacjach z 2020 i 2021 r. [17, 18]. Na podłożu tytanu Grade 2 oraz stopu tytanu Ti6Al4V wytworzono powłoki zawierające: winylotrójmetoksylan, etanol, kwas octowy, wodę destylowaną oraz Triton X-100, a następnie przeprowadzono analizę adhezji, mikrostruktury, odporności korozyjnej oraz analizy grubości i chropowatości otrzymanych powłok.

2. Metodyka badań

Odczynniki użyte do wytworzenia powłok miały stopień czystości cz.d.a. Do przygotowania powłok wykorzystano winylotrójmetoksylan (VTMS) firmy Sigma Aldrich, alkohol etylowy (EtOH) firmy POCH BASIC, kwas octowy (AcOH) firmy Chempur, wodę destylowaną (H₂O) oraz surfaktant Triton X-100 firmy Sigma Aldrich. Stosunek objętościowy powłoki VTMS : EtOH : AcOH : H₂O : Triton X-100 wynosił 0,6 : 0,2 : 0,053 : 0,135 : 0,012. Stężenie Tritonu X-100 wynosiło 0,05 mol dm⁻³ i zostało dobrane na podstawie badań opisanych w pracy M. Góral i in. [25]. Roztwór przygotowano przy wykorzystaniu mieszadła magnetycznego. Czas mieszania roztworu wynosił ok. 48 godzin. Szybkość mieszania roztworu wynosiła od 800 do 1200 obr./min.

Tak wytworzony roztwór nakładano na podłoża tytanu Grade 2 oraz stopu tytanu Ti6Al4V. Skład tytanu Grade 2 był następujący: Ti – 98,9; Fe – max. 0,30; O – max. 0,25; C – max. 0,08; N – max. 0,03; H – max. 0,015; pozostałe – max. 0,1. Z kolei w skład stopu tytanu Ti6Al4V wchodziły następujące pierwiastki: Ti – 87,4–91,0; Al – 5,50–6,75; V – 3,5–4,5; Fe – max. 0,30; O – max. 0,20; C – max. 0,08; N – max. 0,05; H – max. 0,0125; Y – max. 0,005; pozostałe – max. 0,1. Próbki w postaci wałków o średnicy 5 mm osadzono w oprawkach z polimetakrylanu metylu za pomocą żywicy epoksydowej. Przed nałożeniem powłok próbki przygotowywano w następujący sposób: mechanicznie polerowano próbki na mokro – końcowa ziarnistość papierów ściernych wynosiła 2000 – następnie przemywano próbki wodą destylowaną oraz odtłuszczano acetonem.

Powłoki nakładano przez zanurzenie próbek w przygotowanym roztworze na 20 minut. Nadmiar roztworu znajdujący się na próbkach odsączano za pomocą bibuły filtracyjnej, po czym próbki z powłokami przechowywano w eksykatorze do czasu ich całkowitego wyschnięcia.

Sprawdono przyczepność powłok do podłoża przy wykorzystaniu taśmy Scotch™. Adhezję powłok do podłoża zbadano metodą pull-off przez pięciokrotne przyklejenie i oderwanie taśmy od badanej powierzchni.

Określono grubość wytworzonych powłok za pomocą miernika grubości powłok Testan DT-20 AN 120 157 oraz mikroskopu cyfrowego KEYENCE VHX-7000. W tym celu usunięto fragment powłoki z powierzchni i następnie na granicy przeprowadzono analizę profilu. Na podstawie różnicy między zarejestrowanymi wielkościami wyznaczono grubość wytworzonej powłoki.

Badania mikrostrukturalne oraz chropowatość powłok analizowano za pomocą mikroskopu cyfrowego KEYENCE VHX-7000.

Do przeprowadzenia badań korozyjnych wykorzystano stację pomiarową CH Instruments 440 (USA), za pomocą której zarejestrowano potencjodynamiczne krzywe polaryzacji w środowisku korozyjnym, jakim był symulowany płyn ustrojowy (SBF). Jego skład zaprezentowano w tabeli 1. Badania korozyjne wykonano w układzie trójelektrodowym, w którym elektrodą pomocniczą była elektroda platynowa, elektrodą odniesienia – nasycona elektroda kalomelowa (NEK), natomiast elektrodą roboczą – badane podłoże tytanowe wraz z powłoką. Krzywe potencjodynamiczne zarejestrowano w zakresie potencjałów od –1,5 do +3,0 V mierzonych względem nasyconej elektrody kalomelowej.

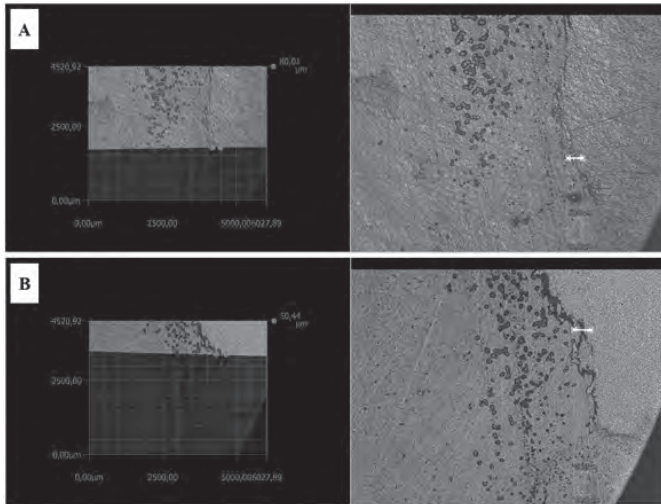
Tabela 1. Skład chemiczny symulowanego płynu ustrojowego
Table I. Chemical composition of the simulated body fluid

Składnik	Ilość
NaCl	8,035 g dm ⁻³
KCl	0,225 g dm ⁻³
CaCl ₂	0,292 g dm ⁻³
NaHCO ₃	0,355 g dm ⁻³
MgCl ₂ *6H ₂ O	0,311 g dm ⁻³
K ₂ HPO ₄ *3H ₂ O	0,231 g dm ⁻³
Na ₂ SO ₄	0,072 g dm ⁻³
((HOCH ₂) ₃ CNH ₂)	6,118 g dm ⁻³
HCl	39 ml dm ⁻³

3. Wyniki badań i dyskusja

3.1. Adhezja powłok do podłoża

W celu określenia, czy wytworzone powłoki wykazują dobrą adhezję do powierzchni tytanu Grade 2 oraz stopu tytanu Ti6Al4V,



Rys. 1. Profile powłoki osadzonej na: a) tytanie Grade 2, b) stopie tytanu Ti6Al4V, zarejestrowane na granicy między powłoką a samym podłożem (po usunięciu powłoki)

Fig. 1. Profiles of the coating deposited on: a) titanium Grade 2, b) titanium alloy Ti6Al4V registered at the interface between the coating and the substrate itself (after removing the coating)

zastosowano taśmę Scotch™. W wypadku obu podłoży: Ti Grade 2 oraz Ti6Al4V wytworzona powłoka wykazywała bardzo dobrą przyczepność do podłoża i charakteryzowała się wysoką jakością oraz trwałością.

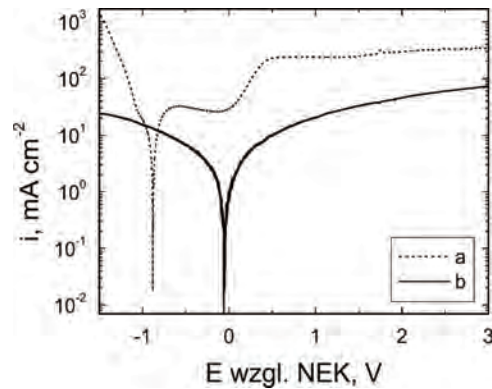
3.2. Grubość wytworzonej powłoki

Za pomocą miernika Testan DT-20 AN 120 157 dokonano pomiaru grubości badanych powłok. W tym celu wykonano kalibrację na próbce bez powłoki oraz 10-krotnie zmierzono grubość powłoki i wyznaczono średnią. Średnia grubość powłoki wytworzonej na powierzchni tytanu Grade 2 wynosiła 7,53 μm , a w wypadku stopu tytanu Ti6Al4V średnia grubość była równa 7,03 μm .

Na rysunku 1 przedstawiono zarejestrowane profile dla podłoża tytanu Grade 2 (rys. 1A) oraz stopu tytanu Ti6Al4V (rys. 1B). Z analizy wynika, że grubość powłoki osadzonej na powierzchni tytanu Grade 2 wynosiła ok. 7,18 μm , natomiast powłoki osadzonej na powierzchni stopu tytanu Ti6Al4V: ok. 8,01 μm . Grubości powłok uzyskane na podstawie analizy mikrostrukturalnej korelują z wynikami otrzymanymi z miernika grubości ze zintegrowaną sondą pomiarową.

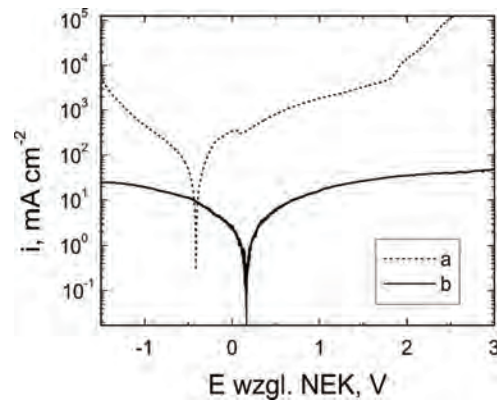
3.3. Badania odporności korozyjnej

Potencjodynamiczne krzywe polaryzacji zarejestrowano dla tytanu Grade 2 i stopu tytanu Ti6Al4V, a także powłok osadzonych na tytanie Grade 2 oraz stopie tytanu Ti6Al4V, w zakresie potencjałów od $-1,5$ do $+3,0$ V, w symulowanym płynie ustrojowym. Rysunek 2 przedstawia krzywe potencjodynamiczne dla tytanu Grade 2 (rys. 2a) oraz powłoki osadzonej na tym podłożu (rys. 2b), z kolei na rysunku 3 pokazano zachowanie korozyjne stopu tytanu Ti6Al4V (rys. 3a) oraz osadzonej na nim powłoki (rys. 3b). Zastosowanie powłok spowodowało przesunięcie potencjału korozyjnego w stronę wartości dodatnich (ochrona anodowa): w wypadku podłoża tytanu Grade 2 przesunięcie to wynosiło $+0,82$ V, natomiast dla stopu tytanu Ti6Al4V wyniosło $+0,58$ V. Zaobserwowano ponadto obniżenie gęstości prądów katodowych i anodowych. W wypadku powłoki osadzonej na powierzchni stopu tytanu nastąpiło obniżenie gęstości prądów katodowych: o dwa rzędy wielkości oraz anodowych: o jeden rząd wielkości, natomiast w wypadku powłoki osa-



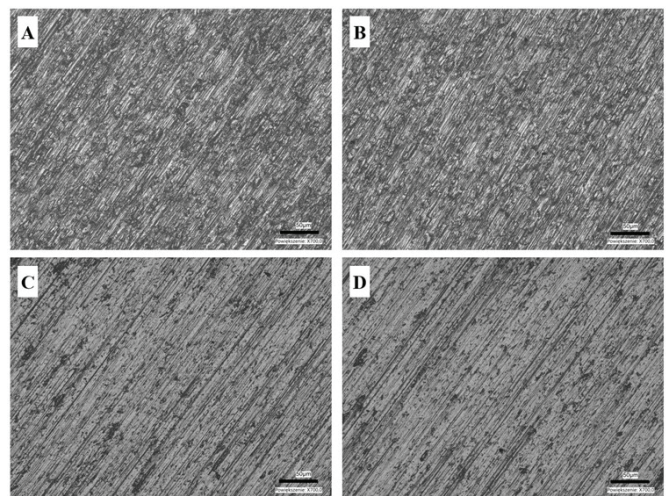
Rys. 2. Potencjodynamiczne krzywe polaryzacji analizowane w symulowanym płynie ustrojowym: a) dla tytanu Grade 2, b) dla powłoki osadzonej na tytanie Grade 2

Fig. 2. Potentiodynamic polarization curves analyzed in a simulated body fluid for: a) titanium Grade 2, b) coating deposited on titanium Grade 2



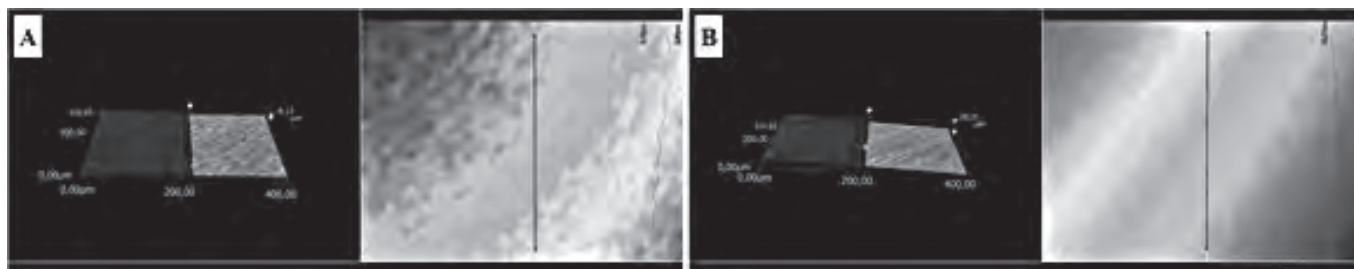
Rys. 3. Potencjodynamiczne krzywe polaryzacji analizowane w symulowanym płynie ustrojowym: a) dla stopu tytanu Ti6Al4V, b) dla powłoki osadzonej na stopie tytanu Ti6Al4V

Fig. 3. Potentiodynamic polarization curves analyzed in a simulated body fluid for: a) titanium alloy Ti6Al4V, b) coating deposited on titanium alloy Ti6Al4V



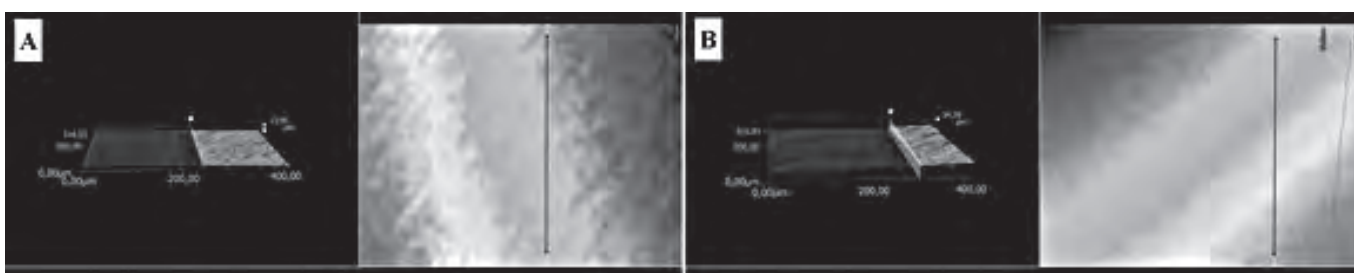
Rys. 4. Mikrostruktura powłoki: a) na podłożu tytanu Grade 2, b) na podłożu tytanu Grade 2 po badaniu korozyjnym, c) na podłożu stopu tytanu Ti6Al4V, d) na podłożu stopu tytanu Ti6Al4V po badaniu korozyjnym

Fig. 4. Microstructure of the coating: a) on the titanium Grade 2 substrate, b) on the titanium Grade 2 substrate after corrosion tests, c) on the titanium alloy Ti6Al4V substrate, d) on the titanium alloy Ti6Al4V substrate after corrosion tests



Rys. 5. Chropowość linii zmierzona za pomocą mikroskopu cyfrowego KEYENCE VHX-7000 dla powłoki osadzonej na podłożu tytanu Grade 2: a) przed badaniami korozyjnymi, b) po badaniach korozyjnych w symulowanym płynie ustrojowym

Fig. 5. Line roughness measured with the KEYENCE VHX-7000 digital microscope for titanium Grade 2 substrate: a) before corrosion tests, b) after corrosion tests in simulated body fluid



Rys. 6. Chropowość linii zmierzona za pomocą mikroskopu cyfrowego KEYENCE VHX-7000 dla powłoki osadzonej na podłożu stopu tytanu Ti6Al4V: a) przed badaniami korozyjnymi, b) po badaniach korozyjnych w symulowanym płynie ustrojowym

Fig. 6. Line roughness measured with the KEYENCE VHX-7000 digital microscope for titanium alloy Ti6Al4V substrate: a) before corrosion tests, b) after corrosion tests in simulated body fluid

dzanej na powierzchni stopu tytanu Ti6Al4V nastąpiło dwukrotne obniżenie gęstości prądów katodowych i czterokrotne obniżenie gęstości prądów anodowych.

3.4. Badania mikrostrukturalne oraz chropowość powierzchni powłoki

Analiza morfologiczna wytworzonych powłok została przeprowadzona przed badaniami korozyjnymi oraz po badaniach korozyjnych w symulowanym płynie fizjologicznym, zarówno dla podłoża tytanu Grade 2, jak i dla podłoża stopu tytanu Ti6Al4V, przy wykorzystaniu mikroskopu cyfrowego KEYENCE VHX-7000.

Rysunek 4 przedstawia mikrostrukturę wytworzonej powłoki na podłożu tytanu Grade 2 oraz stopu tytanu Ti6Al4V, a także na obu rodzajach podłożu po badaniu korozyjnym. Na zdjęciach widoczna jest powierzchnia podłoża, co świadczy o dużym stopniu przezroczystości powłoki. Nie ujawniły się ponadto żadne pęknięcia ani ubytki powłoki, która była gładka i charakteryzowała się wysokim połyskiem.

Po wykonaniu badań korozyjnych w symulowanym płynie fizjologicznym na powierzchni tytanu Grade 2, jak również stopu tytanu Ti6Al4V nie zaobserwowano żadnych śladów korozji. Świadczy to o dobrych właściwościach ochronnych powłoki.

Za pomocą mikroskopu cyfrowego KEYENCE VHX-7000 analizowano parametry struktury geometrycznej powierzchni powłok naniesionych na podłoża tytanu Grade 2 oraz stopu tytanu Ti6Al4V. Na rysunku 5 przedstawiono linię pomiarową na powłoce osadzonej na podłożu tytanu Grade 2 przed badaniami korozyjnymi (rys. 5A) oraz po badaniach korozyjnych w symulowanym płynie ustrojowym (rys. 5B), a na rysunku 6 – na powłoce osadzonej na podłożu stopu tytanu Ti6Al4V: przed badaniami korozyjnymi (rys. 6A) oraz po badaniach (rys. 6B). Tabela 2 zawiera otrzymane parametry chropowości powłok na obu materiałach podłoża. Z analizy chropowości powłok wynika, że po badaniach korozyjnych parametr chropowości powierzchni (Ra, Sa) uległ zwiększeniu zarówno w wypadku powłoki osadzonej na podłożu tytanu Grade 2, jak i stopu tytanu Ti6Al4V.

Tabela 2. Parametry chropowości powłok osadzonych na obu materiałach podłoża przed badaniami korozyjnymi oraz po nich

Table 2. Roughness parameters of coatings deposited in both base materials before and after corrosion tests

	Podłoże	Ti Grade 2	Ti6Al4V
Przed badaniami korozyjnymi	Chropowość linii Ra [μm]	0,63	0,53
	Chropowość powierzchni Sa [μm]	1,28	1,60
Po badaniach korozyjnych w symulowanym płynie ustrojowym	Chropowość linii Ra [μm]	2,39	3,54
	Chropowość powierzchni Sa [μm]	3,37	4,35

4. Wnioski

Wytworzono powłoki składające się z winylotrójmetoksyilanu, alkoholu etylowego, Tritonu X-100 oraz rozcieńczonego kwasu octowego. Osadzono je na dwóch materiałach, które powszechnie stosowane są w implantologii: na podłożu tytanu Grade 2 oraz stopu tytanu Ti6Al4V. Powłoki były analizowane pod kątem ich przyczepności do podłoża, uzyskanej grubości, morfologii i parametrów struktury geometrycznej powierzchni, a także odporności korozyjnej.

