

tom 65
2•2022
luty

ISSN 0473-7733
e-ISSN 2449-9501

cena 44 zł (w tym 8% VAT)

MIESIĘCZNIK

ochrona przed korozją



WYDAWNICTWO
SIGMA-NOT

**Corrosion
Protection**

PEWNOŚĆ W EKSTREMALNYCH WARUNKACH



BELSE

Technologie kompozytowe



BELZONA[®]

Ulepszenie • Naprawa • Ochrona

Organizujemy seminaria
techniczne on-line

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



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

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 Zubielewicz
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 Sokółski, prof. dr hab. inż. Adam Zybura
Redaktor językowy: mgr Jacek Leszczyński – jęz. pol.
Redaktor językowy: mgr Grzegorz Sosna – jęz. ang.
Redaktor statystyczny: mgr inż. Anna Tramś

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 Baryłka, 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 Kijeński, Polska
prof. Niki Kouloumbi, Grecja
dr Olga Kulikova, Rosja
mgr inż. Józef Koziół, 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 Sokółski, 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)

WYDAWNICTWO SIGMA-NOT**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: e-mail: 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.

OD REDAKCJI

Edukacja i świadomość korozyjna 36

ARTYKUŁY NAUKOWE / RESEARCH ARTICLES

Application of thermal spray technologies in anticorrosive coatings: a short review 37

Zastosowanie technologii natrysku cieplnego w powłokach antykorozyjnych: krótki przegląd

— A. Duda, B. Kopyciński

Corrosion tests of metal pipes in drinking water systems using electrochemical methods 43

Badania korozyjne metalowych rur w układach wody pitnej z zastosowaniem metod elektrochemicznych

— O. R. Adetunji, M. A. Oyelowo, N. O. Adekunle, A. I. Adeogun, I.K. Okediran

OCHRONA PRZED KOROZJĄ W PRAKTYCE / CORROSION PROTECTION IN PRACTICE

Dylemat inspektora malarskiego: Jak nadzorować aplikację pasywnego pęczniającego systemu ogniochronnego 50

— A. Głębowicz

ARTYKUŁY PROMOCYJNE / SPONSORED CONTENT

Ochrona powłokowa konstrukcji stalowych 53

Premix Sp. z o.o. – producent innowacyjnych materiałów dla budownictwa inżynierskiego, komunikacyjnego i hydrotechnicznego 54

Polskie Stowarzyszenie Korozyjne – edukacja i integracja 56

BELSE dla przemysłu 58

Kursy FROSIO w języku polskim, certyfikacja wg FROSIO, kursy personelu antykorozji, szkolenia – prowadzone przez SLV-GSI Polska oraz SLV Duisburg 59

Ocena trwałości wyrobów według normy ISO 12944 – kategorie korozyjności oraz okresy trwałości 60

Antykorozja stali i betonu. Szkolenia Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w 2022 roku 62

WYDARZENIA

28. Ogólnopolska Konferencja ANTYKOROZJA Systemy - Materiały - Powłoki 49

XV Konferencja Naukowo-Techniczna PSK: PRAKTIKOR STAL-BETON'2022 57

X Kongres Technologii Chemicznej 63

ZE ŚWIATA NAUKI

Nowy Projekt badawczy realizowany przez Polskie Stowarzyszenie Korozyjne 64

Ciekawe bezpłatne kursy na platformie Navoica 64

Z PRASY TECHNICZNEJ

65

MATERIAŁY • URZĄDZENIA • TECHNOLOGIE

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



Edukacja i świadomość korozyjna

Najpierw cię ignorują, potem się z ciebie śmieją, potem z tobą walczą, a potem wygrywasz.

Gandhi

Na którym z tych etapów jesteśmy ze świadomością i wiedzą korozyjną? Wydaje mi się, że to zależy od środowiska: na pierwszym – wśród ogółu społeczeństwa i dziennikarzy; na drugim – gdy próbujemy rozmawiać o potrzebie walki z korozją w wielu instytucjach rządowych, samorządowych i szefostwie dużych firm (czasem śmieją się tylko po cichu). Niestety dotyczy to również wielu osób z naszego korozyjnego kręgu, które nie widzą sensu aby podjąć jakieś działania, włączyć się w zaangażowany sposób w zapewnienie problemom korozyjnym należnego im (choćby ze względu na koszty) miejsca. A przecież jest to pozytywna walka o wydłużenie trwałości małych i dużych konstrukcji i urządzeń – naszego mostu i wiaduktu, naszej pralki i lodówki!