Otrzymane powłoki wykazywały bardzo dobrą przyczepność do podłoża. Grubości powłok analizowano za pomocą miernika grubości, jak również na podstawie profilu uzyskanego przy wykorzystaniu mikroskopu cyfrowego; grubość powłok wynosiła od ok. 7 do ok. 8 μm. Analiza mikrostrukturalna powłok wykazała, że charakteryzowały się one przezroczystością, wysokim połyskiem oraz jednorodnością na całej powierzchni próbki i nie posiadały żadnych pęknięć ani ubytków zarówno przed badaniami korozyjnymi, jak i po nich. Chropowość powierzchni powłok wynosiła

ok. $R_a = 0,50\text{--}0,70\ \mu\text{m}$, natomiast po wykonaniu badań korozyjnych w symulowanym płynie ustrojowym: ok. $R_a = 2,3\text{--}3,6\ \mu\text{m}$. Na podstawie zarejestrowanych potencjodynamicznych krzywych polaryzacji można stwierdzić, iż powłoki wykazują ochronę antykorozyjną – zaobserwowano przesunięcie potencjału korozyjnego w stronę wartości dodatnich oraz obniżenie gęstości prądów katodowych i anodowych – dzięki czemu powłoka może być stosowana jako powłoka ochronna m.in. w implantologii, w której korozja biomateriałów tytanowych jest istotnym ograniczeniem.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Santos G. 2017. "The Importance of Metallic Materials as Biomaterials". *Advances in Tissue Engineering and Regenerative Medicine* 3 (1): 300–302.
- [2] Prodana M., Stoian A.B., Burnei C., Ionita D. 2021. "Innovative Coatings of Metallic Alloys Used as Bioactive Surfaces in Implantology: A Review". *Coatings* 11 (6): 649.
- [3] Kumar S.T., Devi S.P., Krithika C., Raghavan R.N. 2020. "Review of Metallic Biomaterials in Dental Applications". *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences* 12 (1): 14–19.
- [4] Niinomi M. 2002. "Recent Metallic Materials for Biomedical Applications". *Metallurgical and Materials Transactions A* 33A: 477–486.
- [5] Chouirfa H., Bouloussa H., Migonney V., Falentin-Daudré C. 2019. "Review of Titanium Surface Modification Techniques and Coatings for Antibacterial Applications". *Acta Biomaterialia* 83: 37–54.
- [6] Surowska B., Bieniaś J. 2010. "Composite Layers on Titanium and Ti6Al4V Alloy for Medical Applications". *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 43 (1): 162–169.
- [7] de Assis S.L., Wolyniec S., Costa I. 2006. "Corrosion Characterization of Titanium Alloys by Electrochemical Techniques". *Electrochimica Acta* 51: 1815–1819.
- [8] Long M., Rack H.J. 1998. "Titanium Alloys in Total Hip Replacement: A Materials Science Perspective". *Biomaterials* 19: 1621–1639.
- [9] Bai Y., Li S.J., Prima F., Hao Y.L., Yang R. 2012. "Electrochemical Corrosion Behavior of Ti-24Nb-4Zr-8Sn Alloy in a Simulated Physiological Environment". *Applied Surface Science* 258: 4035–4040.
- [10] Elias C.N., Lima J.H.C., Valiev R., Meyers M.A. 2008. "Biomedical Applications of Titanium and its Alloys". *Biological Materials Science* 60: 46–49.
- [11] Niinomi M., Kuroda D., Fukunaga K., Morinaga M., Kato Y., Yashiro T., Suzuki A. 1999. "Corrosion Wear Fracture of New β Type Biomedical Titanium Alloys". *Materials Science and Engineering A* 263: 193–199.
- [12] Adamczyk L., Giza K., Dudek A. 2014. "Electrochemical Preparation of Composite Coatings of 3,4-etylenedioxythiophene (EDOT) and 4-(pyrrole-1-yl) Benzoic Acid (PyBA) with Heteropolyanions". *Materials Chemistry and Physics* 144 (3): 418–424.
- [13] Zomorodian A., Brusciotti F., Fernandes A., Carmezim M.J., Moura e Silva T., Fernandes J.C.S., Montemor M.F. 2012. "Anti-corrosion Performance of a New Silane Coating for Corrosion Protection of AZ31 Magnesium Alloy in Hank's Solution". *Surface and Coatings Technology* 206 (21): 4368–4375.
- [14] Cieślak M., Engvall K., Pan J., Kotarba A. 2011. "Silane-parylene Coating for Improving Corrosion Resistance of Stainless Steel 316L Implant Material". *Corrosion Science* 53(1): 296–301.
- [15] Somasundaram S. 2018. "Silane Coatings of Metallic Biomaterials Implants: A Preliminary Review". *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials* 106 (8): 2901–2918.
- [16] Liu X., Yue Z., Romeo T., Weber J., Scheuermann T., Moulton S., Wallace G. 2013. "Biofunctionalized Anti-corrosive Silane Coatings for Magnesium Alloys". *Acta Biomaterialia* 9 (10): 8671–8677.
- [17] Kierat O., Dudek A., Adamczyk L. 2020. "Zależność właściwości ochronnych powłok silanowych wytworzonych na tytanie Grade 2 i Ti6Al4V od stężenia składnika – winylotrójmetoksyilanu (VTMS)". *Ochrona przed Korozją* 63 (11): 364–368.
- [18] Kierat O., Dudek A., Adamczyk L. 2021. "The Effect of the Corrosion Medium on Silane Coatings Deposited on Titanium Grade 2 and Titanium Alloy Ti13Nb13Zr". *Materials* 14 (21): 6350.
- [19] González L., Rodríguez A., de Benito J.L., Marcos-Fernández A. 1998. "Applications of an Azide Sulfonyl as Elastomer Crosslinking and Coupling Agent". *Journal of Applied Polymer Science* 63 (10): 1353–1359.
- [20] Lee E.-S., Lee S.-M., Cannon W.R., Shanefield D.J. 2008. "Improved Dispersion of Aluminium Nitride Particles in Epoxy Resin by Adsorption of Two-layer Surfactants". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 316 (1–3): 95–103.
- [21] Kucharczyk A., Adamczyk L., Miecznikowski K. 2021. "The Influence of the Type of Electrolyte in the Modifying Solution on the Protective Properties of Vinyltrimethoxysilane/Ethanol-Based Coatings Formed on Stainless Steel X20Cr13". *Materials* 14 (20): 6209.
- [22] Almanza-Workman A.M., Raghavan S., Deymier P., Monk D.J., Roop R. 2004. "Aqueous Silane-surfactant Co-dispersions for Deposition of Hydrophobic Coatings onto Pre-oxidized Polysilicon". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 232 (1): 67–75.
- [23] Adamczyk L., Dudek A. 2019. "The Influence of Components Concentration in the Electrodeposition Process on the Protective Properties of 3,4-etylenedioxythiophene (EDOT) with 4-(pyrrole-1-yl) Benzoic Acid (PYBA), Polyoxyethylene-10-lauryl ether (BRIJ) and Lithium Perchlorate". Conference *Metal 2019*. DOI:10.37904/metal.2019.881
- [24] Kafarski P., Lejczak B. 1994. *Chemia bioorganiczna*. Warszawa: PWN.
- [25] Góral M., Jouini M., Perruchot Ch., Miecznikowski K., Rutkowska I.A., Kulesza P.J. 2011. "Integration of Vanadium-mixed Addenda Dawson Heteropolytungstate within Poly(3,4-etylenedioxythiophene) and Poly(2,2'-bithiophene) Films by Electrodeposition from the Nonionic Micellar Aqueous Medium". *Electrochimica Acta* 56 (10): 3605–3615.

40 pkt. MEiN dla „Ochrony przed Korozją”

Autor za publikację artykułu w czasopiśmie naukowym „Ochrona przed Korozją” otrzymuje 40 punktów zgodnie z komunikatem Ministra Edukacji i Nauki z dnia 1 grudnia 2021 r. w sprawie wykazu czasopism naukowych i recenzowanych materiałów z konferencji międzynarodowych.



We protect and
beautify the world™

Ekonomiczne

ul. Łużycka 8A
81-537 Gdynia
tel. 58 774 99 00
fax 58 774 99 01
customers@ppg.com

JUSTYNA JAWORSKA^a
 MAGDALENA GRUSZKA^a
 MONIKA NABRDALIK^a
 MARCIN MARCINKOWSKI^a
 WOJCIECH MIKOŁEJKO^a
 EWELINA AUGUSTYN^a
 EWA JONDA^b

ORCID: 0000-0002-4121-4270

ARTUR MACIEJ^c

ORCID: 0000-0001-5849-7265

ANNA KILJAN^b

ORCID: 0000-0002-1560-3408

^a Student of Silesian University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Engineering Materials and Biomaterials

^b Silesian University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Engineering Materials and Biomaterials

^c Silesian University of Technology, Faculty of Chemistry, Department of Inorganic Chemistry, Analytical Chemistry and Electrochemistry

DOI: 10.15199/40.2022.4.3

Porównanie mikrostruktury i odporności na korozję powłok natryskiwanych metodą HVOF (*high velocity oxy fuel*) na podłoże ze stopu magnezu

Comparison of microstructure and corrosion resistance of coatings sprayed by HVOF (*high velocity oxy fuel*) onto magnesium alloy substrate

Stopy magnezu ze względu na korzystny stosunek niskiej masy do dobrych własności mechanicznych coraz powszechniej są stosowane w przemyśle. Przeszkodą w ich aplikacji może stanowić reaktywność chemiczna magnezu, a więc jego wysoka podatność na korozję. Powłoki natryskiwane cieplnie metodą HVOF (*high velocity oxy fuel*) pozwalają wytworzyć szczelną barierę pomiędzy materiałem podłoża a środowiskiem, dzięki czemu mogą stanowić skuteczną ochronę stopów magnezu. W artykule przedstawiono wyniki badań mikrostruktury oraz wybranych własności dwóch powłok natryskiwanych przy wykorzystaniu komercyjnych proszków WC-Co i WC-Cr₃C₂-Ni metodą HVOF na podłożu ze stopu magnezu AZ91. Celem pracy było porównanie mikrostruktury, wybranych własności oraz odporności na korozję wytworzonych powłok. Na podstawie wyników badań mikroskopowych stwierdzono, że powłoki charakteryzują się zwartą mikrostrukturą, a twarde cząstki WC oraz Cr₃C₂ są równomiernie rozłożone w całej objętości powłoki. Powłoka WC-Co charakteryzuje się ponadto wyższą odpornością korozyjną oraz mikrotrwałością, jednak cechuje ją mniejsza wydajność natryskiwania i chropowatość w porównaniu z powłoką WC-Cr₃C₂-Ni.

Słowa kluczowe: natryskiwanie cieplne HVOF, porowatość, mikrostruktura, porowatość, mikrotrwałość, odporność na korozję.

Due to the promising ratio of low weight to good mechanical properties, magnesium alloys are more and more widely used in industry. An obstacle in their application may be the chemical reactivity of magnesium, and therefore its high susceptibility to corrosion. Thermal sprayed coatings with the HVOF (*high velocity oxy fuel*) method allow creating a tight barrier between the base material and the environment, which can effectively protect magnesium alloys. The article presents the results of research on the microstructure and selected properties of two sprayed coatings with the use of commercial WC-Co and WC-Cr₃C₂-Ni powders using the HVOF method on the substrate made of AZ91 magnesium alloy. The work aimed to compare the microstructure, selected properties, and corrosion resistance of the produced coatings. Based on the results of the metallographic research, it was found that the coatings are characterized by a dense microstructure, and the hard particles of the WC and Cr₃C₂ are evenly distributed throughout the entire volume of the coating. Also the WC-Co coating is characterized by higher corrosion resistance and microhardness however, it has a lower spray efficiency and roughness compared to the WC-Cr₃C₂-Ni coating.

Keywords: HVOF thermal spraying, microstructure, porosity, microhardness, corrosion resistance.

Inż. Justyna Jaworka, studentka kierunku Inżynieria Materiałowa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska. E-mail: justjaw691@student.polsl.pl

Inż. Magdalena Gruszka, studentka kierunku Inżynieria Materiałowa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska. E-mail: magdgru124@student.polsl.pl

Inż. Monika Nabrdalik, studentka kierunku Inżynieria Materiałowa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska. E-mail: moninab348@student.polsl.pl

Inż. Ewelina Augustyn, studentka kierunku Inżynieria Materiałowa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska. E-mail: ewelaug832@student.polsl.pl

Inż. Marcin Marcinkowski, student kierunku Inżynieria Materiałowa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska. E-mail: marcinkowski-maciej@o2.pl

Inż. Wojciech Mikołajko, student kierunku Inżynieria Materiałowa, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska. E-mail: wojcmik825@student.polsl.pl

Dr inż. Ewa Jonda, absolwentka Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej, obecnie jest pracownikiem tej Uczelni na stanowisku adiunkta. Zajmuje się badaniami dotyczącymi inżynierii powierzchni, w szczególności w zakresie wytwarzania powłok ochronnych lub regeneracyjnych przy użyciu metod natryskiwania cieplnego. E-mail: ewa.jonda@polsl.pl

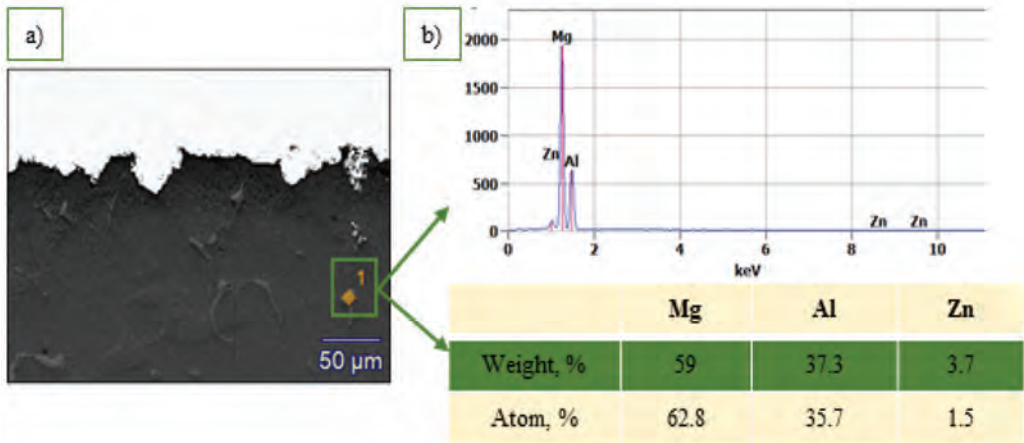
Dr inż. Artur Maciej, absolwent Wydziału Chemicznego Politechniki Śląskiej, obecnie jest pracownikiem tej Uczelni na stanowisku adiunkta. Obszar zainteresowań badawczych: powłoki ochronne, anodowe utlenianie, korozja.

E-mail: artur.maciej@polsl.pl

Mgr inż. Anna Kiljan, absolwentka Wydziału Mechanicznego Technologicznego Politechniki Śląskiej, obecnie jest pracownikiem tej Uczelni na stanowisku asystenta. Zajmuje się badaniami szkieletu metalicznych na bazie magnezu w zastosowaniach na implanty biomedyczne.

E-mail: anna.kiljan@polsl.pl

■ Otrzymano / Received: 14.02.2022. Przyjęto / Accepted: 23.03.2022



Rys. 1. Stop AZ91: a) mikrostruktura (SEM), b) skład chemiczny (EDS)

Fig. 1. AZ91 alloy: a) microstructure (SEM), b) chemical composition (EDS)

1. Wstęp

Magnez i jego stopy są powszechnie uznawane za najlżejsze materiały konstrukcyjne i są coraz częściej wykorzystywane w przemyśle. Jest to widoczne szczególnie w zastosowaniach motoryzacyjnych, w których istotna jest redukcja masy pojazdu. Stało się to możliwe dzięki zastąpieniu części stalowych, czy nawet aluminiowych, elementami wykonanymi ze stopów magnezu. Ograniczeniem w stosowaniu ich na większą skalę jest reaktywność chemiczna i wysoka podatność na korozję, szczególnie w środowisku jonów chlorkowych. Deponowanie na powierzchni powłok ochronnych jest najbardziej skutecznym sposobem zwiększenia odporności korozyjnej większości materiałów, w tym stopów magnezu. Ideą w kontekście poprawy odporności korozyjnej stopów magnezu jest wytworzenie szczelnej powłoki w celu zapewnienia ich ochrony [4, 7, 8, 24, 27, 29, 30, 33].

Metoda natryskiwania naddźwiękowego powłok HVOF (*high velocity oxy fuel*) umożliwia wytworzenie powłok o dużej gęstości, niskiej porowatości i wysokiej przyczepności do materiału podłoża. Powłoki wytwarzane tą metodą można zastosować na wielu materiałach, również na stopach magnezu, na których uzyskanie innymi metodami powłok gęstych i niskoporowatych jest problematyczne [1, 17, 18, 32].

W wielu procesach przemysłowych stosuje się cermetale, najczęściej na bazie węgla wolframu, do produkcji odpornych na zużycie narzędzi, matryc czy powłok. Jest to uwarunkowane ich wysoką odpornością na zużycie trybologiczne. Stosuje się je również w aplikacjach ochronnych z uwagi na ich twardość i wytrzymałość. Nałożenie powłoki tego typu w ramach zabezpieczenia przeciwkorozyjnego magnezu pozwala na wytworzenie szczelnej bariery pomiędzy stopem a środowiskiem [9, 10, 15, 26, 28].

2. Materiał i metodyka badań

Badania wykonano na stopie magnezu AZ91. Próbkę do badań miały kształt krążka o średnicy 60 mm i grubości 10 mm. Na rysunku 1 przedstawiono mikrostrukturę oraz skład chemiczny stopu magnezu AZ91.

Przed procesem naddźwiękowego natryskiwania cieplnego – HVOF – powierzchnię próbek poddano obróbce strumieniowo-ściernej, w której jako ścierniwo zastosowano elektrokorund o wielkości ziarna 500–400 μm, przy parametrach: ciśnienie – 0,5 MPa, średnica dyszy – 8 mm. Chropowatość powierzchni po wykonanej obróbce strumieniowo-ściernej wynosiła $R_a = 11,5 \mu\text{m}$.

1. Introduction

Magnesium and its alloys are widely recognized as the lightest construction materials and have been used more and more in the industry over the years. This is especially evident in automotive applications where weight reduction is important. It is possible by replacing steel or even aluminum parts with elements made of magnesium alloys. The limitation in their wider use is chemical reactivity and high susceptibility to corrosion, especially in the environment of chloride ions. Depositing protective coatings on the surface is the most effective way to increase the corrosion resistance of most materials, including magnesium alloys. The idea of improving the corrosion resistance of magnesium alloys is to create a tight coating to ensure their protection [4, 7, 8, 24, 27, 29, 30, 33].

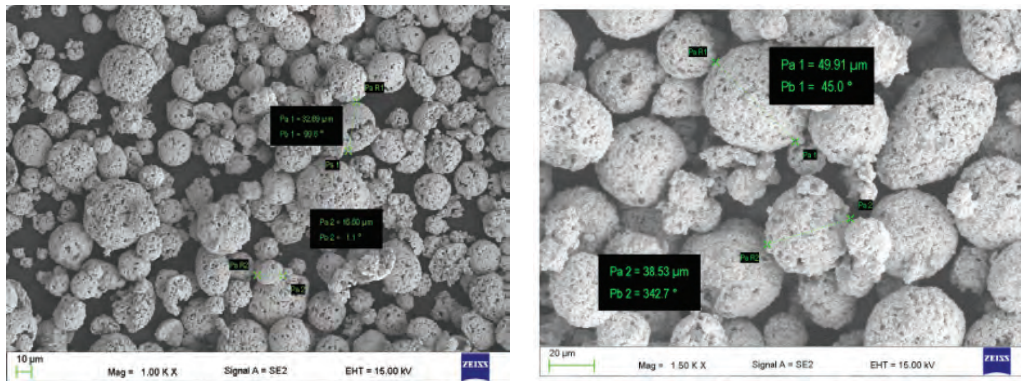
The method of HVOF (*high velocity oxy fuel*) thermal spraying coatings enables the production of high-density, low-porosity coatings with high adhesion to the substrate material. Coatings produced by this method can be used on many materials, also on magnesium alloys, where obtaining dense and low porosity coatings is problematic with other methods [1, 17, 18, 32].

Many industrial processes use tungsten carbide-based cermet most often carbides to produce wear-resistant tools, dies, and coatings. This is due to their high resistance to tribological wear. They are also used in protective applications due to their hardness and durability. Applying this type of coating as part of the magnesium anti-corrosion protection allows for the creation of a tight barrier between the alloy and the environment [9, 10, 15, 26, 28].

2. Materials and methods

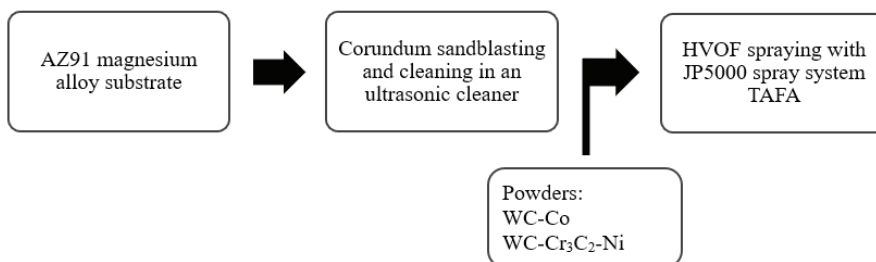
The tests were carried out on the AZ91 magnesium alloy. The test samples were disc-shaped with dimensions: diameter – 60 mm, thickness – 10 mm. Figure 1 shows the microstructure and chemical composition of the AZ91 magnesium alloy.

Before the high velocity thermal spraying process (HVOF), the surface of the samples were abrasive blasted by using electrocorundum with a grain size of 500–400 μm, with the parameters: pressure – 0.5 MPa, nozzle diameter – 8 mm. The surface roughness after the treatment was $R_a = 11.5 \mu\text{m}$. In order to remove impurities that limit the contact surface of the coating with the substrate,



Rys. 2. Morfologia proszków użytych do natryskiwania cieplnego: a) WC-Co, b) WC-Cr₃C₂-Ni (SEM)

Fig. 2. Morphology of powders used for thermal spraying: a) WC-Co, b) WC-Cr₃C₂-Ni (SEM)



Rys. 3. Schemat natryskiwania powłok metodą HVOF [31]

Fig. 3. Scheme of spraying coatings using the HVOF method [31]

Tabela 1. Skład chemiczny proszków natryskiwanych metodą HVOF

Table 1. The chemical composition of the HVOF spraying powders

Cermet powders	Composition, wt. %
WC-Co	88-12
WC-Cr ₃ C ₂ -Ni	73-20-7

W celu usunięcia zanieczyszczeń ograniczających powierzchnię styku powłoki z podłożem próbki poddano czyszczeniu w płuczce ultradźwiękowej, w której jako medium robocze zastosowano aceton.

Następnie natrykiwano powłoki z komercyjnych proszków cermetalowych: WC-Co (Höganäs, Amperit 518.074) i WC-Cr₃C₂-Ni (Woka 3702-1), których skład chemiczny (w % wag.) przedstawiono w tabeli 1. Proszki użyte do natryskiwania powłok (rys. 2) były spiekane oraz aglomerowane, a zakres wielkości cząstek każdego z nich wynosił od -45 do +15 μm.