Bo to powinno być naszym celem: ZAMIENIĆ WALKĘ ZE STRATAMI KOROZYJNYMI NA WALKĘ O WYDŁUŻONĄ TRWAŁOŚĆ poprzez właściwie zorganizowany i umocowany w ustawach proces zabezpieczeń antykorozyjnych.

Powinno to znaleźć swoje odbicie w systemie szkoleń, ponieważ na każdym etapie kontaktu z konstrukcją/urządzeniem podatnym na korozję potrzebne są osoby posiadające świadomość korozyjną i wiedzę zgodną z ich zadaniami:

- inwestorzy,
- projektanci,
- firmy wykonawcze,
- personel nadzorujący,
- pracownicy bezpośrednio pracujący w dziedzinie antykorozyjnej,
- inspektorzy,
- obywatele obserwujący świat wokół siebie,
- wrażliwi (w tej dziedzinie) dziennikarze.

Oczywiście szkolenia/wykształcenie powinno być dopasowane do potrzeb tych osób. Kursy inspektorskie nie ułatwiają wszystkim. Dopiero, gdy zorganizujemy spójny dla wymienionych grup system szkoleń/upowszechniania wiedzy, a społeczeństwo będzie chciało z niego skorzystać, to mamy szansę zbliżyć się do czwartego etapu i zacząć wygrywać!

Agnieszka Królikowska

O edukacji korozyjnej publikowaliśmy:

Edukacja korozyjna: stosowanie wiedzy naukowej w praktyce — P-L. Bonora, A. Królikowska, nr 2/2019, s. 46

Kursy nie tylko dla inspektorów korozyjnych — A. Królikowska, U. Paszek, D. Wojda, nr 2/2019, s. 49

Certyfikacja personelu ochrony katodowej – SPZP CORRPOL ośrodkiem szkoleniowym UDT CERT — W. Sokólski, nr 2/2019, s. 53

Znaczenie kompetencji personelu w ochronie konstrukcji stalowych przed korozją — R. Gruca, nr 2/2019, s. 54

Znajomość wymagań normowych jako podstawowe kryterium oceny wiedzy wymaganej w procesie certyfikacji osób zajmujących się ochroną katodową — W. Sokólski, nr 8/2019, s. 250

Kursy i egzaminy certyfikacyjne sprawności fachowej według normy EN ISO 15257 dla pracowników w dziedzinie ochrony kato-

dowej w sektorze Konstrukcje metalowe ułożone w ziemi lub wodzie, nr 8/2019, s. 284

CORROSION MANAGEMENT – zarządzanie procesami związanymi z korozją na przykładzie projektu IMPACT PLUS organizacji NACE — L. Augustynek, B. Noworyta, nr 2/2020, s. 50

Internetowe szkolenia dla firm, nr 9/2020, s. 304

Zabezpieczenia antykorozyjne konstrukcji stalowych. Wiedza najlepszą ochroną przed korozją, nr 2/2021, s. 55

Łukasiewicz Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników – działalność edukacyjna, nr 2/2021, s. 57

Badania korozyjne – szkolenia oferowane przez Laboratorium Corr-Lab, nr 2/2021s. 58

ALICJA DUDA

ORCID: 0000-0003-4873-9122

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Metali Nieżelaznych, Centrum Materiałów Proszkowych i Kompozytowych, Gliwice

BARTOSZ KOPYCIŃSKI

ORCID: 0000-0002-8317-0552

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, Centrum Farb i Tworzyw, Gliwice

DOI: 10.15199/40.2022.2.1

Application of thermal spray technologies in anticorrosive coatings: a short review

Zastosowanie technologii natrysku cieplnego w powłokach antykorozyjnych: krótki przegląd

Despite the significant progress in the field of anticorrosion protection, this area of materials science is still an important issue that should be developed due to the constantly shrinking natural resources or increasing environmental awareness. Because of the high recycling potential and the relatively environmentally friendly profile, thermal spray processes enjoy the unabated interest in industrial anticorrosion. This article presents the most important methods of obtaining ceramic and metal protective coatings with the use of thermal spray technology, together with a discussion of the key areas of their application.