Natryskiwanie powłok HVOF wykonano pistoletem JP 5000 TAFE (Indianapolis, USA) w firmie Resurs A. Radziszewski (Warszawa, Polska). Paliwem użytym w procesie była nafta (26,1 l/h), gazem podtrzymującym spalanie – tlen (900 NI/min), a gazem nośnym azot (12 NI/min). Prędkość podawania proszku wynosiła 70 g/min, przepływ wody (używanej do chłodzenia dyszy pistoletu natryskowego): 2 NI/min. Proces natryskiwania powłok prowadzony był ręcznie, z zachowaniem stałej odległości dyszy pistoletu od podłoża, wynoszącej 360 mm. Schemat natryskiwania powłok pokazano na rysunku 3.

Próbki do badań przygotowano przez cięcie na urządzeniu Discotom-60 w płaszczyźnie prostopadłej do natryskiwanej powierzchni. Następnie próbki zainkludowano na zimno z zastosowaniem akrylowej żywicy chemoutwardzalnej (akrylowa żywica DMT20 w proszku i utwardzacz w płynie).

Obróbka mechaniczna polegała na szlifowaniu oraz polerowaniu. Do szlifowania użyto papierów ściernych o ziarnistości kolejno: 240, 320, 600, 800, 1000 oraz 1200, natomiast do polerowania wykorzystano tarczę polerską oraz zawieszinę diamentową o gradacji 3 μm. Następnie próbki płukano alkoholem etylowym w myjce ultradźwiękowej przez 3 min.

Obserwacje mikrostruktur, analizę składu chemicznego oraz pomiar grubości powłok wykonano przy użyciu skaningowych mikro-

the samples were cleaned in an ultrasonic cleaner, in which acetone was used as the working medium.

Then, coatings of commercial cermet powders were sprayed: WC - Co (Höganäs, Amperit 518.074) and WC-Cr₃C₂-Ni (Woka 3702 1), which chemical composition (in wt. %) is presented in Table 1. Powders used for spraying the coatings (Fig. 2) with a particle size range of -45 +15 μm were sintered and agglomerated.

HVOF coatings were sprayed with a JP 5000 TAFE (Indianapolis, USA) by Resurs. A. Radziszewski (Warsaw, Poland). The fuel used in the process was kerosene (26.1 l/h) and oxygen was the combustion-supporting gas (900 slpm), while the carrier gas was nitrogen (12 slpm). The powder feed rate was 70 g/min, and the water flow (used to cool the nozzle of the spray gun) was 2 slpm. The thermal spraying process was done manually with a constant distance of the gun nozzle from the surface substrate of 360 mm. The coating spray scheme is shown in Figure 3.

The samples for the investigations were prepared by cutting on the Discotom-60 device in the plane perpendicular to the sprayed surface. Then, the samples were cold mounted with acrylic cold mounting resin (acrylic resin powder DMT20 and liquid hardener).

Mechanical processing consisted of grinding and polishing. For grinding, abrasive papers with graininess of 240, 320, 600, 800, 1000, and 1200 were used, while for polishing, a polishing shield and a diamond suspension with a gradation of 3 μm. Then, the samples were rinsed with ethyl alcohol in an ultrasonic cleaner for 3 minutes.

Observations of the microstructure, analysis of the chemical composition, and measurement of the thickness of the coatings were made using the Phenom ProX scanning electron microscopes by ThermoFisher Scientific and Supra 35 by Zeiss on the cross-section of the samples. The chemical composition analysis was performed using the EDS (energy dispersive spectroscopy) method and the measurements were made at several randomly selected loca-

skopów elektronowych Phenom ProX firmy ThermoFisher Scientific oraz Supra 35 firmy Zeiss na przekroju poprzecznym próbek. Analizę składu chemicznego wykonano metodą EDS (*energy dispersive spectroscopy*), a pomiary przeprowadzono w kilku losowo wybranych miejscach każdej z powłok. Mapy rozkładu chemicznego pierwiastków wykonano na przekrojach poprzecznych próbek. Wykonano po sześć pomiarów grubości natryskiwanych powłok, a otrzymane wyniki opracowano statystycznie. Porowatość natryskiwanych powłok badano, zgodnie z normą ASTM E2109-01, na przekrojach poprzecznych próbek. Do określenia porowatości metodą analizy obrazu wykorzystano zdjęcia wykonane w powiększeniach 500× oraz oprogramowanie ImageJ.

Charakterystyka topografii powłok została wykonana z wykorzystaniem konfokalnego mikroskopu LSM5 Excite Zeiss skanującego laserowo.

Chropowatość powłok zmierzono za pomocą profilometru liniowego Mitutoyo SJ-210, zgodnie z normą PN-EN ISO 4287:1999. Wykonano po 10 pomiarów, z których kolejno obliczono wartości średnie oraz odchylenia standardowe dla każdej z badanych powłok.

Mikrotwardość badanych powłok, a także podłoża ze stopu magnezu AZ91 zmierzono przy użyciu twardościomierza Mitutoyo HM100. Pomiary mikrotwardości natryskiwanych powłok przeprowadzono metodą Vickersa pod obciążeniem 2,94 N (HV0,3), zgodnie z normą ISO 4516. Wykonano sześć pomiarów, które następnie opracowano statystycznie, wyznaczając wartości średnie i odchylenia standardowe.

Podczas badań korozyjnych wykorzystano komorę do długoterminowych testów korozyjnych ASCOTT S450xp firmy Ascott Analytical Equipment Limited. Badania przeprowadzono w warunkach zgodnych z normą EN ISO 9227, tj. w temperaturze 35°C w środowisku obojętnej mgły solnej (test NSS – *neutral salt spray*, 5% NaCl, pH = 6,8 ± 0,1). Próbkę umieszczono w komorze, stosując zawieszki poliamidowe, które przepleciono przez otwory znajdujące się w centralnej części próbek. Próbkę przygotowaną do testów NSS były pokryte powłoką na jednej, czołowej powierzchni, która była poddawana ocenie wizualnej (pozostała część próbek nie była zabezpieczona i nie podlegała ocenie stanu powierzchni). Obserwację oraz rejestrację stanu powierzchni natryskiwanych powłok wykonano odpowiednio po: 1, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168 oraz 192 godzinach, co wynikało z konieczności częstej obserwacji stanu badanych próbek, związanej z wysoką aktywnością materiału podłoża.

Badania odporności na korozję elektrochemiczną wykonano potencjodynamicznymi metodami Sterna oraz Tafela, za pomocą potencjostatu Autolab PGSTAT 100N w 3,5-proc. roztworze NaCl. Metody te opierają się na polaryzacji elektrody zmieniającym się liniowo potencjałem, w wyniku czego otrzymuje się charakterystyki potencjodynamiczne będące graficznymi zależnościami pomiędzy gęstością prądu na elektrodzie a jej potencjałem. Elektroda odniesienia zastosowaną w analizie była nasycona elektroda kalomelowa (NEK), a elektroda pomocnicza została wytworzona z platynowanego tytanu. Badana powierzchnia próbki wynosiła 1 cm². Proces przebiegał w kilku etapach; po 3600 s od kontaktu medium korozyjnego z powłoką odczytano potencjał obwodu otwartego (E_{OCP}). Pomiar metodą Sterna wymagał przeprowadzenia polaryzacji powłok w zakresie potencjału od E_{OCP} – 25 mV do E_{OCP} + 25 mV, a metodą Tafela: od E_{OCP} – 150 mV do E_{OCP} + 150 mV. Zmiana potencjału odbywała się z szybkością 10 mV/min. Dzięki otrzymanym krzywym potencjodynamicznym możliwe było określenie gęstości prądu korozji (j_{kor}) oraz oporu polaryzacji (Rp). Są to wielkości stanowiące podstawę do oceny odporności korozyjnej.

3. Omówienie wyników badań

3.1. Mikrostruktura powłok

Rysunki 4–5 przedstawiają obrazy mikrostruktury na przekroju poprzecznym powłok WC-Co i WC-Cr₃C₂-Ni wykonane przy użyciu

tytułów na każdym z powłok. Mapy elementarnej chemicznej dystrybucji wykonano na przekrojach poprzecznych próbek. Wykonano sześć pomiarów grubości powłok i otrzymane wyniki analizowano statystycznie. Porowatość powłok oceniono na przekrojach poprzecznych, zgodnie z normą ASTM E2109-01. Mikrografy wykonane w powiększeniach 500× służyły do oszacowania porowatości metodą analizy obrazu w programie ImageJ.

Charakterystyka topografii powłok została wykonana z wykorzystaniem konfokalnego mikroskopu LSM5 Excite Zeiss skanującego laserowo.

Chropowatość powłok zmierzono za pomocą profilometru liniowego Mitutoyo SJ-210, zgodnie z normą PN-EN ISO 4287:1999. Wykonano po 10 pomiarów, z których kolejno obliczono wartości średnie oraz odchylenia standardowe dla każdej z badanych powłok.

Mikrotwardość badanych powłok, a także podłoża ze stopu magnezu AZ91 zmierzono przy użyciu twardościomierza Mitutoyo HM100. Pomiary mikrotwardości natryskiwanych powłok przeprowadzono metodą Vickersa pod obciążeniem 2,94 N (HV0,3), zgodnie z normą ISO 4516. Wykonano sześć pomiarów, które następnie opracowano statystycznie, wyznaczając wartości średnie i odchylenia standardowe.

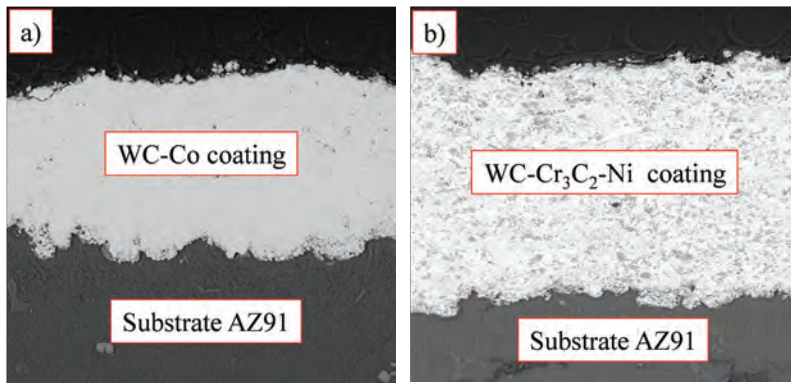
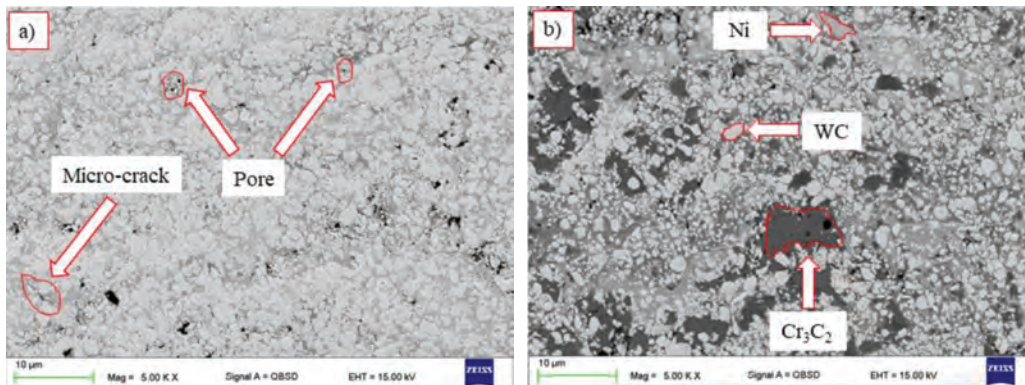
Podczas badań korozyjnych wykorzystano komorę do długoterminowych testów korozyjnych ASCOTT S450xp firmy Ascott Analytical Equipment Limited. Badania przeprowadzono w warunkach zgodnych z normą EN ISO 9227, tj. w temperaturze 35°C w środowisku obojętnej mgły solnej (test NSS – *neutral salt spray*, 5% NaCl, pH = 6,8 ± 0,1). Próbkę umieszczono w komorze, stosując zawieszki poliamidowe, które przepleciono przez otwory znajdujące się w centralnej części próbek. Próbkę przygotowaną do testów NSS były pokryte powłoką na jednej, czołowej powierzchni, która była poddawana ocenie wizualnej (pozostała część próbek nie była zabezpieczona i nie podlegała ocenie stanu powierzchni). Obserwację oraz rejestrację stanu powierzchni natryskiwanych powłok wykonano odpowiednio po: 1, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, and 192 hours, what was related to the necessity of frequent inspection of the samples condition, connected with high activity of the substrate material.

Badania odporności na korozję elektrochemiczną wykonano potencjodynamicznymi metodami Sterna oraz Tafela, za pomocą potencjostatu Autolab PGSTAT 100N w 3,5-proc. roztworze NaCl. Metody te opierają się na polaryzacji elektrody zmieniającym się liniowo potencjałem, w wyniku czego otrzymuje się charakterystyki potencjodynamiczne będące graficznymi zależnościami pomiędzy gęstością prądu na elektrodzie a jej potencjałem. Elektroda odniesienia zastosowaną w analizie była nasycona elektroda kalomelowa (NEK), a elektroda pomocnicza została wytworzona z platynowanego tytanu. Badana powierzchnia próbki wynosiła 1 cm². Proces przebiegał w kilku etapach. Po 3600 s od kontaktu medium korozyjnego z powłoką odczytano potencjał obwodu otwartego (E_{OCP}). Pomiar metodą Sterna wymagał przeprowadzenia polaryzacji powłok w zakresie potencjału od E_{OCP} – 25 mV do E_{OCP} + 25 mV, a metodą Tafela: od E_{OCP} – 150 mV do E_{OCP} + 150 mV. Zmiana potencjału odbywała się z szybkością 10 mV/min. Dzięki otrzymanym krzywym potencjodynamicznym możliwe było określenie gęstości prądu korozji (j_{kor}) oraz oporu polaryzacji (Rp). Są to wielkości stanowiące podstawę do oceny odporności korozyjnej.

3. Results

3.1. Microstructure of the coatings

Figures 4–5 show SEM images of the microstructure in the cross-section of WC-Co and WC-Cr₃C₂-Ni coatings. Based on the investigation results, it was found that they are characterized by a typical morphology, which is characteristic of coatings produced with this technology and results from individual pro-

Rys. 4. Przekrój poprzeczny powłok: a) WC-Co, b) WC-Cr₃C₂-Ni (SEM), pow. 500×Fig. 4. Cross-section of coatings: a) WC-Co, b) WC-Cr₃C₂-Ni (SEM), mag. 500×Rys. 5. Mikrostruktura powłok: a) WC-Co, b) WC-Cr₃C₂-Ni (SEM)Fig. 5. Microstructure of coatings: a) WC-Co, b) WC-Cr₃C₂-Ni (SEM)

mikroskopu skaningowego (SEM). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że cechują się one typową morfologią, która jest charakterystyczna dla powłok wytwarzanych tą technologią i wynika z indywidualnych parametrów procesu. Mikrostruktura badanych powłok jest zwarta i jednorodna, a cząstki materiału powłokowego są równomiernie rozłożone w całej objętości powłoki. Zauważono także występowanie nielicznych porów i mikropęknięć, które w powłokach widoczne są jako ciemne obszary (rys. 5a) [16, 17]. Porowatość powłoki (obj. w %) WC-Co wynosi $2,7 \pm 0,6$, a WC-Cr₃C₂-Ni: $2,1 \pm 0,5$; wielkości te są porównywalne z innymi podanymi w literaturze [33]. Powłoki charakteryzują się ponadto dobrą przyczepnością do podłoża, o charakterze adhezyjnym, o czym świadczy falista linia pomiędzy powłoką a podłożem, powstała na skutek mechanicznego zakleszczenia ziaren proszku nadtopionego w trakcie procesu natryskiwania (rys. 4). W powłoce WC-Cr₃C₂-Ni występują cząstki WC, Cr₃C₂ oraz fazy spoiwa Ni (rys. 5b) [13].

3.2. Skład chemiczny powłok

Analiza punktowa składu chemicznego (EDS) badanych powłok potwierdziła występowanie pierwiastków wchodzących w skład użytych materiałów powłokowych. W wypadku powłoki WC-Co (% wag.): W (87,5), C (4,2), Co (8,3) (rys. 6b). Procentowy udział pierwiastków różnił się w niewielkim stopniu w zależności od obszaru wybranego do analizy. Skład chemiczny powłok natrykiwanych metodą HVOF nie odbiega od składu stosowanych proszków. Podobne wyniki przedstawiono w innych publikacjach [11, 12, 15, 19–23].

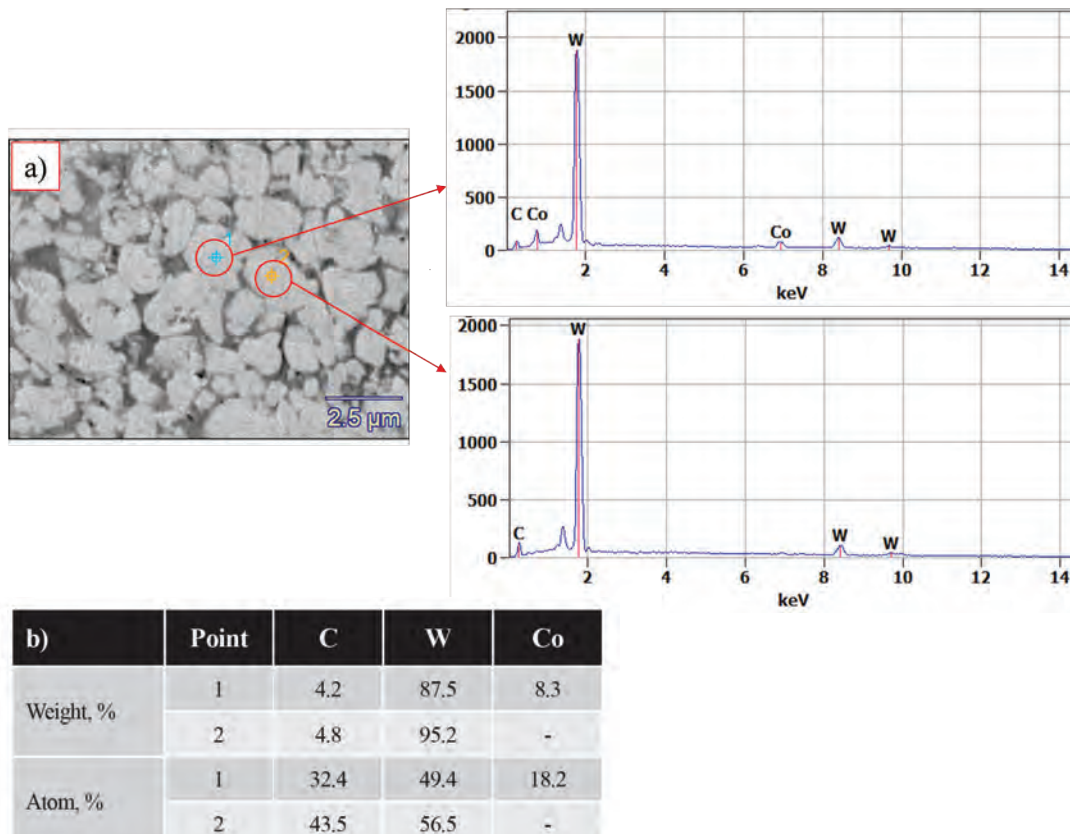
Rysunek 6a przedstawia jasne ziarna WC, które ze względu na niższą liczbę atomową są lżejsze, otoczone spoiwem kobaltowym w kolorze szarym [19, 21]. Często występującym problemem w wy-

cess parameters. The investigated coatings are characterized by a dense microstructure, and the hard particles of the WC and Cr₃C₂ are evenly distributed throughout the entire volume of the coating. The presence of a few pores and microcracks, which are visible in the coatings as dark areas, was also noticed (Fig. 5a) [16, 17]. The porosity (in vol. %) of the WC-Co coating is 2.7 ± 0.6 whereas for WC-Cr₃C₂-Ni - 2.1 ± 0.5 and their level is comparable with other types of such coatings described in the literature [33]. The porosity of the coatings depends on the type of coating material, parameters of the spraying process and the spraying gun system. Moreover, the coatings are characterized by good adhesion to the substrate that is adhesive by nature. It is indicative of the wavy line between the coating and the substrate, which results from mechanical jamming of the powder grains melted during the spraying process (Fig. 4). The WC-Cr₃C₂-Ni coating contains WC, Cr₃C₂ particles, and Ni binder phases (Fig. 5b), which is in accordance with the literature data [13].

3.2. Chemical composition of coatings

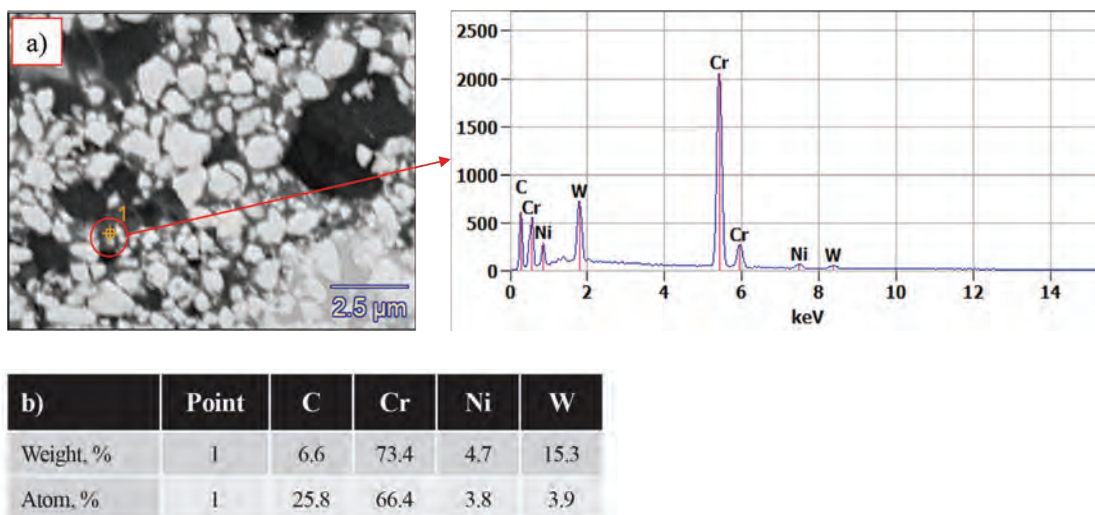
The point analysis of the chemical composition (EDS) of the tested coatings confirmed the presence of the elements included in the used coating materials. In the case of the WC-Co coating (in wt. %): W (87.5), C (4.2), Co (8.3) (Fig. 6b). The percentage of elements slightly varied, depending on the area selected for analysis. The chemical composition of the coatings sprayed with the HVOF method does not differ from the composition of the used powders. Similar results have been reported elsewhere [11, 12, 15, 19–23].