Keywords: corrosion, thermal spray technologies, anticorrosive coatings

Pomimo znaczącego postępu w dziedzinie zabezpieczeń antykorozyjnych, niniejszy obszar materiałoznawstwa wciąż stanowi istotne zagadnienie nad którym – przez wzgląd na stale kurczące się zasoby naturalne, czy też wzrastającą świadomość ekologiczną – należy się pochylić. Z uwagi na wysoki potencjał recyklingowy oraz stosunkowo przyjazny dla środowiska profil, procesy natryskiwania cieplnego cieszą się nieustannie zainteresowaniem w antykorozji przemysłowej. W poniższym artykule przybliżono najważniejsze metody konstytuowania ceramicznych i metalowych powłok ochronnych z wykorzystaniem technologii natrysku cieplnego wraz z omówieniem kluczowych obszarów aplikacyjnych tychże.

Słowa kluczowe: korozja, technologie natrysku cieplnego, powłoki antykorozyjne

1. Introduction

Technological advances of the XX. century brought several breakthrough inventions to the world of science and industry, one of which is the development of thermal spray technologies. The first reports on the fabrication of thermally sprayed materials appeared in 1913 when Max Ulrich Schoop described a series of experiments focused on the preparation of metal coatings with the use of a self-constructed spray gun where the metal material was melted and then sprayed with oxygen, acetylene or compressed air [1]. Soon after, Metco Inc. implemented this type of technology, becoming at the same time the main producer of thermal spray systems in the world. Originally, the spraying processes mainly involved the production of Zn and Al layers as factors protecting steel

against corrosion. Subsequently, the hard metal spraying process was widespread, contributing to the division of the materials into anticorrosive and regenerative coatings [2]. In 1939, the German engineer Reinecke proposed to improve the thermal spray technique with the use of arc plasma as a melting factor. Tests carried out at that time resulted in the creation of an innovative solution known today as plasma spraying PS, opening the possibility of using materials with a high melting point e.g. high-melting metals, ceramics, carbides, or borides [1]. Another developed method of thermal spraying was detonation spraying DS. In this case, it was possible to design a system in which the decisive factor is the kinetic energy of the particles of the sprayed material. Not long after, attempts were made to combine the advantages of flame spraying FS with DS and the technology of high-velocity oxygen fuel spraying HVOFS was developed [3].

mgr inż. Alicja Duda – absolwentka technologii chemicznej na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Pracuje w Centrum Materiałów Proszkowych i Kompozytowych Łukasiewicz - IMN. Należy do Grupy Badawczej Mikro i Nano Proszków, gdzie zajmuje się wytwarzaniem i badaniem własności fizykochemicznych kompozytowych materiałów proszkowych.

MScEng Alicja Duda – a graduate of chemical technology at the Faculty of Chemistry of the Silesian University of Technology in Gliwice. Working at the Powder and Composite Materials Center at Łukasiewicz - IMN. Belonging to the Micro and Nano Powders Research Group, where she deals with the manufacturing and testing physicochemical properties of composite powder materials.

mgr inż. Bartosz Kopyciński – absolwent inżynierii materiałowej na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Zatrudniony w Centrum Farb i Tworzyw Łukasiewicz - IMPIB. Członek Grupy Badawczej Farb i Tworzyw. Zajmuje się wytwarzaniem i badaniem wyrobów lakierowych oraz kompozytów polimerowych.

MScEng Bartosz Kopyciński – a graduate of materials engineering at the Faculty of Mechanical Engineering of the Silesian University of Technology in Gliwice. Employed at the Paints and Plastics Center at Łukasiewicz - IMPIB. Member of the Paints and Plastics Research Group. He is involved in the manufacturing and testing of paints, varnishes and polymer composites.

■ Otrzymano / Received: 14.01.2022. Przyjęto / Accepted: 3.02.2022

Thermal spray technologies principally consist of the formation of layers by transforming the particles of the raw material into a melting state. A diagram showing the general operating principle of the thermal spray technology is shown in Fig. 1. As a result, coatings strongly adhering to the substrate are obtained, and the produced materials are characterized by good mechanical properties [4]. The main application direction of the abovementioned coatings is the refinement of surfaces e.g. regeneration of machine parts or corrosion protection [3]. The methods of thermal spraying include: wire arc, plasma, flame, high-velocity oxygen, and detonation gun (Fig. 2)

Wire arc spraying WAS process is based on feeding the material in the form of a wire into a nozzle where it is melted by creating a glowing arc which is formed at the point of contact of the wires. Then, the compressed air accelerates the molten material particles, whereby they are deposited on the substrate and form a coating. This method is extremely efficient, and the coatings produced thanks to it are used as anticorrosive materials. Here, Cu, Al, Zn, Ni, or Fe alloys are most often sprayed [5,6].

In PS, material particles are melted due to the high-energy plasma formation process. This method uses plasma gas, which undergoes ionization under the influence of high temperature. The coating material, usually in the form of a powder, heats up and leaves the torch with the plasma. The obtained materials are characterized by excellent mechanical properties, such as abrasion resistance or high hardness. The method is perfect for spraying ceramics, carbides, and many metals [5,6].

The FS method consists in forming a coating from a raw material such as a powder or wire in a stream of an oxygen-acetylene flame. As a result of the heat action, the sprayed material turns into a melted state and is applied to the surface of the substrate by means of compressed air. It is used in spraying Ni, Cu, Sn, or Fe alloys [6].

HVOFS is based on applying a mixture of gas or fluid fuel and oxygen into a combustion chamber. After ignition, the gas reaches a very high temperature and pressure which leads to its ejection through a nozzle at supersonic speed. The powder is subjected to the gas stream and thanks to a high stream speed, it is easily deposited on the surface of the substrate. Coatings obtained with the use of this technology usually have low porosity and good adhesion which is often connected to good anticorrosive properties. The most common materials sprayed by HVOFS are cermets or Ni, Cr, Co alloys [6,7].

The DS technology main principle is the injection of fuel and oxygen mixture into the combustion chamber. Then a powder and the nitrogen between the ignition point and a fuel-oxygen mixture are injected. Finally, ignition of the gas mixture is carried and the detonation is created during which, the powder particles are deposited onto the substrate. Powders of pure metals or their alloys can be listed as the sprayed materials with the use of DS technology [7].

A general illustration of thermal spray processes is shown in Fig. 3.

2. Thermal spray technologies in anticorrosive coatings

Thermal spray technologies have become one of the most effective techniques for the fabrication of coatings in different industrial branches. This is caused because of its simplicity, cost-efficiency, and the possibility of processing a variety of coating materials [8]. When it comes to the formation of thermally sprayed anticorrosive coatings, HVOFS and PS technologies are usually applied. Traditionally, powders such as: Zn, Al, Ni, high-melting metals, oxide