Figure 6a shows bright WC grains, which due to the lower atomic number are lighter, surrounded by a cobalt binder in grey [19, 21]. A common problem in the case of WC-Co thermal sprayed coatings



Rys. 6. Powłoka WC-Co: a) mikrostruktura, b) skład chemiczny (EDS), pow. 2500×

Fig. 6. WC-Co coating: a) microstructure, b) chemical composition (EDS), mag. 2500×

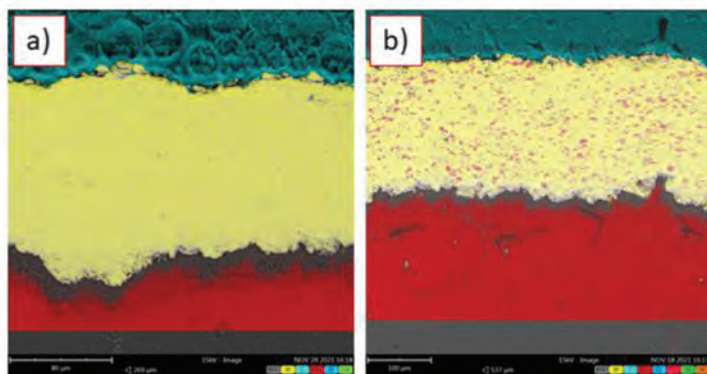
Rys. 7. Powłoka WC-Cr₃C₂-Ni: a) mikrostruktura (SEM), b) skład chemiczny (EDS), pow. 2500×Fig. 7. WC-Cr₃C₂-Ni coating: a) microstructure (SEM), b) chemical composition (EDS), mag. 2500×

padku powłok WC-Co wytworzonych metodą natrysku cieplnego jest proces odwęglania WC, który następuje w wyniku oddziaływania wysokiej temperatury oraz obecności tlenu. Powstają wówczas fazy W₂C, które są twardsze, ale jednocześnie bardziej kruche. Wpływają one na pogorszenie właściwości powłoki [14, 21, 24, 31].

W wypadku powłoki WC-Cr₃C₂-Ni potwierdzono występowanie pierwiastków będących składnikami materiału powłokowego (% wag.): W (15,3), C (6,6), Cr (73,4) i Ni (4,7) (rys. 7). Obecność takich pierwiastków jak chrom lub nikiel w proszku użytym do natryski-

is WC decarburization process, which occurs as a result of high temperature and in the presence of oxygen. Then the W₂C phases are formed, which are harder but at the same time more brittle. Their presence affects the deterioration of the coating properties [14, 21, 24, 31].

In the case of the WC-Cr₃C₂-Ni coating, the presence of the elements constituting the components of the coating material (in wt. %): W (15,3), C (6,6), Cr (73,4) i Ni (4,7) were confirmed (Fig. 7). The presence of elements such as chromium or nickel in the pow-



Rys. 8. Mapa rozmieszczenia pierwiastków (EDS) na przekroju powłok: a) WC-Co, b) WC-Cr₃C₂-Ni

Fig. 8. Elemental distribution maps of spraying elements (EDS) on the cross-section of coating: a) WC-Co, b) WC-Cr₃C₂-Ni

wania wpływa na modyfikację rozkładu ziaren WC i zapobiega procesowi odwęglania, jednocześnie poprawiając wiązanie pomiędzy ziarnami WC i osnowy Ni [5, 22].

Na podstawie analizy map rozmieszczenia pierwiastków w natryskiwanych powłokach (rys. 8) stwierdzono, że w wyniku procesu natryskiwania uformowana została dwufazowa struktura powłoki WC-Co (rys. 8a). W powłoce WC-Cr₃C₂-Ni (rys. 8b) zaobserwowano natomiast wyraźne cząstki węgla chromu, równomiernie rozmieszczone w całej jej objętości. Wynika to z charakterystyki procesu natryskiwania metodą HVOF, w trakcie którego niektóre krawędzie cząstek materiału powłokowego ulegają nadtopieniu, a inne są zdeformowane, spłaszczane i rozdrobnione w całej objętości powłoki [19, 22–24].

3.3. Topografia, chropowatość i grubość powłok

Na rysunkach 9–10 przedstawiono topografię powierzchni powłok WC-Co i WC-Cr₃C₂-Ni: na rysunkach 9a i 10a – widok trójwymiarowy, na rysunkach 9b i 10b – mapę wysokości danego obszaru powłoki. Przeprowadzona analiza wykazała, że topografia powłok wytworzonych metodą HVOF cechuje się rozwiniętą powierzchnią o wielu nierównościach. Zauważalne są ostre szczyty, obniżenia oraz defekty. Zobrazowana topografia powierzchni jest typowa dla powłok nakładanych podczas procesu HVOF i wynika z jego specyficznego przebiegu [19, 21].

W tabeli 2 zamieszczono średnie wartości chropowatości powierzchni (Ra – średnia arytmetyczna rzędnych profilu chropowatości) oraz grubości powłok WC-Co i WC-Cr₃C₂-Ni. Średnia chropowatość powierzchni powłoki WC-Co wynosi $4,1 \pm 0,1 \mu\text{m}$, natomiast powłoka WC-Cr₃C₂-Ni charakteryzuje się chropowatością równą $5,7 \pm 0,1 \mu\text{m}$. Według danych literaturowych średnia chropowatość powłok natryskiwanych metodą HVOF proszkami na bazie węglików wolframu zawiera się w zakresie od $3,98 \mu\text{m}$ [28] do $6,22 \mu\text{m}$ [14]. Grubość wytworzonej powłoki zależy od czasu natryskiwania i parametrów podawania proszku. Grubość powłoki WC-Cr₃C₂-Ni wynosi $192,3 \pm 10,7 \mu\text{m}$, natomiast WC-Co: $123,8 \pm 12,5 \mu\text{m}$. Grubość powłok natryskiwanych metodą HVOF według danych literaturowych [2, 14, 22, 25] zawiera się w zakresie $0,1\text{--}0,4 \text{ mm}$, co jest zbliżone z wynikami uzyskanymi na podstawie wykonanych badań.

3.4. Mikrotwardość powłok

Na podstawie wyników badań mikrotwardości stwierdzono, że powłoka WC-Co charakteryzuje się wyższą średnią mikrotwardością, wynoszącą $997 \pm 131 \text{ HV0,3}$, niż powłoka WC-Cr₃C₂-Ni, której średnia mikrotwardość wynosi $907 \pm 185 \text{ HV0,3}$. Według danych literaturowych twardość powłok z grupy WC-Co zawiera się w prze-

Tabela 2. Porównanie średnich wartości chropowatości i grubości powłok

Table 2. Comparison of the mean roughness values and the thickness of the coatings

Coating	Average roughness Ra, μm	Average thickness, μm
WC-Co	4.1 ± 0.1	123.8 ± 12.5
WC-Cr ₃ C ₂ -Ni	5.7 ± 0.1	192.3 ± 10.7

der used for spraying, modifies the distribution of WC grains and prevents the decarburization process. It also improves the bond between WC grains and the Ni matrix [5, 22].

Based on the analysis of the distribution maps of elements in the sprayed coatings (Fig. 8), it was found that in the case of the WC-Co coating, a two-phase structure of the coating was formed as a result of the spraying process (Fig. 8a). On the other hand, in the case of the WC-Cr₃C₂-Ni coating (Fig. 8b), distinct particles of chromium carbide were observed, evenly distributed throughout its volume. This is due to the characteristics of the HVOF spraying process, during which some edges of the coating material particles melt, while others are deformed, flattened and fragmented throughout the entire volume of the coating [19, 22–24].

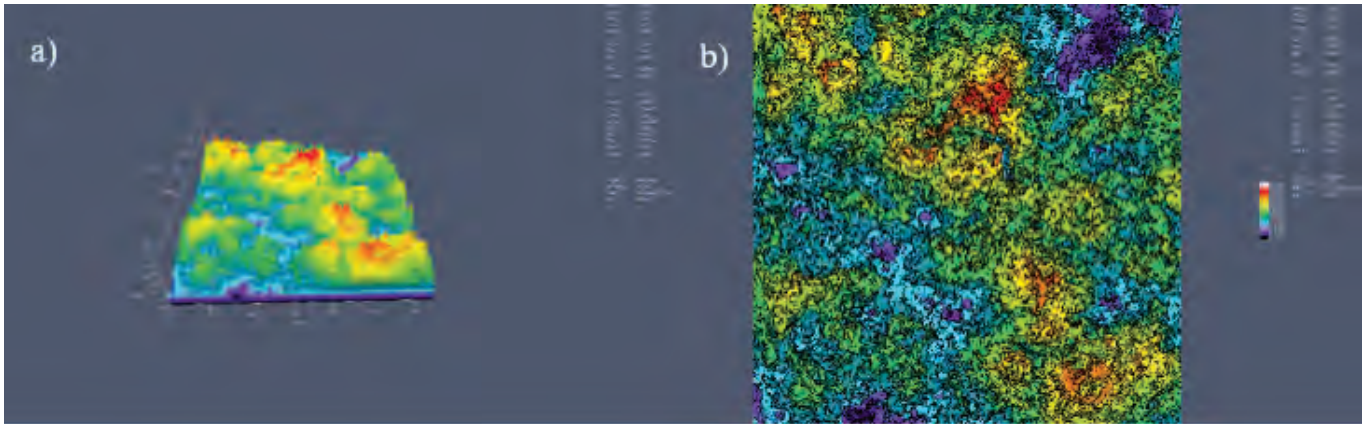
3.3. Topography, roughness and thickness of coatings

Figures 9–10 show the surface topography of WC-Co and WC-Cr₃C₂-Ni coatings. Figures 9a and 10a show a three-dimensional view, while Figures 9b and 10b show the height map of a given area of the coating. The conducted analysis showed that the topography of the coatings produced by the HVOF method is characterized by a developed and uneven surface. Sharp peaks, depressions and defects can be noticed. The depicted shape of the surface topography is typical for coatings applied during the HVOF process due to its specific course [19, 21].

Table 2 shows the average values of the surface roughness (Ra – arithmetic average of the absolute values of the roughness profile ordinates) and the thickness of the WC-Co and WC-Cr₃C₂-Ni coatings. The average surface roughness of WC-Co coating is $4.1 \pm 0.1 \mu\text{m}$, while the WC-Cr₃C₂-Ni coating is characterized by the roughness of $5.7 \pm 0.1 \mu\text{m}$. According to the literature data, the average roughness of the coatings sprayed with the HVOF method using powders based on tungsten carbides ranges from $3.98 \mu\text{m}$ [28] to $6.22 \mu\text{m}$ [14]. The thickness of the WC-Cr₃C₂-Ni coating is $192.3 \pm 10.7 \mu\text{m}$, while WC-Co: $123.8 \pm 12.5 \mu\text{m}$. The thickness of the coatings sprayed with the HVOF method, according to the literature data [2, 14, 22, 25], is in the range of $0.1\text{--}0.4 \mu\text{m}$, which is consistent with the results obtained based on the performed investigations.

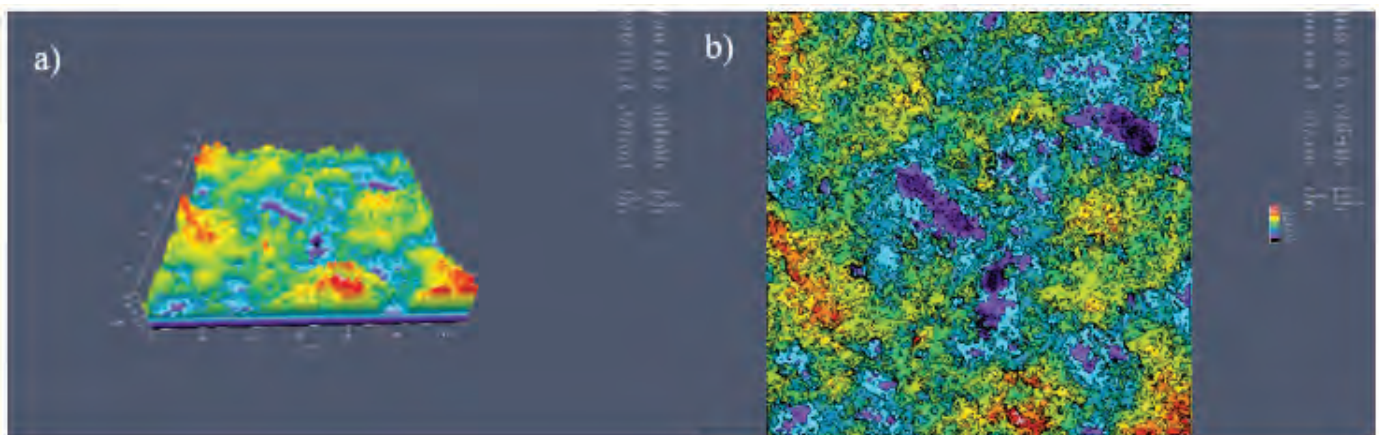
3.4. Microhardness of coatings

Based on the results of microhardness investigations, it was found that the WC-Co coating is characterized by a higher average microhardness of $997 \pm 131 \text{ HV0.3}$ than the WC-Cr₃C₂-Ni coating, which has an average microhardness of $907 \pm 185 \text{ HV0.3}$. According to the literature data, the hardness of coatings from the WC-Co



Rys. 9. Ukształtowanie geometryczne fragmentu powierzchni powłoki WC-Co natryskiwanej metodą HVOF: a) topografia powierzchni 3D, b) izometryczny obraz powierzchni

Fig. 9. Geometric structure of a fragment of the WC-Co coating surface sprayed with the HVOF method: a) 3D surface topography, b) isometric image of the surface



Rys. 10. Ukształtowanie geometryczne fragmentu powierzchni powłoki WC-Cr₃C₂-Ni natryskiwanej metodą HVOF: a) topografia powierzchni 3D, b) izometryczny obraz powierzchni

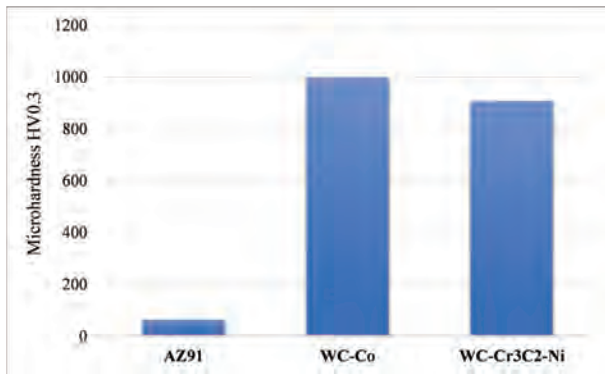
Fig. 10. Geometric structure of a fragment of the WC-Cr₃C₂-Ni coating surface sprayed with the HVOF method: a) 3D surface topography, b) isometric image of the surface

dziale 900–1500 HV [23]. Wyższa mikrotwardość powłoki WC-Co może wynikać z dużej zawartości WC w powłoce i jej bardziej zwartej struktury. Powłoka WC-Cr₃C₂-Ni ma jednak niższą porowatość, a osnowa niklowa ma niższą twardość niż kobalt. Zmierzona wartość średniej mikrotwardości powłoki WC-Cr₃C₂-Ni jest zbliżona do wyników uzyskanych podczas innych badań mikrotwardości tego typu powłok nanoszonych metodą HVOF przy podobnych parametrach natryskiwania [6, 13].

Na twardość natryskiwanych powłok wpływa wiele czynników. Wśród nich można wyróżnić: porowatość, wielkość cząstek węgla, stopień odwęglenia [13] oraz odległość dyszy od podłoża podczas procesu natryskiwania. Odległość natrysku jest ważnym parametrem procesu ze względu na jej wpływ na stan cząstek uderzających w materiał bazowy. Odpowiednio duża prędkość cząstek, czyli większa energia kinetyczna, skutkuje większą siłą wiązania, co zwiększa twardość natryśniętej powłoki i wpływa na jej niską porowatość. Wraz ze wzrostem odległości natrysku zwiększa się ryzyko uzyskania niższych wartości mikrotwardości ze względu na spowolnienie cząstek [3, 16]. W porównaniu z powłokami natryskiwany metodą HVOF materiał podłoża – stop magnezu AZ91 – charakteryzuje się znacznie niższą średnią wartością mikrotwardości, wynoszącą $62,6 \pm 2,5$ HV_{0,3}, co potwierdza celowość natryskiwania twardych materiałów cermetowych na powierzchnię lekkich materiałów konstrukcyjnych, aby poprawić ich własności użytkowe.

group is in the range of 900–1500 HV [23]. The higher microhardness of the WC-Co coating may be due to the high content of WC in the coating and its more compact structure. On the other hand, the WC-Cr₃C₂-Ni coating has a lower porosity and the nickel matrix has a lower hardness than cobalt. The obtained value of the mean microhardness of the WC-Cr₃C₂-Ni coating is similar to the results obtained during other microhardness tests of this type of coatings applied with the HVOF method with the use of similar spraying parameters [6, 13].

There are many factors that affect the hardness of a sprayed coatings. Among them, we can distinguish porosity, carbide particle size, decarburization degree [13] and the distance of the nozzle from the substrate during the spraying process. The spray distance is an important process parameter due to its influence on the condition of particles hitting the base material. Adequately high particle velocity, i.e. greater kinetic energy, results in a greater bond strength, which increases the hardness of the sprayed coating and influences its low porosity. As the spray distance increases, the risk of obtaining lower microhardness values is increased due to particle deceleration [3, 16]. Compared to HVOF sprayed coatings, the substrate material – AZ91 magnesium alloy is characterized by a much lower average microhardness value, amounting to 62.6 ± 2.5 HV_{0.3}, which confirms thermal spraying of hard cermet powders on to surface of the light construction materials in order to improve their utility properties. A comparison of the average mi-



Rys. 11. Porównanie średnich wartości mikrotwardości powłok oraz materiału podłoża – stopu magnezu AZ91

Fig. 11. Comparison of the average microhardness values of coatings and the base material – AZ91 magnesium alloy

Porównanie średniej mikrotwardości powłok i materiału podłoża przedstawiono na rysunku 11.

3.5. Odporność korozyjna – badania przy użyciu komory solnej

Na podstawie analizy wyników badań odporności na korozję wykonanych w komorze solnej stwierdzono, że największą odpornością korozyjną charakteryzuje się powłoka WC-Co, w wypadku której pojawienie się pierwszych produktów korozji podłoża nastąpiło najpóźniej, tj. po upływie 96 h ekspozycji w komorze solnej. Próbkę ze stopu magnezu AZ91 oraz powłoka WC-Cr₃C₂-Ni zaczęły korodować już po jednej dobie, czyli po 24 h przebywania w komorze. Po tym czasie zaobserwowano również odwarstwienie powłoki WC-Cr₃C₂-Ni od podłoża. Skutkiem tego było przyspieszenie przebiegu korozji próbki w wyniku odsłonięcia podłoża. Z danych zawartych w literaturze przedmiotu wynika, że ślady korozji na powłoce WC-Co nałożonej na stop glinu zaczynają być widoczne dopiero po czasie ekspozycji wynoszącym 3000 h [11]. W związku z tym, że badano powłoki wytworzone na stopie magnezu, który jest metalem bardziej reaktywnym chemicznie niż glin, nie założono tak długiego czasu badania. W tabeli 3 pokazano powierzchnię próbek przed rozpoczęciem badania oraz w miarę postępującej wraz z upływem czasu korozji.

3.6. Odporność korozyjna – badania elektrochemiczne

W tabeli 4 przedstawiono zestawienie wyników otrzymanych na podstawie wykonanych badań potencjodynamicznych: oporu polaryzacji – R_p , gęstości prądu korozji – j_{kor} oraz wartości potencjału OCP wzgl. NEK, V.

Na podstawie wykonanych badań potencjodynamicznych stwierdzono, że najwyższą wartością pomiaru oporu polaryzacji wykonane metodą Tafela, równą $8445,3 \Omega \cdot \text{cm}^2$, charakteryzuje się powłoka WC-Co, natomiast opór polaryzacji mierzony tą samą metodą dla powłoki WC-Cr₃C₂-Ni wynosi $428,3 \Omega \cdot \text{cm}^2$ (jest mniejszy o 94,93%). W wypadku pomiarów gęstości prądu korozji (j_{kor}) im mniejsza jest wartość j_{kor} , tym wolniej postępuje proces korozji. Najmniejszą wartością gęstości prądu korozji, wynoszącą $3,3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, a w związku z tym większą odpornością korozyjną charakteryzuje się powłoka WC-Co, natomiast dla powłoki WC-Cr₃C₂-Ni wartość j_{kor} wynosi $33,8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Wyniki pomiarów oporu polaryzacji R_p oraz gęstości prądu korozji są z sobą zbieżne i potwierdzają słabszą odporność korozyjną powłoki WC-Cr₃C₂-Ni. W porównaniu z wynikami uzyskanymi dla obydwu badanych powłok próbka stanowiąca materiał podłoża, wykonana ze stopu magnezu AZ91, charakteryzuje się najniższą wartością oporu polaryzacyjnego, wynoszącą $15,9 \Omega \cdot \text{cm}^2$, oraz najwyższą wartością gęstości prądu korozyjnego, równą $1441,3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, co jednoznacznie potwierdza niską odporność korozyjną materiału podłoża. Wyniki oporu polaryzacji i gęstości prądu korozji dla obu próbek, uzyskane na podstawie badań wykonanych metodą Sterna oraz Tafela, są spójne. Można więc stwierdzić, że powłoki te stanowią skuteczne zabezpieczenie stopu AZ91 przed korozją.

Na podstawie otrzymanych wyników badań stwierdzono również, że wytworzenie na powierzchni stopu magnezu powłok HVOF powo-

rohardness of the coatings and the base material is shown in Figure 11.

3.5. Corrosion resistance – salt spray tests

Based on the analysis of the results of corrosion resistance tests carried out in the salt spray chamber, it was found that among the tested materials, the WC-Co coating is characterized by the highest corrosion resistance; in this case the appearance of first corrosion products of substrate occurred at the latest, i.e. after 96 hours of exposure in the salt spray chamber. The sample made of AZ91 magnesium alloy and the WC-Cr₃C₂-Ni coating began to corrode after one day, i.e. after 24 hour exposition in the chamber. After this time, defoliation of the WC-Cr₃C₂-Ni coating was observed. As a result, the corrosion of the sample accelerated as the substrate material was exposed. The data included in the research literature indicate that the trace of corrosion on the WC-Co coating applied on the aluminum alloy becomes visible after an exposure time of 3000 hours [11]. Due to the fact that the coatings applied on magnesium alloy were tested and magnesium is a more chemically reactive metal than aluminum, such a long test time was not assumed. Table 3 shows the appearance of the sample surfaces before starting the test and the progression of corrosion.



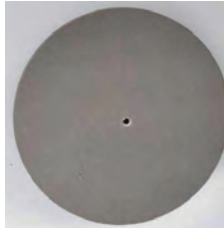

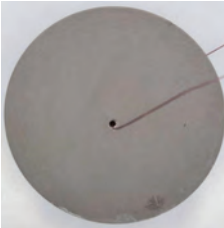
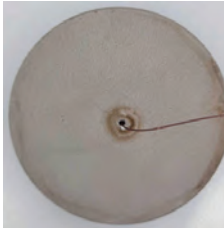
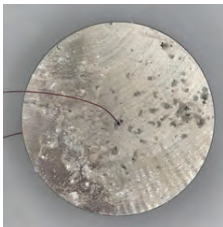
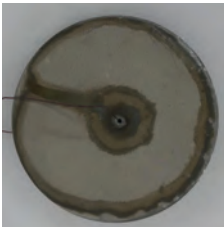
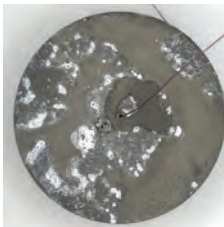
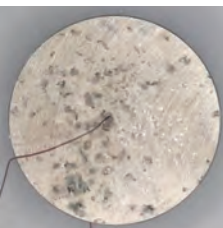
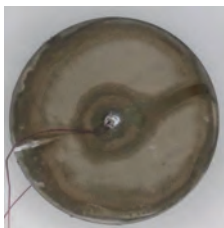

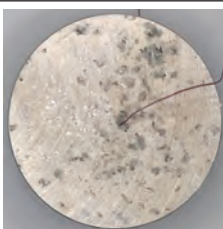

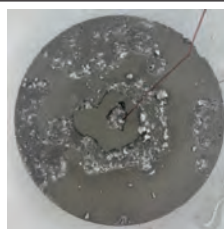
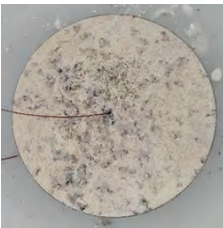
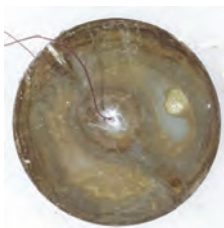
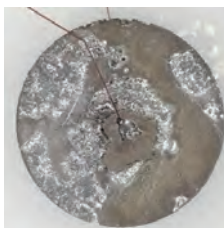
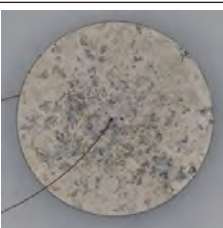

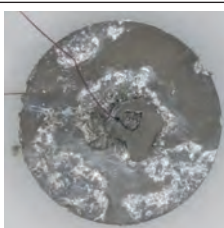
3.6. Corrosion resistance – electrochemical tests

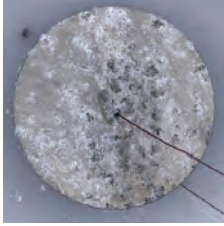
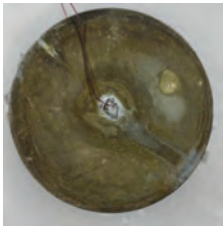
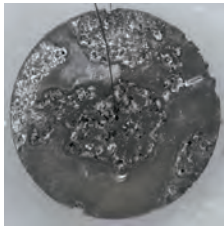

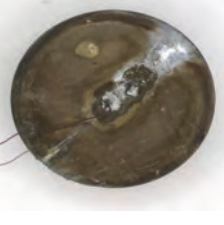

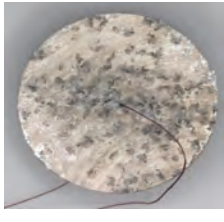


Table 4 presents a summary of the results obtained based on the performed potentiodynamic tests: the polarization resistance- R_p , the corrosion current density – j_{cor} , and the values of the E_{cor} vs. SCE.

Based on the results, it was found that in the case of measuring the polarization resistance using the Tafel method, the WC-Co coating has the highest value of $8445.3 \Omega \cdot \text{cm}^2$. However, the polarization resistance measured with the same method for the WC-Cr₃C₂-Ni coating is $428.3 \Omega \cdot \text{cm}^2$ (it is lower by 94.93%). The measurements of the corrosion current density (j_{cor}) showed that the lower the value of j_{cor} , the slower the corrosion process. The WC-Co coating is characterized by the lowest corrosion current density value of $3.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ and the lowest corrosion rate. For the WC-Cr₃C₂-Ni coating, the j_{cor} value is $33.8 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. The results of the measurements of the polarization resistance R_p and the corrosion current density are convergent and confirm the lower corrosion resistance of the WC-Cr₃C₂-Ni coating. Compared to the results obtained for both tested HVOF coatings, the sample of AZ91 magnesium alloy without a protective layer, is characterized by the lowest polarization resistance value ($15.9 \Omega \cdot \text{cm}^2$) and the highest corrosion current density ($1441.3 \mu\text{A}/\text{cm}^2$), which confirms the low corrosion resistance of the base material. The results of the polarization resistance and the corrosion current density for both samples obtained based on the Stern and Tafel methods are consistent. So it can be said that these coatings effectively protect AZ91 alloy against corrosion.

Based on the obtained test results, it was also found that the formation of HVOF coatings on the surface of the magnesium alloy causes a significant shift of the open circuit potential towards more positive values. Moreover, in the case of coatings applied with the HVOF meth-

Tabela 3. Przebieg korozji przed badaniem oraz wraz z upływem czasu ekspozycji w komorze solnej
 Table 3. Corrosion course before the test and with the lapse of exposure time in the salt spray chamber

Time of exposure of the sample in the salt chamber, h	AZ91	WC-Co	WC-Cr ₃ C ₂ -Ni
Initial state – 0			
1			
24			
48			
72			
96			
120			

Time of exposure of the sample in the salt chamber, h	AZ91	WC-Co	WC-Cr ₃ C ₂ -Ni
144			
168			
192			

duże istotne przesunięcie potencjału obwodu otwartego w kierunku bardziej dodatnich wartości. W wypadku powłok nanoszonych metodą HVOF występuje ponadto korelacja pomiędzy grubością powłoki a jej odpornością korozyjną. Zaobserwowano, że lepsze wyniki odporności na korozję uzyskano dla próbki o mniejszej grubości warstwy (w wypadku WC-Co wyniosła ona 124,5 μm , a dla WC-Cr₃C₂-Ni: 192,3 μm). Wraz ze wzrostem grubości warstwy ochronnej pojawiają się niedoskonałości powłoki, które prowadzą do obniżenia odporności korozyjnej [19]. Na podstawie wyników badań stwierdzono także, że bardziej złożony skład chemiczny powłoki (np. kombinacja dwóch lub większej liczby metali w składzie materiału powłokowego) ma istotny wpływ na tworzenie się ogniw korozyjnych, wynikających z różnicy potencjałów, co znacznie obniża jej odporność korozyjną.

Na rysunku 12 przedstawiono krzywe potencjodynamiczne otrzymane dla wszystkich próbek. Próbki z wytworzonymi powłokami WC-Co i WC-Cr₃C₂-Ni charakteryzują się wyższymi wartościami oporu polaryzacji oraz niższymi gęstościami prądu korozji, co świadczy o wzroście odporności korozyjnej w stosunku do stopu magnezu bez powłoki.

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że powłoki skutecznie chronią podłoże stopu magnezu przed korozją, zwłaszcza powłoka WC-Co.

4. Wnioski

Na podstawie wykonanych badań powłok WC-Co oraz WC-Cr₃C₂-Ni sformułowano następujące wnioski:

1. Mikrostruktura badanych powłok charakteryzuje się dużą gęstością oraz porowatością typową dla powłok natrykiwanych metodą HVOF. Oprócz porów występujących w powłokach zidentyfikowano również niewielkie pęknięcia oraz niestopione cząstki węglików osadzone w metalicznej osnowie.
2. Powłoki wytworzone metodą HVOF z użyciem cermetalowych proszków charakteryzują się kilkunastokrotnie większą mikrotwardością w porównaniu z materiałem podłoża AZ91, co wiąże się

od, there is a correlation between the thickness of the coating and its corrosion resistance. It was observed that better corrosion resistance results were obtained for the sample with a thinner layer thickness (in the case of WC-Co it was 124.5 μm , while WC-Cr₃C₂-Ni: 192.3 μm). With the increased thickness of the protective layer, coating imperfections appear, which leads to a reduction in corrosion resistance [19]. Based on the test results, it was also found that more complex chemical composition of the coating (e.g. a combination of two or more metals in the composition of the coating material) has a significant impact on the formation of corrosion cells resulting from the potential difference, which significantly reduces its corrosion resistance.

Figure 12 shows the potentiodynamic curves obtained for all the samples. The samples with the WC-Co and WC-Cr₃C₂-Ni coatings are characterized by higher polarization resistance values and lower corrosion current densities, which testifies about an increase in corrosion resistance in relation to the uncoated magnesium alloy.

Based on the obtained test results, it can be concluded that the coatings effectively protect the substrate of magnesium alloy against corrosion, especially the WC-Co coating.

4. Summary

Based on the tests of WC-Co and WC-Cr₃C₂-Ni coatings, the following conclusions were formulated:

1. The microstructure of the investigated coatings is characterized by high density and porosity typical for coatings sprayed with the HVOF method. In addition to the pores, small cracks and unmelted carbide particles embedded in a metallic matrix were also identified in the coatings.
2. Coatings produced by the HVOF method using cermet powders are characterized by several times greater microhardness than AZ91 base material, which means the possibility of extend-

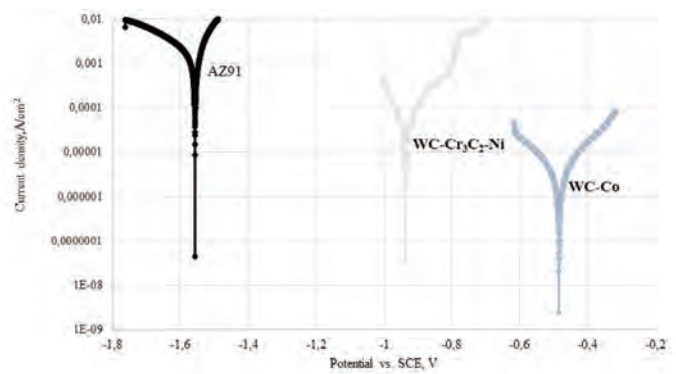
Tabela 4. Zestawienie wyników badań korozyjnych dla próbek AZ91, WC-Co i WC-Cr₃C₂-Ni

Table 4. Summary of corrosion test results for AZ91, WC-Co and WC-Cr₃C₂-Ni samples

Sample code	E _{cor} vs. SCE, V	Stern Method	Tafel Method	
		Resistance polarization R _p , Ω·cm ²	Resistance polarization R _p , Ω·cm ²	Corrosion current density j _{cor} , μA/cm ²
WC-Co	-0.48	5312.0	8445.3	3.3
WC-Cr ₃ C ₂ -Ni	-0.94	1313.5	428.3	33.8
AZ91	-1.56	18.3	15.9	1441.3

z możliwością zwiększenia zakresu jego stosowania w różnych dziedzinach przemysłu w wypadku natryskiwania powłok tą metodą.

3. Zarówno powłoka natryskiwana z proszku WC-Co, jak i powłoka z WC-Cr₃C₂-Ni poprawiają właściwości antykorozyjne stopu magnezu, jednak powłoka WC-Co skuteczniej chroni podłoże magnezowe przed korozją niż powłoka WC-Cr₃C₂-Ni. Oprócz poprawy odporności na zużycie ścierne stanowi to dodatkową zaletę tych powłok.



Rys. 12. Zestawienie otrzymanych krzywych potencjodynamicznych

Fig. 12. Summary of the obtained potentiodynamic curves

ing the scope of its application in various fields of industry in the case of spraying coatings with this method.

3. Both the WC-Co and WC-Cr₃C₂-Ni powder spray coatings improve the anti-corrosion properties of the magnesium alloy, however, the WC-Co coating protects the magnesium substrate against corrosion more effectively than the WC-Cr₃C₂-Ni coating. Besides the improvement of the abrasive wear resistance, it is the additional benefit of the coatings.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Klimpel A. 2000. *Napawanie i natryskiwanie cieplne*. Warszawa: WNT.
- [2] Agüero F., Camon J., Garcia de Blas J.C., del Hoyo R., Muelas A., Santaballa S., Valles P. 2011. "HVOF-Deposited WC/CoCr as Replacement for Hard Cr in Landing Gear Actuators". *Journal of Thermal Spray Technology* 20/6: 1292–1309.
- [3] Bang S.S., Park Y.C.L., Lee J.W., Hyun S.K., Kim T.B., Lee J.K., Han J.W., Jung T.K. 2018. "Effect of the Spray Distance on the Properties of High Velocity Oxygen-Fuel (HVOF) Sprayed WC-12Co Coatings". *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 18: 1931–1934.
- [4] Białobrzeski A., Czekał E., Heller M. 2002. „Właściwości korozyjne stopów aluminium i magnezu przetwarzanych technologią odlewania ciśnieniowego”. *Archiwum Odlewnictwa* 2/3: 294–312.
- [5] Bulnes G., Fuentes V.A., Cano I.G., Dosta S. 2020. "Understanding the Influence of High Velocity Thermal Spray Techniques on the Properties of Different Anti-Wear WC-Based Coatings". *Coatings* 10: 1157–1160.
- [6] da Silva F.S., Cinca N., Dosta S., Cano I.G., Couto M., Guilemany J.M., Benedetti A.V. 2018. "Corrosion Behavior of WC-Co Coatings Deposited by Cold Gas Spray onto AA 7075-T6". *Corrosion Science* 136: 231–243.
- [7] Dobrzański L. 2008. *Metaloznawstwo opisowe stopów metali nieżelaznych*. Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
- [8] Dziadoń A. 2012. *Magnez i jego stopy*. Kielce: Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej.
- [9] Eickhoff L.M., Pedrali P.C. 2021. "Study and Characterization of the Alloy WC-Co-Cr Deposited by HVOF". *Materials Today* 45/5: 4315–4320.
- [10] García-Rodríguez S., Torres B., López A.J., Otero E., Rams J. 2019. "Characterization and Mechanical Properties of Stainless Steel Coatings Deposited by HVOF on ZE41 Magnesium Alloy". *Surface and Coatings Technology* 359: 73–84.
- [11] Ghosh G., Sidpara A., Bandyopadhyay P.P. 2018. "High Efficiency Chemical Assisted Nanofinishing of HVOF Sprayed WC-Co Coating". *Surface and Coatings Technology* 334: 204–214.
- [12] Ghosh G., Sidpara A., Bandyopadhyay P.P. 2019. "Understanding the Role of Surface Roughness on the Tribological Performance and Corrosion Resistance of WC-Co Coating". *Surface and Coatings Technology* 398: 236–245.
- [13] Goyal A.K., Sapate S.G., Mehar S., Vashishtha N., Bagde P., Rathod A. 2019. "Tribological Properties of HVOF Sprayed WC-Cr₃C₂-Ni Coating". *Material Research Express* 6: 45–60.
- [14] <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/what-is-a-high-velocity-oxygen-fuel-coating> (dostęp: 13.12.2021).
- [15] Javed M.A., Ang A.S.M., Bhadra C.M., Piola R., Neil W.C., Berndt C.C., Leigh M., Howse H., Wade S.A. 2021. "Corrosion and Mechanical Performance of HVOF WC-based Coatings with Alloyed Nickel Binder for Use in Marine Hydraulic Applications". *Surface and Coatings Technology* 418: 857–870.
- [16] Jonda E., Łatka L., Tomiczek A., Godzierz M., Pakieła W., Nuckowski P. 2022. "Microstructure Investigation of WC-Based Coatings Prepared by HVOF onto AZ31 Substrate". *Materials* 15/40: 40–55.
- [17] Loukil N. 2021. "Alloying Elements of Magnesium Alloys: A Literature Review". <https://www.intechopen.com/chapters/75298> (dostęp: 13.12.2021).
- [18] Madej M., Ozimina M. 2011. „Właściwości powłok kompozytowych natryskiwanym nadzwyczajowo metodą HP/HVOF”. *Inżynieria Maszyn* 16/4: 52–74.
- [19] Murariu A.C., Plesu N., Perianu I., Tară-Lungă-Mihali N. 2017. "Investigations on Corrosion Behaviour of WC-Cr-Cr-Ni Coatings Deposited by HVOF Thermal Spraying Process". *International Journal of Electrochemical Science* 12: 1535–1549.
- [20] Niedzielska M., Chmielewski T. 2017. „Warunki natryskiwania HVOF powłoki Cr₃C₂-NiCr na stal 316L”. *Przegląd Spawalnictwa* 89/3: 46–50.
- [21] Ozbek Y.Y., Canikoğlu N., İpek M. 2017. "The Surface Properties of WC-Co-Cr Based Coatings Deposited by High Velocity Oxygen Fuel Spraying". *Acta Physica Polonica A* 131/1: 186–189.
- [22] Parco M., Zhao L., Zwick J., Bobzin K., Lugscheider E. 2006. "Investigation of HVOF Spraying on Magnesium Alloys". *Surface and Coatings Technology* 201/6: 3269–3274.
- [23] Piątkowski J., Binczyk F. 2002. „Właściwości i zastosowanie odlewniczych stopów Mg-Al”. *Archiwum Odlewnictwa* 2/4: 426–433.
- [24] Przybyłowicz K. 1999. *Metaloznawstwo*. Warszawa: WNT.
- [25] Somasundaram B., Patil V.G., Ramesh M.R., Kandaiah S., Jegadeeswaran N. 2022. "Microstructure Characteristics and Properties of WC-Cr-Cr-Ni HVOF Coating for Boiler Tube Steel". *Materials Today: Proceedings* 54: 366–371.
- [26] Song B., Murray J.W., Wellman R.G., Pala Z., Hussain T. 2020. "Dry Sliding Wear Behaviour of HVOF Thermal Sprayed WC-Co-Cr and WC-CrxCy-Ni Coatings". *Wear* 442: 203114.
- [27] Tokarski M. 1985. *Metaloznawstwo metali i stopów nieżelaznych w zarysie*. Katowice: Wydawnictwo Śląsk.
- [28] Wu M., Pan L., Duan H., Wan C., Yang T., Gao M., Yu S. 2019. "Study on Wear Resistance and Corrosion Resistance of HVOF Surface Coating Refabricate for Hydraulic Support Column". *Coatings* 11: 1457–1478.
- [29] www.euromag.pl/press_room (dostęp: 16.12.2021).
- [30] Xie J., Zhang J., You Z., Liu S., Guan K., Wu R., Wang J., Feng J. 1999. "Towards Developing Mg Alloys with Simultaneously Improved Strength and Corrosion Resistance via RE Alloying". *Journal of Magnesium and Alloys* 10/2020: 8–18.
- [31] Yuan J., Zhan Q., Huang J., Ding S., Li H. 2013. "Decarburization Mechanisms of WC-Co during Thermal Spraying: Insights from Controlled Carbon Loss and Microstructure Characterization". *Materials Chemistry and Physics* 142: 165–171.
- [32] Zhan S.-H., Cho T.-Y., Yoon J.-H., Li M.-X., Shum P.W., Kwon S.-C. 2009. "Investigation on Microstructure, Surface Properties and Anti-Wear Performance of HVOF Sprayed WC-Cr-Ni Coatings Modified by Laser Heat Treatment". *Material Science Engineering B* 162: 127–134.
- [33] Ziółkiewicz S. 2013. „Badania metalograficzne odlewniczego stopu magnezu AZ91 po współbieżnym wyciskaniu”. *Obróbka Plastyczna Metali* 24/2: 119–129.

Maszyna do czyszczenia strumieniowo-ściernego o ciągłym przepływie do przygotowania powierzchni do malowania

Połączony, zautomatyzowany system czyszczenia strumieniowo-ściernego poprawia jakość i obniża koszty

Kiedy polski producent złożonych stalowych elementów spawanych był gotowy do zainwestowania w nową maszynę do czyszczenia strumieniowo-ściernego, jakość, wydajność, długi czas sprawności sprzętu i integracja z procesem produkcyjnym były najważniejszymi kryteriami wyboru. Jako istotna część operacji obróbki wstępnej dla linii malowania katodowego nowy system czyszczenia strumieniowo-ściernego musiał zapewnić optymalne wyniki przygotowania powierzchni w ramach powiązanego przepływu pracy w systemie trzymianowym. W firmie zdecydowano się na wybór maszyny do czyszczenia strumieniowo-ściernego z ciągłym podawaniem materiału Rösler RHBD 17/32-K ze względu na jej odporną na zużycie konstrukcję i niskie koszty eksploatacji.