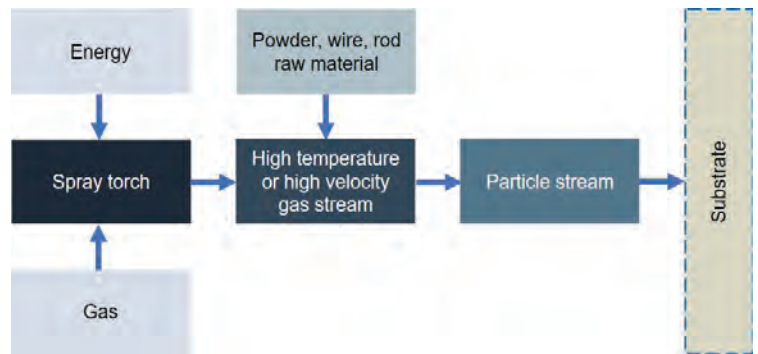


Fig. 1. The general diagram of the thermal spray technologies

Rys. 1. Technologie natrysku cieplnego - ogólny schemat

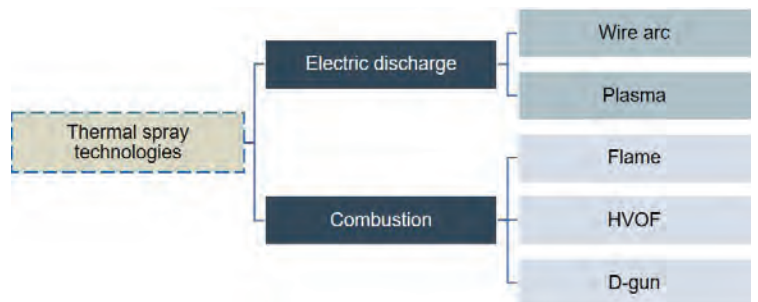


Fig. 2. Classification of thermal spray technologies

Rys. 2. Technologie natrysku cieplnego - klasyfikacja

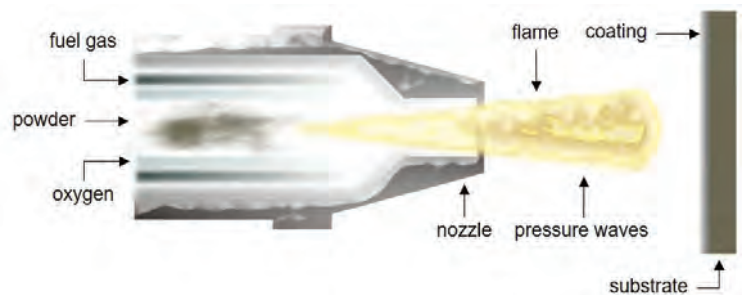


Fig. 3. The general thermal spray process illustration

Rys. 3. Procesu natrysku cieplnego - ogólny schemat

ceramics, carbides, nitrides or borides, and their compositions are used in this field [9]. For the past few years, components such as carbon nanostructures or polymer-metal composites have been also employed in the industry of thermally sprayed protective coatings [10].

This review presents the current state of the art of thermal spray anticorrosive coatings based on scientific publications over the past 15 years. Research papers on traditional materials used in anticorrosive coatings as well as new material solutions were discussed. Academic research databases such as ScienceDirect, Scopus and Google Scholar were used in the literature review. Keywords related to the discussed topic were collected, as shown in the chart below (Fig. 4).

2.1. High-velocity oxygen fuel

Because of its simplicity and availability, HVOFS is the most commonly applied thermal spray technology for the production of anticorrosive coatings. Here, alloys of metals such as Co, Cr, W, Cu, Fe, or Ni are often deposited on different – usually stainless steel – substrates [11]. Works presented by Wang et al. refer to the fabrication of Fe-based coatings with the use of HVOFS. The group's first

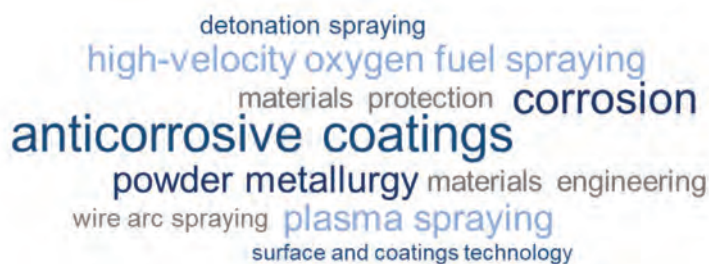


Fig. 4. Thermal spray technologies in anticorrosive coatings – keywords cloud

Rys. 4. Technologie natrysku ciepłego w powłokach antykorozyjnych – chmura słów kluczowych

report refers to the fabrication of an amorphous metal coating with the use of powder mixtures of Fe-based metallic glass – $\text{Fe}_{68.5}\text{C}_{7.1}\text{Si}_{3.3}\text{B}_{5.5}\text{P}_{8.7}\text{Cr}_{2.3}\text{Mo}_{2.5}\text{Al}_{2.0}\text{S}$. Corrosion tests were conducted using the potentiodynamic polarization method in 1M HCl, NaCl, H_2SO_4 , and NaOH solutions. After measurements, the surface of the coatings was observed with a scanning electron microscope SEM and only minor defects caused by the corrosive attack were visible. Another research was presented on depositing Fe-based amorphous powder – $\text{Fe}_{80.6}\text{C}_{1.8}\text{Si}_{2.0}\text{B}_{1.3}\text{P}_{5.7}\text{Cr}_{2.5}\text{Mo}_{5.1}\text{Al}_{1.2}$ – in a mixture with NiCr alloy and WC particles. As a reference material, 304L stainless steel was applied. In comparison with tests conducted in the acidic environment for steel substrates, more negative corrosion potential and lower corrosion current density were observed for Fe-based coatings. Both studies have shown that Fe-based powders deposited on stainless or carbon steel substrates have excellent corrosion resistance and can be a good candidate for anticorrosive coating applications [12,13]. Murariu et al. performed corrosion tests on the coatings obtained with commercial powder WOKA 7504 (WC-CrC-Ni) on carbon steel and 304L stainless steel by means of HVOFS technology. Coatings with thickness from 114 to 647 μm were subjected to corrosion tests to assess their impact on corrosion protectiveness. Electrochemical measurements were done in a 3% NaCl solution for 1 h and the polarization curves were recorded. The best anticorrosive properties were noted for layers thickness equal to 114–220 μm . In the case of thinner coatings, corrosion resistance significantly decreases since the corrosive agent infiltrates without difficulty through the covering material. The coatings with a thickness of over 400 μm exhibit worse mechanical properties caused by the occurrence of numerous imperfections and layer cracking which also leads to the reduction of the corrosion resistance. Moreover, the coatings have been subjected to a surface treatment by polishing. It was observed that corrosion resistance was around 1.5 times lower for the polished coatings [14]. In studies presented by Csaki et al. Ni-Cr based (NiCrBSi) coating on carbon steel was fabricated. Corrosion tests were done with the use of a device designed for in-situ testing in a simulated geothermal environment. For this purpose, accelerated erosive-corrosive conditions were applied by dropping pressure with the steam composition of CO_2 , H_2S , H_2 , O_2 , N_2 , and CH_4 through a nozzle. Samples were examined with the use of SEM before and after 30 days of exposure to the geothermal surroundings. Uncoated carbon steel plates were also tested for comparison and its SEM analysis showed clear and extensive evidence of erosion-corrosion. The results recorded for a NiCrB-Si-based coating revealed several minor damages characteristic for the erosion-corrosion effect which however could be overcome by the addition of a primer in order to achieve proper adhering during exposure to the geothermal environment [15]. García-Rodríguez et al. have done wear and corrosion experiments on low porosity WC-12Co alloy coated on low melting, highly flammable Mg alloy ZE41. The wear rate of obtained coatings was reduced by 104 times

in comparison to a bare Mg substrate. Subsequently, corrosion tests were performed by means of electrochemical methods. Coatings were immersed in a 3.5% NaCl aqueous solution for 96 h. Coatings with a different number of WC-12Co layers were analyzed and compared with a corrosion performance for a bare Mg substrate. The results for one-layer coatings showed an increase in the corrosion rate which was mainly caused by the occurrence of numerous defects in the samples. In the case of the two-layer coated samples, however, increasing corrosion potential and a reduced corrosion current density was observed which indicates good anticorrosive properties [16]. Chi et al. have used commercially available materials for the preparation of coatings by means of HVOFS technology. A series of tests for anticorrosive properties under industrial conditions were performed.

Co-based alloy, known commercially as Stellite-6, and NiAl alloy were deposited on stainless steel. Corrosion tests were performed in different fluidized combustion systems. First was a biomass-fired bubbling fluidized bed BFB reactor where samples were examined for 20 hours. In the other case, the coatings were placed in an industrial anthracite-fired boiler for 1630 hours. NiAl-based material showed a poor anticorrosive performance due to the chlorine attack resulting in an occurrence of significant damages of coating. In the case of coatings fabricated from a Stellite-6, brilliant corrosion resistance was recorded in both combustion systems. Moreover, it was noted that these coatings showed much better mechanical strength after corrosion tests in comparison with NiAl-based coatings [17]. Biocompatible hydroxyapatite HA coatings were examined by the Mardalia et al. research group. Nanostructured HA was sprayed onto Mg alloy substrates. The coating fabricated with the use of HVOFS and FS were compared. Electrochemical impedance spectroscopy was applied for corrosion behavior observations. The coatings obtained by HVOFS have shown a higher corrosion resistance in comparison with the FS coatings, had less mechanical damages and less roughness [18]. Kumari et al. proposed a corrosion-resistant boiler tube for the thermal power plants. The group has done experiments on HVOFS thermally sprayed coatings with WC-Cr₃C₂ powders and the addition of carbon nanotubes CNT (max. 8 wt%) deposited on a ferritic low alloy SA213-T11 which is commercial steel used for the fabrication of boiler tubes. Hot corrosion tests were performed on bare ferritic steel and coatings obtained from pure and CNT-enriched WC-Cr₃C₂ powders. It was confirmed that the addition of CNT has improved not only the hot corrosion resistance behavior of a WC-Cr₃C₂, but also the mechanical properties of coatings surface [19].