Maszyna do czyszczenia strumieniowo-ściernego, zaprojektowana do w pełni automatycznego czyszczenia szerokiego spektrum trójwymiarowych stalowych elementów spawanych, daje absolutnie powtarzalne rezultaty. Inne cechy to: odporna na zużycie konstrukcja, długi czas sprawności i niskie koszty eksploatacji.

Zdjęcie: Rösler Oberflächentechnik GmbH

Specjalnością firmy Stelweld sp. z o.o. jest produkcja skomplikowanych stalowych wyrobów spawanych, obejmująca obróbkę skrawaniem, cięcie laserowe i CNC, gięcie oraz malowanie na mokro i proszkowe. Dzięki przyjętej filozofii rynkowej firma, założona w 1997 roku, stała się kluczowym dostawcą w tak różnych gałęziach przemysłu, jak: przemysł samochodowy, rolniczy i budowlany, produkcja dźwigów, w tym wszelkiego rodzaju urządzeń dźwigowych, a także w branży energii odnawialnej i transportu kolejowego. Firma Stelweld sprzedaje swoje produkty m.in. takim firmom, jak Scania, Volvo, Bombardier czy Cargotec.

W 2019 roku wybudowano nowy budynek, w którym znalazło się miejsce dla nowej, w pełni zautomatyzowanej linii malowania katodowego (KTL) z 16 stanowiskami operacyjnymi oraz systemem zasilania i transportu swobodnego. Danuta Dobrzyńska, project manager w firmie Stelweld, komentuje: „W ramach tej rozbudowy chcieliśmy również zautomatyzować operację oczyszczania strumieniowo-ściernego i zintegrować ją z linią lakierniczą. Do tej pory proces przygotowywania lakieru odbywał się w przeważającej mierze ręcznie”.

Solidna konstrukcja urządzeń i przekonujące wyniki testów

Wysoka wydajność, doskonałe rezultaty oczyszczania strumieniowo-ściernego, znakomity czas sprawności urządzeń i wysoka efektywność kosztowa były innymi istotnymi kryteriami wyboru.

Spośród pięciu producentów urządzeń do obróbki strumieniowo-ściernej, którzy byli brani pod uwagę jako potencjalni dostawcy, klient wybrał firmę Rösler z jej oczyszczarką strumieniowo-ścierną z podawaniem ciągłym RHBD 17/32-K. „Firma Rösler była mi znana dzięki projektowi, którym się zajmowałam, pracując dla innej firmy. Rösler nie oferuje najniższej ceny. Jeśli jednak chodzi o jakość i właściwości techniczne, oferta tego dostawcy jest bardzo korzystna. Inaczej niż w wypadku konkurencyjnych produktów wszystkie istotne komponenty maszyny do czyszczenia strumieniowo-ściernego firmy Rösler są wykonane z materiałów odpornych na zużycie, na przykład łopatki turbin są wykonane z kutej stali narzędziowej” – wyjaśnia Danuta Dobrzyńska, uzasadniając podjęcie decyzji o zakupie maszyny firmy Rösler. „Kolejnym czynnikiem, który wzięliśmy pod uwagę, podejmując decyzję, były wyniki prób obróbki strumieniowo-ściernej, które zostały przeprowadzone na niektórych z naszych oryginalnych komponentów. W Centrum Doświadczeń Klienta w Rösler osiągnęliśmy doskonałe wyniki obróbki strumieniowo-ściernej, które dostarczyły nam cennych wskazówek odnośnie do naszego rzeczywistego procesu śrutowania”.

Cechy techniczne, które zapewniają doskonałe wyniki, wyjątkową wydajność i długi czas sprawności

Oczyszczarka strumieniowo-ścierna RHBD 17/32-K z ciągłym posuwem umożliwia czyszczenie strumieniowo-ściernie szerokiego

spektrum trójwymiarowych elementów spawanych o wymiarach do 2500 × 1200 × 3000 mm (dł. × szer. × wys.) i masie maks. 1250 kg. Przy czasach cyklu wynoszących od 6 do 8 minut automatyczny proces czyszczenia strumieniowo-ściernego daje jakość wykończenia SA 2,5 na całej powierzchni stalowych elementów spawanych i wartości chropowatości powierzchni, które w pełni odpowiadają standardom ustalonym przez firmę Stelweld i jej klientów. Zapewnia to doskonałą przyczepność farby na obrabianych elementach. Aby można było osiągnąć takie rezultaty, maszynę do czyszczenia strumieniowo-ściernego wyposażono w 16 turbin Gamma 400G, każdą o mocy napędowej 15 kW. Te wysokowydajne turbiny, opracowane przez firmę Rösler, zaopatrzone w łopatkę wyrzutową w układzie „Y”. W porównaniu z konwencjonalnymi turbinami specjalna geometria łopatek o precyzyjnie obliczonej krzywiznie pozwala uzyskać bardzo wysoką prędkość wyrzutu przy jednoczesnym niższym zużyciu energii. Dzięki temu uzyskuje się do 20% wyższą wydajność obróbki strumieniowo-ścierniej. Ze względu na symetryczną konstrukcję możliwe jest ponadto używanie obu stron łopatek, co pozwala na dwukrotne wydłużenie ich żywotności. Dzięki specjalnemu systemowi szybkiej wymiany łopatek może się ona odbywać bez konieczności demontażu turbiny. Rozmieszczenie turbin (pozycja i kąt) zostało określone za pomocą specjalnej symulacji procesu obróbki strumieniowo-ścierniej. Silnie skoncentrowany strumień ścierniwa przyczynia się również do wysokiej wydajności procesu obróbki strumieniowo-ścierniej. W celu dostosowania przepustowości ścierniwa do 200 kg/min do geometrii elementów stalowych firma Stelweld stosuje trzy różne programy obróbki strumieniowo-ścierniej. Prędkość obrotowa turbin jest regulowana za pomocą falowników. Pozwala to na precyzyjne sterowanie energią uderzenia ścierniwa na powierzchni obrabianego elementu.

W celu zapewnienia optymalnej ochrony przed zużyciem, a tym samym długiej żywotności urządzenia, krytyczne części komory wlotowej i wylotowej wykonane są ze stali manganowej o grubości 6 mm. Z tego samego materiału, tylko o grubości 8 mm, wykonana jest komora wyrzutowa. Jest ona ponadto chroniona przez łatwe do wymiany zachodzące na siebie płyty ściernalne wykonane z wysoko wytrzymałych materiałów. Stabilne gumowe kurtyny w komorze wlotowej i wylotowej, jak również ochrona szczelin za pomocą wielu gumowych uszczelek i szczotek zapobiegają przedostawaniu się ścierniwa do najbliższego otoczenia. „Turbiny, cała konstrukcja urządzeń i zastosowane materiały gwarantują dyspozycyjność. Zapewnia to bezpieczną, bezproblemową i energooszczędną eksploatację” – podsumowuje project manager.

W pełni automatyczne, zintegrowane działanie zapewnia powtarzalną, wysoką jakość

System zasilania i swobodnego transportu przenosi stalowe elementy spawalne, zawierające kod QR służący do automatycznego wyboru odpowiedniego programu obróbki strumieniowo-ścierniej, do maszyny do obróbki strumieniowo-ścierniej. Gdy tylko wózek

z jednym elementem wjedzie do komory wlotowej, dwuskrzydłowe drzwi zamykają się, a turbiny, system powrotu ścierniwa i odpylacz uruchamiają się automatycznie. Podczas procesu obróbki strumieniowo-ścierniej obrabiany przedmiot przechodzi przez komorę z określoną prędkością, a 16 turbin wyrzutowych zapewnia intensywne oczyszczanie wszystkich obszarów obrabianego przedmiotu z wysoce powtarzalnymi rezultatami obróbki strumieniowo-ścierniej. Dzięki dwóm pojemnikom zrzutowym umieszczonym w kanale łączącym maszynę do obróbki strumieniowo-ścierniej z odpylaczem powstający pył jest usuwany z komory wyrzutowej, podczas gdy ścierniwo nadające się do ponownego użycia jest zwracane do maszyny do obróbki strumieniowo-ścierniej.

Maszyna do obróbki strumieniowo-ścierniej jest dostępna za komorą wylotową. Pozwala to na ręczne usuwanie resztek ścierniwa z elementów spawanych, szczególnie tych o kształcie półkuli. Ślimak w dnie zawraca usunięte ścierniwo do systemu recyklingu i czyszczenia ścierniwa składającego się z dwóch kaskadowych separatorów powietrzno-płuczkowych. Następnie detale oczyszczone przez obróbkę strumieniowo-ścierną są transportowane na linię lakierniczą KTL.

Danuta Dobrzyńska podsumowuje: „Nowa maszyna do obróbki strumieniowo-ścierniej pozwala na osiągnięcie znacznie lepszych i bardziej spójnych wyników czyszczenia w znacznie krótszym cyklu czasowym, niż było to możliwe podczas ręcznej operacji śrutowania. Pozwala nam to angażować nasz wykwalifikowany personel do bardziej produktywnej pracy, co przyczynia się do tworzenia większej wartości dodanej. Dzięki oszczędnościom wynikającym z redukcji zużycia energii i innych kosztów operacyjnych cały proces czyszczenia strumieniowo-ściernego stał się znacznie bardziej ekonomiczny”.

Od ponad 80 lat prywatna firma Rösler Oberflächentechnik GmbH specjalizuje się w dziedzinie przygotowania i wykańczania powierzchni. Jako światowy lider na globalnym rynku dysponujemy szeroką ofertą urządzeń, materiałów eksploatacyjnych i usług w zakresie technologii masowej obróbki wykańczającej i śrutowania, skierowaną do odbiorców z różnych branż przemysłowych. Mamy do zaproponowania około 15 000 materiałów eksploatacyjnych, opracowanych w centrach testowych na całym świecie, co umożliwi naszym klientom wybranie rozwiązania dopasowanego do ich indywidualnych potrzeb w zakresie obróbki wykańczającej. Pod marką AM Solutions oferujemy liczne rozwiązania sprzętowe oraz usługi w zakresie wytwarzania przyrostowego i druku 3D. Wreszcie, co nie mniej ważne, nasz centralny ośrodek szkoleniowy Akademia Röslera organizuje praktyczne seminaria z zakresu masowej obróbki wykańczającej i śrutowania oraz szcuplego zarządzania i wytwarzania przyrostowego. Oprócz niemieckich zakładów produkcyjnych w Untermerzbach-Memmelsdorf i Bad Staffelstein-Hausen grupa Rösler posiada globalną sieć 15 oddziałów produkcyjnych i sprzedażowych oraz 150 przedstawicielstw handlowych. Więcej informacji można znaleźć na stronie: www.rosler.com



We protect and
beautify the world™

Łatwo dostępne

ul. Łużycka 8A
81-537 Gdynia
tel. 58 774 99 00
fax 58 774 99 01
customers@ppg.com



Sieć Badawcza Łukasiewicz

Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników – działalność naukowo-badawcza Centrum Farb i Tworzyw w Gliwicach

Sieć Badawcza Łukasiewicz – IMPiB Centrum Farb i Tworzyw w Gliwicach dysponuje w pełni wyposażonymi i dostosowanymi do prac badawczo-naukowych pomieszczeniami laboratoryjnymi. Działalność Oddziału obejmuje szeroko pojętą dziedzinę wyrobów lakierowych: od badań farb, powłok i tworzyw polimerowych po opracowywanie specjalistycznych technologii z wykorzystaniem nowoczesnych materiałów polimerowych, pigmentów i środków pomocniczych. W skład Centrum wchodzi dwa laboratoria akredytowane: **Laboratorium Badawcze Wyrobów Lakierowych** i **Laboratorium Badawcze Tworzyw Polimerowych** oraz **Grupa Badawcza Farb i Tworzyw**. Laboratoria akredytowane od 1998 r. posiadają akredytację wydaną przez Polskie Centrum Badań i Certyfikacji, a od roku 2001 – przez Polskie Centrum Akredytacji na podstawie normy PN-EN ISO/IEC 17025:2018-02 dotyczącej kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących (certyfikat akredytacji nr AB 163).

Laboratorium Badawcze Wyrobów Lakierowych oferuje usługi w zakresie:

- badań właściwości ciekłych wyrobów lakierowych,
- badań właściwości fizykomechanicznych powłok lakierowych,
- oznaczania zawartości lotnych związków organicznych (VOC) w wyrobach lakierowych (zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Rozwoju z dnia 8 sierpnia 2016 r., Dz. U. poz. 1353) metodą chromatografii gazowej i metodą różnicową,
- oznaczania składu jakościowego i ilościowego rozpuszczalników metodą chromatografii gazowej (GC),
- przyspieszonych badań starzeniowych powłok lakierowych i tworzyw polimerowych w aparatach z lampami fluorescencyjnymi i ksenonowymi,
- badań odporności powłok lakierowych i cynkowych na działanie rozpylonej obojętnej mgły solnej wg PN-EN ISO 9227:2017-06 (test NSS),
- badań odporności powłok na wilgoć wg PN-EN ISO 6270-1:2018-02 i PN-EN ISO 6270-2:2018-02,
- badań właściwości systemów powłokowych do ochrony przed korozją konstrukcji stalowych wg PN-EN ISO 12944-6:2018-03 w celu potwierdzenia kategorii korozyjności,
- badań migracji globalnej wyrobów z tworzyw sztucznych do płynów modelowych metodą całkowitego zanurzenia,
- badań identyfikacyjnych metodą spektrofotometrii w podczerwieni (FTIR),
- badań według wybranych norm automotive.

Kierownikiem Laboratorium Badawczego Wyrobów Lakierowych jest mgr inż. Grażyna Kamińska-Bach.

E-mail: grazyna.kaminska-bach@impib.lukasiewicz.gov.pl

Pracownicy drugiego laboratorium akredytowanego – **Laboratorium Badawczego Tworzyw Polimerowych** – zajmują się:

- badaniami właściwości wytrzymałościowych wyrobów z tworzyw polimerowych oraz rur, armatury i kształtek z tworzyw, również w podwyższonej lub obniżonej temperaturze,
- badaniami właściwości termicznych polimerów z wykorzystaniem technik różnicowej kalorymetrii skaningowej (DSC) i termogravimetrii (TGA),
- oznaczaniem temperatury mięknięcia Vicata (VTS),
- oznaczaniem temperatury ugięcia pod obciążeniem (HDT),
- oznaczaniem masowego i objętościowego wskaźnika szybkości płynięcia (MFR i MVR),
- badaniami ciśnieniowymi i hydraulicznymi systemów przewodów rurowych,
- badaniami współczynnika pełzania rur termoplastycznych i wzmacnianych włóknem szklanym (GRP),
- badaniami właściwości lepkością polimerów dynamiczno-mechanicznym analizatorem termicznym (DMA),
- badaniami tworzyw spienionych, geomembran i geotekstylii,
- badaniami pełzania tworzyw polimerowych, w tym również spienionych,
- sprawdzaniem bezpiecznego zamknięcia opakowań,
- analizą gazowych produktów spalania podczas testów palności wykonywanych na kalorymetrze stożkowym za pomocą analizatora FTIR,
- badaniami palności tworzyw polimerowych,
- badaniami właściwości elektrycznych,
- oceną odporności na działanie związków chemicznych oraz zmiennych warunków środowiskowych.

Kierownikiem Laboratorium Badawczego Tworzyw Polimerowych jest dr inż. Błażej Chmielnicki.

E-mail: blazej.chmielnicki@impib.lukasiewicz.gov.pl

W **Grupie Badawczej Farb i Tworzyw** prowadzone są prace nad zastosowaniem różnego rodzaju surowców w gotowych wyrobach lakierowych (pigmentów, wypełniaczy, materiałów z recyklingu), nad optymalizacją składu recepturowego farb oraz opracowywaniem wyrobów lakierowych o specjalistycznych właściwościach, w tym: farb o dużym współczynniku odbicia promieniowania słonecznego, których powłoki obniżają temperaturę nagrzewania się powierzchni, farb o właściwościach antybakteryjnych i samoczyszczących, farb ogniochronnych, w tym pęczniejących. Opracowywane wyroby lakierowe nadają się na różnego rodzaju podłoża, takie jak: stal, aluminium, cynk, drewno i materiały drewnopochodne, szkło i tworzywa polimerowe.



Komora z lampami fluorescencyjnymi do badania odporności powłok na UV



Aparat do pomiaru barwy

Nadto prowadzi się badania właściwości powłok w zależności od środowiska i składu wyrobów lakierowych oraz opracowuje technologie zabezpieczeń przeciwkorozyjnych obiektów eksploatowanych w różnych środowiskach.

W ofercie znajdują się:

- opracowania: nowych technologii wyrobów lakierowych na różne podłoża (metal, drewno, tworzywa sztuczne, podłoża mineralne) do konkretnych zastosowań, technologii zabezpieczeń przed korozją oraz renowacji powłok, a także innowacyjnych technologii przyjaznych dla środowiska,
- badania: właściwości surowców do syntezy spoiw i wyrobów lakierowych, właściwości pigmentów, wypełniaczy, środków pomocniczych, rozpuszczalników organicznych, właściwości wyrobów lakierowych w stanie ciekłym, właściwości fizyko mechanicznych powłok lakierowych, właściwości optycznych powłok lakierowych – barwy, różnic barwy w porównaniu do wzorca, wyznaczenie całkowitego współczynnika odbicia promieniowania słonecznego, właściwości antykorozyjnych systemów powłokowych, właściwości farb i tynków stosowanych w budownictwie, odporności powłok na działanie przyspieszonych i naturalnych warunków atmosferycznych,
- wdrożenia: technologii proekologicznych wyrobów lakierowych w miejsce dotychczasowych, nowych surowców do produkcji wyrobów lakierowych,
- ekspertyzy stanu powłok lakierowych na różnych obiektach,
- gotowe specjalistyczne wyroby lakierowe na zamówienie indywidualnych odbiorców według własnych opracowań oraz według receptur dostarczonych przez Klienta,
- opinie o innowacyjności technologii,
- doradztwo techniczne w zakresie opracowania technologii produkcji wyrobów lakierowych, doboru i stosowania zabezpieczeń antykorozyjnych,
- realizacje we współpracy z przedsiębiorcami prac badawczo-rozwojowych w ramach projektów współfinansowanych ze środków krajowych, unijnych i zagranicznych.

Liderem Grupy Badawczej Farb i Tworzyw jest dr inż. Ewa Langer.

E-mail: ewa.langer@impib.lukasiewicz.gov.pl

Wyposażenie techniczne laboratoriów badawczych Łukasiewicz – IMPiB w Gliwicach pozwala na prowadzenie badań różnych materiałów polimerowych, wypełniaczy mineralnych i naturalnych, środków pomocniczych, powłok antykorozyjnych, wyrobów z tworzyw (polimerów, dodatków modyfikujących, napelniaczy, kompozytów, folii, rur, kształtek i profili) oraz wyrobów lakierowych (w tym: surowców, pigmentów, wypełniaczy do produkcji farb i lakierów, powłok). Aparatura i urządzenia umożliwiają badania właściwości odpornościowych i mechanicznych powłok polimerowych, w tym narażonych na różnego rodzaju czynniki: korozyjne, chemiczne, UV.

Nasi pracownicy mają doświadczenie w:

- opracowywaniu wyrobów lakierowych do różnych zastosowań,
- opracowywaniu technologii zabezpieczeń różnych obiektów eksploatowanych w różnorodnych środowiskach,
- stosowaniu różnych metod badawczych i interpretacji wyników badań,
- kierowaniu projektami badawczymi.

Sieć Badawcza Łukasiewicz to trzecia pod względem wielkości sieć badawcza w Europie. Dostarcza atrakcyjne, kompletne i konkurencyjne rozwiązania technologiczne. Oferuje biznesowi unikatowy system „rzucania wyzwania”, dzięki któremu grupa 4500 naukowców w nie więcej niż 15 dni roboczych przyjmuje wyzwanie biznesowe i proponuje opracowanie skutecznego rozwiązania. Przedsiębiorca nie ponosi żadnych kosztów związanych z opracowaniem pomysłu na prace badawcze, może zdecydować się na kontakt nie tylko przez formularz na stronie <https://lukasiewicz.gov.pl/biznes/>, ale także w ponad 50 lokalizacjach: Instytutach Łukasiewicza i ich oddziałach w całej Polsce.