2.2. Plasma spraying

PS technology is another conventional method for the fabrication of anticorrosive protective coatings and is mostly applied for the deposition of oxide ceramics or cermets [20]. In the studies from Aruna et al. $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ and $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ alumina powders were synthesized by the chemical precipitation method. Obtained powders were thermally sprayed on stainless steel substrates using PS technology. Different ratios of arc power to the primary plasma gas flow rate were applied and their influence on the crystallographic forms of Al_2O_3 , mechanical properties, and corrosion resistance of coatings was examined. The corrosion behavior of coatings was analyzed using the electrochemical method, where samples were immersed in 3.5% NaCl solution for 1 h. On the basis of the corrosion parameters results, it was reported that coatings exhibit great corrosion resistance [21]. Pragatheeswaran et al. prepared PS coatings with lanthanum phosphate LaPO_4 powder on stainless steel. LaPO_4 is considered a good anticorrosive agent since its high melting point, low thermal conductivity, and chemical neutrality in the presence of reactive metals. The paper reports corrosion tests based on studies of the

interaction of the coating with molten uranium and it was proved that LaPO_4 -based coatings don't react chemically with it. Obtained coating shows great resistance to corrosion attack and is considered a good candidate for protection against reactive metals [22]. In the studies reported by Liu et al., a suspension of F-doped HA nanoparticles was deposited on stainless steel using PS technology. The corrosion tests were performed by means of potentiodynamic polarization method and electrochemical impedance spectroscopy. Samples of HA-based coatings were immersed in a phosphate-buffered saline PBS solution at 37°C. Analysis of corrosion behavior was done in a comparison with uncoated stainless steel plates. It was reported that fabricated materials exhibit excellent anticorrosion performance in PBS and can be successfully applied for orthopedic materials with good anticorrosive properties and biocompatibility [23]. Another HA-based coating was obtained by Kumari et al. Here, dispersions of HA with TiO_2 or ZrO_2 were prepared and thermally sprayed on TiAl steel (Ti-6Al-4V) substrates. The influence of TiO_2 and ZrO_2 addition and heat treatment of coatings after the deposition process on corrosion resistance and bioactivity was studied. Corrosion studies were performed in Hank's balanced salt solution HBSS and an increasing corrosion rate was reported for both TiO_2 and ZrO_2 coatings in comparison with bare TiAl substrates. However, samples, especially HA- ZrO_2 coating, that was subjected to a heat treatment exhibited better anticorrosive properties. Moreover, the bioactivity of coatings was proved which leads to a conclusion that such materials can be used for not only anticorrosive, but also antibacterial or antifouling applications [24]. Amudha et al. prepared anticorrosive coatings with composite powders of graphene oxide GO and Al_2O_3 . 0, 0.5, 1, 1.5 and 2 wt% of GO were mixed with $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ and deposited on carbon steel substrates by means of the PS method. Corrosion behavior was examined using electrochemical methods. Samples were immersed in 3.5% NaCl solution. Excellent corrosion resistance was observed for coatings with 1.5 and 2 wt% addition of GO. The corrosion rate has improved almost six orders of magnitude in the comparison for pristine Al_2O_3 coating [25]. A high-entropy alloy obtained from the $(\text{CoCrFeNi})_{95}\text{Nb}_5$ was fabricated by Wang et al. with the use of PS technology. CoCr-based powders were deposited on carbon structural steel Q235. The electrochemical polarization curve was recorded in experiments conducted in the 3.5% NaCl solution open to air at room temperature. An excellent corrosion resistance was reported. Tested samples showed higher corrosion potential in comparison with the pure carbon steel plates and passivation film was formed on their surface [26]. Another group, Huang et al., have proposed studies on deposition of Ni-based alloy on corrosion properties. NiCrBSi layers were sprayed on stainless steel substrates. Corrosion resistance examination was performed with the use of SEM after immersion of samples in an acidic environment. Minor defects on the surface of the coatings after corrosion tests were observed. It was stated that Ni-based alloy deposited on stainless steel can be a solid candidate in protective coatings for electrical engineering applications, not only because of their anticorrosive properties but also since their good mechanical behavior, such as wear resistance or proper microhardness values [27]. Zamani et al. fabricated PS composite coatings on the base of commercially available ceramic powders – Al_2O_3 and Cr_2O_3 and their combinations in different mass ratios. Powders were deposited on carbon steel plates and then covered with epoxy resin in order to study the influence of its addition on corrosion behavior. Corrosion experiments were performed with the use of potentiodynamic polarization, electrochemical impedance spectroscopy, and long-term immersion in 3.5% NaCl solution. The best corrosion resistance was observed for Cr_2O_3 coating. The lowest corrosion resistance was reported for a powder with a composition of 75 wt% Cr_2O_3 and 25 wt% Al_2O_3 . Also, it was confirmed that the addition of epoxy resin has a positive effect on the anticorrosive properties of analyzed coatings [28].