Zobacz także:

<https://lukasiewicz.gov.pl/lukasiewicz-w-liczbach/>

<https://lukasiewicz.gov.pl/o-nas/grupy-badawcze/>



PRENUMERATA

2022

Sprawdź
PAKIET!

www.ochronaprzekorozyja.pl

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT 

Dodatkowe informacje na stronie www.sigma-not.pl
Kontakt: tel.: 22 840-35-89 prenumerata@sigma-not.pl



Linie Technologiczne



ŚRUTOWANIE

- Pneumatyczne
- Wirnikowe
- Zrobotyzowane



MYCIE

- Ręczne
- Automatyczne



PROCESY SPECJALNE

- Metalizacja
- Powłoki ceramiczne
- Robotyzacja

LAKIEROWANIE CIEKŁE

- Ręczne
- Automatyczne
- Zrobotyzowane

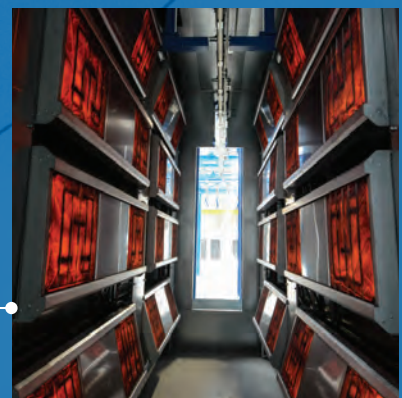


LAKIEROWANIE PROSZKOWE

- Ręczne
- Automatyczne
- Zrobotyzowane

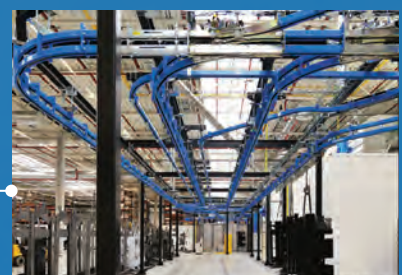
SUSZENIE I POLIMERYZACJA

- Infrared (IR)
- Konwekcyjne



TRANSPORT TECHNOLOGICZNY

- Ręczny
- Automacyjny

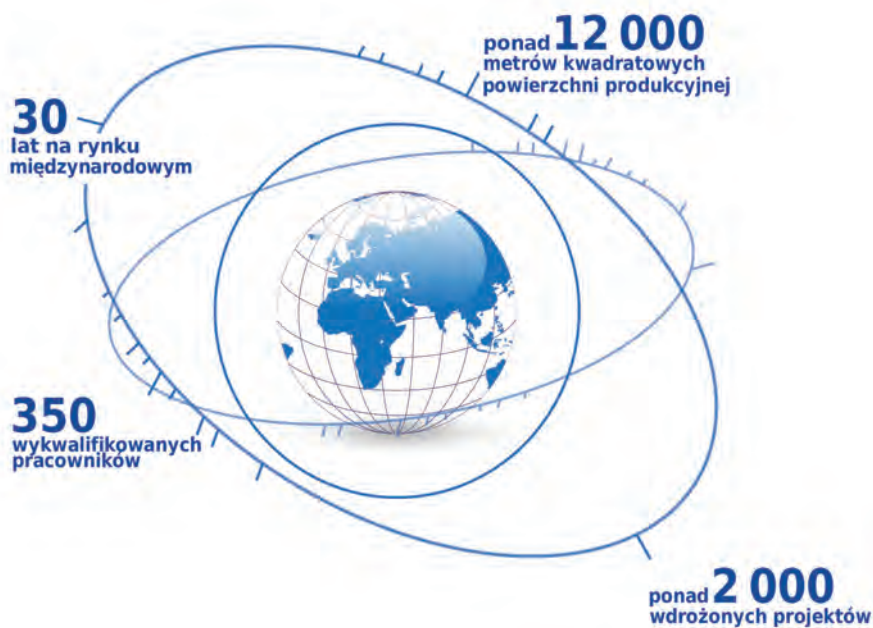




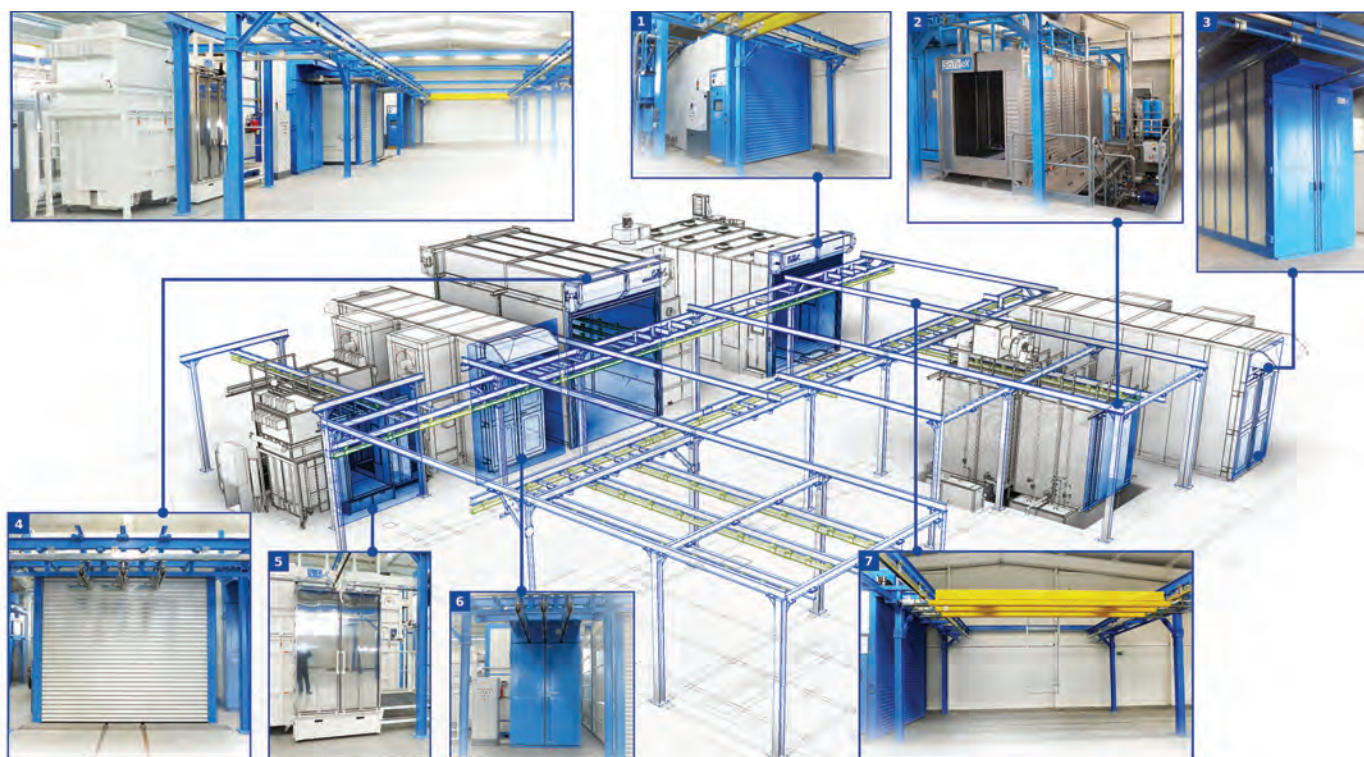
KOMPLEKSOWE REALIZACJE LINII LAKIERNICZYCH OD JEDNEGO PRODUCENTA

RUBICOAT® – modułowe rozwiązanie

Spółka SciTeeX, założona w 1992 roku jako mała firma inżynierska, stała się uznanym na świecie specjalistą budowy maszyn i wiodącym dostawcą rozwiązań w zakresie obróbki powierzchni w różnych dziedzinach przemysłu, takich jak konstrukcje stalowe, energetyka, transport, górnictwo, produkcja maszyn, przemysł chemiczny, czy obronny. Posiadając 30-letnie doświadczenie w budowie maszyn inżynierowie firmy opracowali nowoczesne modułowe rozwiązanie kompaktowych linii do obróbki powierzchni RUBICOAT®.



SciTeeX • www.sciteex.com



Koncepcja RUBICOAT®: 1. Komora śrutownicza CABILUX. 2. Myjka natryskowa AZUR. 3. Suszarka po myciu OVERSATIL. 4. Kabino-suszarka lakiernicza VENUS. 5. Kabina do malowania proszkowego POWDERCOMPACT. 6. Piec do polimeryzacji OVERSATIL. 7. Transborder górny obsługiwany ręcznie.

To, co czyni SciTeeX wyjątkowym, to szeroki zakres maszyn zaprojektowanych i wyprodukowanych w jednej firmie, w jednej fabryce, obejmujący maszyny do obróbki strumieniowo-ściernej (komory śrutownicze, oczyszczarki wirnikowe), maszyny do wstępnej obróbki chemicznej (kabiny odtłuszczające, myjki wielostopniowe, powłoki konwersyjne), maszyny do natryskiwania cieplnego (łukowego, płomieniowego) oraz linie do malowania organicznego (farby proszkowe i ciekłe).

Nieustanny rozwój firmy SciTeeX zaowocował oddaniem do użytku w 2019 r. hali Experience Center. Umożliwia ona ekspozycję i prezentację działania wielu produkowanych maszyn oraz optymalny dobór rozwiązań zgodnych z potrzebami klienta.

Experience Center to:

- ok. 800 mkw. powierzchni demonstracyjnej,
- prezentacja procesów i typoszeregu maszyn,
- odpowiednio wyposażone multimedialne sale konferencyjne,
- szkolenia pod okiem doświadczonych trenerów,
- laboratorium powłok i szkolenia praktyczne.

Kompaktowe linie niczym kostka Rubika

Ciągły rozwój konstrukcji pozwolił na ewolucję urządzeń w sposób zapewniający zdolność konfigurowania linii do obróbki powierzchni w zależności od potrzeb i możliwości lokalowych klientów.





Linia do malowania proszkowego według koncepcji RUBICOAT®

Dzięki tej konfigurowalności i modułowości linia otrzymała nazwę RUBICOAT®, gdyż proces wzajemnego zestawiania urządzeń przypomina układanie kostki Rubika, stanowiące jedno ze źródeł inspiracji dla inżynierów SciTeeX.

Jedną z najważniejszych cech linii RUBICOAT® jest możliwość zintegrowania komory śrutowniczej, czy oczyszczarki wirnikowej z systemem transportu malarni w taki sposób, aby stanowiły jedną funkcjonalną całość.

Najważniejsze cechy RUBICOAT®

- oszczędność miejsca w hali – linia technologiczna zajmuje małą powierzchnię;
- możliwe wykonanie bezfundamentowe całej linii;
- integracja różnych procesów technologicznych: mechaniczne i chemiczne przygotowanie powierzchni, malowanie ciekłe i prosz-



- kowe, natryskiwanie ciepłe metali;
- różne gabaryty obrabianych elementów: od małych detali po wielkogabarytowe, które dla SciTeeXu nie stanowią wyzwania;
- pełna i bezproblemowa integracja z pneumatycznymi komorami śrutowniczymi i oczyszczarkami wirnikowymi poprzez realizację całej linii technologicznej przez jednego producenta;
- możliwość skonfigurowania maszyn w zależności od indywidualnych wymagań dotyczących optymalizacji zastosowanych technologii i procesów;
- dowolność ustawienia maszyn względem siebie w zależności od lokalizacji w hali i kierunku przepływu detali przez linię technologiczną;
- zaawansowane systemy automatyki integrujące poszczególne maszyny i procesy w jedną całość;
- możliwość integracji z lokalnym systemem informatycznym klasy ERP.



Linia do malowania proszkowego według koncepcji RUBICOAT®

Moduły konfiguracji RUBICOAT®:

- komory śrutownicze pneumatyczne ręczne i zrobotyzowane,
- automatyczne oczyszczarki wirnikowe,
- myjki natryskowe ręczne i automatyczne,
- kabino-suszarki lakiernicze do farb ciekłych z wentylacją pionową i wentylacją poziomą,
- kabiny proszkowe ręczne i zautomatyzowane,
- piece i suszarki z grzaniem bezpośrednim i pośrednim,
- transport technologiczny dostosowany do potrzeb konkretnej linii,
- wyposażenie towarzyszące: urządzenia do metalizacji, urządzenia kontrolno-pomiarowe, wyposażenia laboratorium badania powłok, stacja wody demi, oczyszczalnia ścieków, sprężarki powietrza.



Możliwe funkcje systemów sterowania maszyn:

- Smart Start – system przynoszący oszczędności w zakresie zużycia energii elektrycznej. W przypadku zaobserwowania chwilowej przerwy w użytkowaniu maszyna przechodzi w tryb oczekiwania, w którym np. zmniejszana jest wydajność wentylacji;
- Multicolor – funkcja, którą implementujemy w piecach do polimeryzacji. Włączenie tego trybu pracy umożliwia jednoczesną polimeryzację detali w różnych kolorach;
- Fuel Consumption Monitoring – możliwość ciągłego monitorowania zużycia paliwa (gazu, oleju opałowego);
- Tracking – nowatorskie rozwiązanie umożliwiające śledzenie detali w liniach z przenośnikiem krzyżowym;
- integracja systemu sterowania malarnią z lokalnym systemem informatycznym klasy ERP klienta realizowana w ramach koncepcji PRZEMYSŁ 4.0.

Filozofia RUBICOAT® oparta jest na dowolnej konfiguracji maszyn. Trzeba również podkreślić, że RUBICOAT® to przede wszystkim wyspecjalizowane maszyny, bardzo kompaktowe i zwarte, zawierające dużo innowacyjnych i zaawansowanych rozwiązań, które tę konfigurację umożliwiają.

Kompleksowa realizacja przez SciTeeX – obejmująca dostawę nie tylko wybranych maszyn procesowych, projektowanych i dostarczanych przez jednego producenta – ale też wyposażenie dodatkowe, jak: stacje wody demi, stacje obróbki ścieków, urządzenia aplikacji materiałów malarskich, sprzęt kontrolno-pomiarowy, sprężarki powietrza, pozwala klientom na pełne wykorzystanie atutów optymalizacji zapewniając jednocześnie maksymalizację efektywności funkcjonowania przedsiębiorstwa.

Dzięki silnemu zespołowi profesjonalistów, SciTeeX wspiera swoich klientów w zakresie doradztwa i doboru maszyn.



Linia do malowania ciekłego zakończona suszarką Infrared (IR)

Certyfikowane szkolenia

SciTeeX, wraz z SLV-GSI Polska Sp. z o.o. oraz SLV Duisburg, uruchamia szkolenia (teoretyczne i praktyczne) połączone z kwalifikacją personelu dla procesów: malowania (farby ciekłe i proszkowe), śrutowania, metalizacji. Kilkudniowe warsztaty, prowadzone pod okiem doświadczonych trenerów w Experience Center w fabryce SciTeeX, zakończą się egzaminem i wydaniem certyfikatu przez SLV Duisburg (uznana przez FROSIO jednostka szkoleniowa).

Prestiżowy Kongres organizowany przez SITPChem

PATRONAT PRASOWY: ochrona przed korozją

12–14 July 2022

Krakow, Poland



ETCC 2022
EUROPEAN TECHNICAL COATINGS CONGRESS

Coatings
Inspirations

Since 1950

www.etcc2022.org

ETCC2022 European Technical Coatings Congress 12–14 lipca 2022 w Krakowie

Prezentacje dotyczą najnowszych osiągnięć naukowych i technicznych w zakresie następujących obszarów tematycznych:

• Farby • Lakier • Surowce • Kleje • Materiały budowlane • Materiały związane • Technologie i innowacje

Ten prestiżowy kongres organizowany jest od 70 lat, teraz po raz pierwszy w Polsce.

Tu są Innowacje!

Wymierne korzyści:

- **Sześć równoległych sesji z referatami.**

Prezentacje posterów.

Program Kongresu ETCC2022:

www.etcc2022.org/en/congress/congress-program

- **Sesje plenarne.**

Keynote speakers:

www.etcc2022.org/en/congress/speakers

- **Wystawa. Prezentacje osiągnięć naukowych, technicznych, produktów, urzędzeń, usług.**

Rejestracja przez:

www.etcc2022.org/en/congress/exhibition

- **Sesja „Summer School”**

Program w:

www.etcc2022.org/en/congress/summer-school

Szczegóły na stronie kongresu:

www.etcc2022.org

W razie pytań prosimy o kontakt:

- etcc2022@sitpchem.org.pl
- koziel.jozef@gmail.com

Jesteśmy w mediach społecznościowych:



UDZIAŁ W KONGRESIE

Rejestracja:

www.etcc2022.org/en/registration

PUBLIKACJE wystąpień w czasopismach fachowych, szczegóły:

www.etcc2022.org/en/congress/publication-in-journals

Nagrody po 1000 euro

przyznawane w kategoriach:

- Najlepszy referat
- Najlepszy referat młodego naukowca (w wieku do 35 lat)
- Najlepszy referat o tematyce ekologicznej
- Inne nagrody i wyróżnienia

X KONGRES TECHNOLOGII CHEMICZNEJ 2022

PATRONAT PRASOWY: **ochrona przed korozją**

Katedra Zaawansowanych Technologii Materiałowych

11 - 14.05.2022

X KONGRES TECHNOLOGII CHEMICZNEJ 2022 POLITECHNIKA WROCLAWSKA

www.techem10.pwr.edu.pl

X KONGRES W NOWEJ ODSŁONIE

NEW

Otwarte laboratoria
Wydziału Chemicznego

Meeting room
Science&Business

Inkubator innowacji

Spotkania B2B
Inkubator projektów

Debaty

REFERATY USTNE I SESJE PLAKATOWE W 5 SEKCJACH

Technologie produktów specjalistycznych

Technologie produktów podstawowych

Technologie dla gospodarki o obiegu zamkniętym

Plenarna

Biotechnologie



Aplikacja **TeChem10**
na smartfony

Politechnika Wroclawska ma zaszczyt zaprosić Państwa do udziału w 10. Jubileuszowym Kongresie Technologii Chemicznej TECEM 2022 (www.techem10.pwr.edu.pl), który odbędzie się w dniach 11–14 maja 2022 r. we Wrocławiu w Centrum Kongresowym na terenie Politechniki Wroclawskiej.

Doceniając rolę Kongresu w integracji środowiska naukowego z otoczeniem społeczno-biznesowym, chcielibyśmy, aby był miejscem dyskusji naukowych i uzgodnień kooperacyjnych, ułatwiającym nawiązywanie współpracy oraz wymianę informacji pomiędzy nauką a biznesem. Formuła Kongresu umożliwi prezentację osiągnięć naukowych i ich zastosowań praktycznych odbiorcom z sektora akademickiego i gospodarczego, jednocześnie jest okazją do prezentacji firm branży chemicznej. Omawiana tematyka będzie dotyczyła pozyskiwania surowców, wytwarzania produktów podstawowych, wytwarzania produktów specjalistycznych, nowych technologii, biotechnologii przemysłowej.

Planowane są wykłady plenarne, a także prezentacje ustne i sesje plakatowe w pięciu sekcjach, takich jak:

PLENARNA

TECHNOLOGIE PRODUKTÓW PODSTAWOWYCH

- Rafinacja ropy naftowej i jej produktów, dodatki do paliw i olejów
- Nawozy
- Tworzywa polimerowe i dodatki pomocnicze
- Inne technologie wielkotonażowe

TECHNOLOGIE PRODUKTÓW SPECJALISTYCZNYCH

- Produkty i tworzywa specjalistyczne
- Tworzywa konstrukcyjne i dodatki wspomagające
- Środki ochrony roślin i produkty bakteriobójcze

TECHNOLOGIE DLA GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM I OCHRONY KLIMATU

- Zielona chemia
- Technologie materiałowe i korozja
- Technologie wytwarzania i magazynowania energii

BIOTECHNOLOGIA

- Przemysł żywnościowy
- Przemysł medyczny, farmaceutyczny i kosmetyczny
- Agrobiotechnologia

Wykorzystując współczesne formy komunikacji, podczas Kongresu planujemy następujące wydarzenia specjalne:

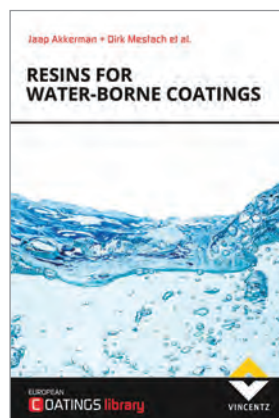
- Inkubator innowacji
- Inkubator projektów – spotkania B2B
- Debaty
- Meeting room science & business
- Otwarte laboratoria Wydziału Chemicznego PWr
- Udostępnienie aplikacji 10TeChem na smartfony oraz fanpage'a w mediach społecznościowych
- Przyznanie nagrody za najlepszy wykład w danej sekcji (na podstawie głosowania uczestników za pomocą aplikacji)



We protect and
beautify the world™

**Innowacyjne rozwiązania
techniczne**

ul. Łużycka 8A
81-537 Gdynia
tel. 58 774 99 00
fax 58 774 99 01
customers@ppg.com



Jaap Akkerman, Toine Biemans, Cathrin Corten, Rudolf Hager, Ingrid Heußen, Claas Hövelmann, Joachim Krakehl, Martin Leute, Dirk Mestach, Oliver Seewald, Adrian Thomas, Jacques Warnon

Resins for water-borne coatings

Wydawnictwo: Vincentz Network

Rok: 2021

Stron: 396

ISBN: 978-83-63555-22-1

Autorzy omawiają ważne kwestie dotyczące odchodzenia od żywic i farb rozpuszczalnikowych na rzecz wodorozcieńczalnych, obserwowanego w ciągu ostatnich 40–50 lat, zagłębiają się w istotne zagadnienia i teorie związane z produkcją, właściwościami i zastosowaniem opisywanych żywic. Przedstawiają również przegląd ich obecnych zastosowań w farbach wodorozcieńczalnych.

Nie ulega wątpliwości, że wodorozcieńczalne żywice do wyrobów lakierowych będą zyskiwać na popularności. Kwestie związane z ochroną środowiska i zdrowia spowodowały powolny, ale nieuchronny proces zastępowania żywic i farb rozpuszczalnikowych wodorozcieńczalnymi. Tendencja ta uwidoczniła się w niektórych krajach europejskich w latach 80. i nasiliła się, gdy w latach 2007 i 2010 wprowadzono dyrektywy dotyczące emisji rozpuszczalników. W ostatniej dekadzie zaczęły obowiązywać inne, bardziej rygorystyczne przepisy, w związku z czym żywice i farby wodorozcieńczalne zaczęły być coraz częściej stosowane. Zmianę tę można nazwać „przejściem od rozpuszczalnika do wody”, podobnym do transformacji energetycznej, która ma na celu zmniejszenia emisji CO₂. Równocześnie przepisy regulujące kwestie stosowania chemikaliów, dotyczące ich rejestracji i oceny oraz w pewnych wypadkach udzielania zezwoleń i wprowadzania ograniczeń obrotu (REACH), wywarły duży wpływ na rynek żywic i farb, nie tylko wodorozcieńczalnych.

Jest kilka problemów, które powinny zostać rozwiązane w nadchodzących dziesięcioleciach. Po pierwsze, chodzi o ogólną wydajność wodorozcieńczalnych alternatyw dla rozpuszczalnikowych wyrobów lakierowych. Bardziej oczywiste i bardziej zaawansowane są rozwiązania dotyczące przejścia na wyroby wodorozcieńczalne na przykład w branży stolarskiej i meblarskiej, w których obecnie z dużym powodzeniem stosowane są układy wodne do natrysku, utwardzania radiacyjnego lub dwuskładnikowe. W przemyśle motoryzacyjnym OEM przejście to również następuje, ale w dużym

stopniu zależy od możliwości inwestowania w nowe linie produkcyjne przystosowane do używania wyrobów wodorozcieńczalnych. Drugim problemem jest zawartość wody w farbach, ponieważ warunki takie jak wilgotność względna i temperatura mają wpływ na schnięcie powłok. Trzeci problem jest związany z pseudoplastycznymi właściwościami farb wodorozcieńczalnych, szczególnie w wypadku farb dekoracyjnych. Kolejną kwestią jest trwałość żywic i farb wodorozcieńczalnych w porównaniu z rozpuszczalnikowymi. Przeszkodą w stosowaniu wodorozcieńczalnych żywic i farb na większą skalę jest także stosunkowo niska zawartość części stałych, co prowadzi do konieczności nakładania większej liczby warstw. Wszystkie te kwestie omówiono w książce, opierając się na najnowszej dostępnej wiedzy, jednak nie zawsze popartej twardymi dowodami. Producenci żywic i lakierów są świadomi tego, że pewnych zjawisk i zagadnień nie da się wyjaśnić i można rozwiązać związane z nimi problemy jedynie metodą prób i błędów – skuteczności stosowanych rozwiązań często nie daje się uzasadnić („nie pytajcie mnie dlaczego, ale to działa”). Tak zwane milczące know-how jest więc często codzienną praktyką.

W dyskusji na temat żywic wodorozcieńczalnych i ich zastosowania w wyrobach lakierowych wyróżnia się technologie poszczególnych rodzajów żywic. Omówiono ważne obszary zastosowań każdego rodzaju żywic i w wypadkach, w których to możliwe, podano wytyczne dotyczące receptur farb oraz receptury startowe. W rozdziale 1 podkreślono, że dla każdego, kto opracowuje receptury nowych farb, ważne jest zrozumienie technologii żywic, które wykorzystuje. Należy wiedzieć, jak żywice są otrzymywane, a także znać zagadnienia chemiczne i fizyczne związane z przetwarzaniem hydrofobowej żywicy w żywicę wodorozcieńczalną.

W rozdziale 2 przedstawiono historię żywic i farb wodorozcieńczalnych. Zaprezentowano różne firmy i opisano ich znaczenie na rynku.

W rozdziale 3 omówiono dyspersje wodorozcieńczalne. Ważna jest definicja polimerów dyspersyjnych i odróżnienie ich od polimerów emulsyjnych (omówionych w rozdziale 6). Stosuje się w nich zupełnie inne technologie, procesy produkcyjne, a nawet monomery. Omówiono różne klasy chemiczne polimerów dyspersyjnych, a ich skład chemiczny jest bezpośrednio związany z obszarem ich zastosowania. Może się zdarzyć, że polimer „dyspersyjny” okaże się w rzeczywistości polimerem emulsyjnym. Istotne jest również to, aby wiedzieć, że nie wszyscy dostawcy żywic stosują tę samą definicję. Może to prowadzić do błędnego wyboru żywicy, która będzie używana do opracowywania receptury farby.

W rozdziale 4 skupiono się na wodorozcieńczalnych żywicach alkidowych. Podzielono je na trzy kategorie: żywice rozpuszczalne, emulgowane zewnętrznie i emulgowane wewnętrznie. Każdą z nich szczegółowo omówiono z uwzględnieniem właściwości żywic, różnych wymagań i możliwości w zakresie ich funkcjonalizacji oraz technologii przetwarzania.

W rozdziale 5 omówiono wodorozcieńczalne żywice epoksydowe. Po opisanu właściwości i obszarów zastosowań oraz ich związku ze strukturą i usieciowaniem żywic epoksydowych dokonano podsumowania informacji dotyczących metod emulgowania służących do otrzymywania anionowych, kationowych i niejonowych dyspersji żywic. Rozdział zawiera także omówienie przyszłych tendencji w dziedzinie wodorozcieńczalnych żywic epoksydowych. Szczególną uwagę zwrócono na bezpieczne

zastępowanie bisfenolu A (BPA), opisano również przykłady żywic epoksydowych pochodzenia biologicznego.

W rozdziale 6 podano receptury wodorozcieńczalnych farb poliuretanowych (PU), w których zastosowano dyspersje PU (jedno- i dwuskładnikowe) lub żywice emulsyjne z grupami hydroksylowymi utwardzane za pomocą poliizocyanianów (dwuskładnikowe). Dyspersje żywic PU mają często bardzo szczególne zastosowania i w większości wypadków są stosowane w połączeniu z innymi żywicami.

W rozdziale 7 opisano żywice silikonowe i ich zastosowanie w farbach i tynkach emulsyjnych na bazie żywic silikonowych. Najważniejszą cechą powłok na bazie żywic silikonowych jest niska absorpcja wody przy jednoczesnej wysokiej przepuszczalności pary wodnej. Dzięki tym właściwościom fizycznym powłoki te są niezwykle trwałe i wytrzymują dziesiątki lat.

W rozdziale 8 omówiono rozpuszczalne krzemiany i ich właściwości. Rozpuszczalne krzemiany, znane również jako szkło wodne lub krzemiany alkaliczne, w wyniku utwardzania tworzą bardzo trwałe nieorganiczne wiązania kowalencyjne, które łączą się zwłaszcza z nieorganicznymi wypełniaczami, pigmentami i podłożem.

Tematem rozdziału 9 są żywice melaminowe jako najważniejszy rodzaj żywic aminowych. Omówiono receptury wodorozcieńczalnych emalii piecowych z żywicami melaminowymi w połączeniu z żywicami alkidowymi, poliestrowymi i akrylowymi oraz podano przykłady receptur do różnych zastosowań.

W rozdziale 10 omówiono sytuację związaną z REACH i innymi regulacjami. W ciągu ostatnich 20 lat wprowadzono kilka ważnych regulacji, które miały i nadal mają bezpośredni wpływ na sektor powłok w Europie.

W ostatnim rozdziale przedstawiono perspektywy dotyczące opisanych zagadnień. Problemy omówione w przedmowie powinny zostać rozwiązane bez względu na to, że nadal istnieje zapotrzebowanie na żywice rozpuszczalnikowe i nowe technologie żywic.

W związku z powolnym odchodzeniem od żywic i powłok rozpuszczalnikowych na rzecz powłok wodorozcieńczalnych publikacja *Resins for water-borne coatings* to lektura obowiązkowa dla osób zajmujących się opracowywaniem receptur nowych farb i chcących poszerzyć swoją wiedzę na temat żywic wodorozcieńczalnych.

Czasopisma związane z tematyką korozji (cz. 10)



Tytuł: **Materials Performance (MP)**
 Wydawca: **AMPP (The Association for Materials Protection and Performance),** wcześniej: **NACE International**
 ISSN: **0094-1492**
 Częstotliwość: **rocznik zawiera 12 wydań publikowanych co miesiąc, dwa wydania dodatkowe oraz Annual „MP” Buyers Guide**
 Model czasopisma: **hybrydowe (wydanie papierowe oraz on-line)**
 Punkty ministerialne: **40 punktów (lista z 2021 roku)**

Czasopismo wydawane jest nieprzerwanie od 1974 roku. Dystrybuowane do ponad 37 000 czytelników, „MP” opisuje najnowsze metody zapobiegania korozji i jej monitorowania, stosowane w przemyśle i infrastrukturze na całym świecie. Publikowane są w nim artykuły z następujących dyscyplin: inżynierii biomedycznej, inżynierii chemicznej, inżynierii materiałowej, inżynierii mechanicznej. Obiorcami periodyku są: inżynierowie, inspektorzy powłok, kontrolerzy jakości, nadzorcy, naukowcy oraz technicy i technolodzy.

W artykułach, przygotowywanych przez ekspertów, przedstawiane są problemy związane z korozją i ich możliwe rozwiązania z zakresu: ochrony katodowej, powłok i wykładzin, obróbki chemicznej, wyboru materiałów i projektowania, zarządzania korozją, analizy awarii, testowania i inspekcji.

Wydania dodatkowe są poświęcone rozwiązywaniu problemów z korozją oraz temu, jak projektować i zabezpieczać: rurociągi, zbiorniki, konstrukcje betonowe, systemy wodociągowe i kanalizacyjne, mosty i autostrady, rafinerie i zakłady przetwórstwa chemicznego, konstrukcje offshore, a także infrastrukturę energetyczną. Poruszane są również kwestie dotyczące metod ochrony korozyjnej stosowanych w przemyśle morskim.



We protect and
beautify the world™

Doskonałe powłoki
antykorozyjne i ogniochronne

ul. Łużycka 8A
81-537 Gdynia
tel. 58 774 99 00
fax 58 774 99 01
customers@ppg.com

Firma Sherwin-Williams laureatem nagród AMPP Structure Awards

Firma Sherwin-Williams Protective & Marine otrzymała nagrodę im. George'a Campbella, która przyznawana jest w uznaniu za wybitne osiągnięcia w realizacji trudnego lub złożonego projektu z zakresu powłok przemysłowych, za renowację mostu Liberty Bridge w Pittsburghu.

Renowacja obejmowała obróbkę strumieniowo-ścierną i ponowne malowanie stalowych belek mostu, kratownic i innych elementów konstrukcyjnych. Prace prowadzono od czerwca 2015 do września 2018 roku. Aby chronić rzekę i otaczające ją obszary przed pyłem i usuwanymi powłokami, podczas czyszczenia i zabezpieczania całą konstrukcję osłonięto plandeką. Po poddaniu stalowych powierzchni mostu obróbce strumieniowo-ściernej nałożono na nią powłokę Zinc Clad III HS o grubości 76–127 µm na sucho, aby zapewnić ochronę katodową mostu przed korozją. Czas do ponownego nakładania kolejnej warstwy wymalowania – gruntem epoksydowym wysokocynkowym – wynosił ok. 45 minut, co pozwoliło wykonawcom zabezpieczenia na szybkie przejście do nakładania międzywarstwy o wysokiej zawartości części stałych, tj. mastyki epoksydowej Macropoxy 646 Fast Cure. Na powłokę mastyki nałożono następnie trzy warstwy farby poliuretanowo-akrylowej Acrolon 218 HS w kolorze beżowym o grubości suchej powłoki 76–152 µm.

Firma Sherwin-Williams została również wyróżniona nagrodą Erica S. Kline'a za prace na stadionie bejsbolowym Globe Life Field w Arlington w Teksasie. Nagroda Kline'a przyznawana jest za wybitne osiągnięcia w dziedzinie powłok przemysłowych wykonywanych w warsztatach. Nagroda ta została przyznana za udział firmy Sherwin-Williams w projekcie Globe Life Field, realizowanym przez MLB Texas Rangers we współpracy z wykonawcami W&W-AFCO Steel. Wykonawca w ciągu 18 miesięcy korzystał z wielu warsztatów, aby wyprodukować i pokryć systemem antykorozyjnym ok. 21 000 ton stali konstrukcyjnej przeznaczonej na 5,5-akrowy rozsuwany dach stadionu. Jest to największy na świecie ruchomy dach jednopanelowy, posiadający przezroczyste panele, które po zamknięciu wpuszczają naturalne światło na warty 1,2 mld dolarów stadion.

Według danych przekazanych przez firmę Sherwin-Williams wykonawca był w stanie usprawnić operacje malowania, ponieważ większość stali była produkowana w tym samym miejscu, w którym była pokrywana powłokami ochronnymi. Po przygotowaniu powierzchni konstrukcji stalowych nałożono na nie metodą natrysku farbę Zinc Clad 4100 o grubości suchej powłoki 76–127 µm. Zinc Clad jest odpornym na korozję podkładem cynkowym o krótkim czasie schnięcia, dzięki czemu ponowne malowanie można wykonać już po 30 minutach od nałożenia poprzedniej warstwy wymalowania. Jako warstwę nawierzchniową zastosowano uretanową farbę poliasparaginową Envirolastic o grubości na sucho 127–177 µm. Powłoka szybko się utwardza, jest sucha w dotyku po 30 minutach i zapewnia skuteczną i długotrwałą ochronę przed korozją oraz odporność na warunki atmosferyczne.

Na podstawie: *Sherwin-Williams Receives Two AMPP Structure Awards for Coatings Applications*, Paint and Coatings Industry News, 20.12.2021.

Najnowsze osiągnięcia w dziedzinie powłok ochronnych do zabezpieczania dóbr dziedzictwa kulturowego

W ostatnich dziesięcioleciach zdecydowanie wzrosło zainteresowanie rozwojem powłok ochronnych dla ruchomych i nieruchomych dóbr dziedzictwa kulturowego, głównie dzięki coraz większej świadomości wymagań dotyczących ochrony artefaktów i zabytków kultury, co w konsekwencji doprowadziło do opracowania nowych metod ochronnych. Od żywic akrylowych, stosowanych pod koniec ubiegłego wieku, do nowoczesnych biomateriałów i nanocząstek, używanych obecnie – w badaniach poczyniono ogromny postęp. W artykule dokonano przeglądu dokonań, wyzwań technicznych i najnowszych osiągnięć w zakresie powłok ochronnych na archeologiczne artefakty z metalu, szkła i kamienia. Omówiono szczegółowo procesy korozji i zabezpieczanie obiektów wykonanych z metali i ich stopów (miedzi i jej stopów, srebra i żelaza), szkła oraz wapienia.

Celem artykułu było przedstawienie wszechstronnego i krytycznego przeglądu osiągnięć w konserwacji zabytków oraz pokazanie, w jaki sposób badania przyczyniły się do zoptymalizowania polimerów, aby można było rozwiązać problemy związane z niszczeniem zabytków. Zwrócono uwagę na ostatnio opracowane materiały, powłoki hybrydowe i inhibitory korozji.

Na podstawie: A. Artesani in., *Recent Advances in Protective Coatings for Cultural Heritage: An Overview*, „Coatings” 2020, 10 (3), 217.

Farby przeciwporostowe

Firma AkzoNobel kontynuuje swoje zaangażowanie w działalność z zakresu wykorzystywania innowacji technicznych w celu obniżania kosztów ponoszonych przez operatorów statków morskich i ustanawiania lepszych standardów zrównoważonego rozwoju, wprowadzając na rynek dwa nowe środki przeciwporostowe.

Pierwszym z nich jest Intersmooth 7200Si SPC, który jest samopolerującą powłoką przeciwporostową nowej generacji na bazie metakrylanu sylilu. W produkcie wykorzystano sprawdzoną technologię polimerową w połączeniu z wysoce skuteczną mieszaniną biocydów, która została zoptymalizowana w celu zapewnienia doskonałej efektywności kosztowej. Produkt charakteryzuje się również wyższą niż obecne standardy zawartością części stałych, co zmniejsza ilość odpadów i emisję lotnych związków organicznych, a jednocześnie zwiększa wydajność aplikacji. W wypadku zastosowania Intersmooth 7200Si SPC gwarantowany próg utraty prędkości statku wynosi 2,5%.

Drugim nowym środkiem przeciwporostowym firmy AkzoNobel jest Intersmooth 7476Si SPC, który także jest samopolerującym środkiem przeciwporostowym nowej generacji na bazie metakrylanu sylilu. Produkt ten również zawiera zoptymalizowany pakiet biocydów, opracowany tak, aby zapewnić stałą, niezawodną i wiodącą w branży skuteczność przeciwporostową w cyklu suchego dokowania. Gwarantowany próg utraty prędkości utrzymuje się na poziomie 1,4%.

Na podstawie: „PCE International” 2021, April–June, s. 35–37.

Wynalazki

Buletyn Urzędu Patentowego Nr 5/2022

Ściana lakiernicza sucha i sposób wykonania ściany lakierniczej

Twórcy: Nawara Rafał · Firma: NAWARA RAFAŁ NAWARA SERWIS s.c., Trzebień; NAWARA MARZENA NAWARA SERWIS s.c., Trzebień · Zgłoszenie 434819, s. 8

Urządzenie do nakładania zanurzeniowo lub natryskowo materiału powłokowego

Twórcy: Koszlak Rafał; Chaciński Jerzy · Firma: VENT TRADE sp.z o.o., Gdańsk · Zgłoszenie 434808, s. 8-9

Sposób malowania kompozycją proszkową elementów metalowych ocynkowanych ogniowo

Twórcy: Chomka Waldemar · Firma: AWENTA E.W.A. CHOMKA SPÓŁKA JAWNA, Stojadła · Zgłoszenie 434796, s. 9

Sposób wytwarzania transparentnej izolacji ogniochronnej

Twórcy: Kwiatkowski Konrad; Kwiatkowska Magdalena · Firma: ALURON sp.z o.o., Zawiercie · Zgłoszenie 434791, s. 12 - 13

Kompozycja polimerowa powlekająca, sposób jej wytwarzania oraz sposób powlekania włókniny kompozycją polimerową powlekającą

Twórcy: Kasprowicz Krzysztof · Firma: PAKPOLAND sp.z o.o., Kruszyn · Zgłoszenie 434793, s. 16 - 17

Sposób zabezpieczenia antykorozyjnego powierzchni konstrukcji stalowych budowli hydrotechnicznych, zwłaszcza usytuowanych w środowisku morskim

Twórcy: Szypilow Aleksander · Firma: GT POLAND LTD sp.z o.o., Gdańsk · Zgłoszenie 434805, s. 17

Środek do nanopowłokowej ochrony antykorozyjnej hydrofobowej i oleofobowej zwłaszcza do elementów stalowych

Twórcy: Koszlak Rafał; Chaciński Jerzy · Firma: VENT TRADE sp.z o.o., Gdańsk · Zgłoszenie 434809, s. 17

Sposób wytwarzania powłoki interferencyjnej

Twórcy: Wodka Dawid · Firma: CANPACK SA, Kraków · Zgłoszenie 434839, s. 18

BUP Nr 6/2022

Sposób wytwarzania żelę polimerowego o ograniczonej palności oraz sposób wytwarzania kompozytu żelęgowego

Twórcy: Prochoń Mirosława; Dziekała Oleksandra · Firma: Politechnika Łódzka, Łódź · Zgłoszenie 434901, s. 12

Sposób wytwarzania kompozytowego materiału termoplastycznego o właściwościach magnetycznie miękkich przeznaczonego do druku 3D

Twórcy: Polak Marcin; Radoń Adrian; Hawelek Łukasz; Kolano-

-Burian Aleksandra · Firma: SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ - INSTYTUT METALI NIEŻELAZNYCH, Gliwice · Zgłoszenie 434927, s. 12 - 13

Sposób wytwarzania elementów bimetalicznych

Twórcy: Laska Mateusz · Firma: GRUPA AZOTY SPÓŁKA AKCYJNA, Tarnów · Zgłoszenie 434899, s. 13

Sposób wyznaczenia profilu gęstości niejednorodnych nanometrycznych warstw tlenkowych na płytkach SiC

Twórcy: Gaca Jarosław; Wójcik Marek; Kamiński Paweł; Budzich Rafał; Ciuk Tymoteusz · Firma: SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ - INSTYTUT MIKROELEKTRONIKI I FOTONIKI, Warszawa · Zgłoszenie 434857, s. 16

Sposób wytwarzania litych kompozytów magnetycznych z warstwą izolacyjną do zastosowań w elektrotechnice

Twórcy: Radoń Adrian; Polak Marcin; Hawelek Łukasz; Kolano-Burian Aleksandra · Firma: SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ - INSTYTUT METALI NIEŻELAZNYCH, Gliwice · Zgłoszenie 434860, s. 19

BUP Nr 7/2022

Sposób otrzymywania fotokatalizatora na bazie TiO₂ aktywnego w świetle widzialnym oraz jego zastosowanie

Twórcy: Mozia Sylwia; Piątkowska Aleksandra · Firma: ZACHODNIO-

POMORSKI UNIWERSYTET TECHNOLOGICZNY W SZCZECINIE, Szczecin · Zgłoszenie 434925, s. 8

Środek czyszczący, zwłaszcza odrdzewiający

Twórcy: Miroński Piotr; Drohomirecka Elżbieta · Firma: MIROŃSKI PIOTR, Sopot; DROHOMIRECKA ELŻBIETA, Karbowo · Zgł. 434963, s. 11

BUP Nr 8/2022

Sposób łączenia rur kompozytowych przez spawanie

Twórcy: Urbańczyk Michał; Ciokan Radosław · Firma: SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ - INSTYTUT SPAWALNICTWA, Gliwice · Zgłoszenie 435026, s. 8

Sposób wytwarzania materiałów powlekanych na bazie poliuretanów wodnych lub bezrozpuszczalnikowych bez toksycznych związków lotnych oraz materiał otrzymany tym sposobem

Twórcy: Krawczuk Monika; Krzywonos Rita · Firma: SANWIL POLSKA sp.z o.o., Przemysł · Zgłoszenie 435005, s. 15

Sposób oczyszczania powierzchni wyrobów z metali lub stopów metali

Twórcy: Borowska-Skarżyńska Urszula; Kotrych Daniel; Skrodzki Marcin; Grabarczyk Jacek · Firma: MEDGAL sp.z o.o., Księżyyno · Zgłoszenie 435023, s. 22

Zapraszamy do zapisania się
na nasz newsletter:

www.ochronapředkorozja.pl



We protect and
beautify the world™

Piękno, trwałość,
bezpieczeństwo

ul. Łużycka 8A
81-537 Gdynia
tel. 58 774 99 00
fax 58 774 99 01
customers@ppg.com

PEWNOŚĆ W EKSTREMALNYCH WARUNKACH



BELSE

Technologie kompozytowe



BELZONA[®]

Ulepszenie • Naprawa • Ochrona

Organizujemy seminaria
techniczne on-line

- szczegóły na www.belse.com.pl/szkolenia