2.3. Other thermal spray technologies

Even though HVOFS and PS thermal spray technologies are the most common in anticorrosive coatings, other methods are also applied [29]. Lee et al. have reported studies on a corrosion mechanism of AlZn coating deposited by WAS technology. After corrosion tests in 3.5% NaCl solution, it was proved that corrosion resistance properties at long-term exposure durations improved significantly. The same group of researchers has analyzed the influence of treatment Al-based coatings with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ on corrosion characteristics. Al layers were deposited on mild steel by WAS. Impedance spectroscopy was used to study the corrosion behavior of coatings in simulated ocean water conditions. It was observed that Al-based coating is prone to corrosion, however, after the treatment with $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, the corrosion rate reduces significantly [30,31]. Another example of WAS anticorrosive coatings are tests carried by Park et al. An influence of sealing the thermally sprayed Inconel 625 coatings on the corrosion resistance was studied in seawater SW. Bare Inconel 625 coating showed poor corrosion resistance and different powders - zinc, inorganic ceramic, and organic-inorganic composite - were used for sealing surfaces of tested samples. The corrosion resistance of coatings improved significantly, especially in the case of inorganic ceramic powder used as a sealing factor [32]. FS technology was applied by Fu et al. in research on a nanodiamond and Al composite for marine applications. The corrosion resistance of the coatings was investigated by electrochemical polarization testing in a 3.5% NaCl solution. Results show that the coatings enriched with nanodiamond particles show reduced porosity and increased hardness which can possibly lead to enhanced anticorrosive and antiwear properties. This report presents a promising way of fabrication of nanodiamond reinforced composite coatings for potential marine applications [33]. Coatings fabricated by Saraswati et al. with the use of FS have shown an enhanced corrosion resistance in comparison with uncoated steel samples. A ball-milled wood charcoal, TiO_2 , and their mixture were sprayed on steel substrates. Compared with the bare steel substrates, the coated substrates demonstrated better corrosion resistance to both acid and water. The corrosion rate was almost 3 times slower for the samples coated with the wood charcoal and TiO_2 composite [34]. Even though DS is one of the oldest known thermal spray technologies, it is still exploited in materials science. Cui et al. have prepared Fe-based coatings on carbon steel plates and studied the influence of different oxygen-fuel ratios on the macrostructure and corrosion behavior of the materials. Corrosion behaviors of the coatings were investigated by potentiodynamic polarization and electrochemical impedance spectroscopy in a 3.5% NaCl solution. The corrosion resistance is dependent on the composition and appearance of passivation film formed on the surface of coatings. It was shown that coating obtained with a value of oxygen-fuel ratio stated at 2.0, corrosion rate was the lowest which indicates its best corrosion resistance. The same research group has also reported studies on Fe-based amorphous coatings deposited by DS technology on Mg alloy substrates. Corrosion was also studied by potentiodynamic polarization tests in 3.5% NaCl solution. The structure of coatings was studied and a low porosity was observed which could be a good factor in the case of corrosion tests. It was reported that corrosion current density is much lower in comparison with bare Mg substrate and it can be attributed to a disordered structure of coatings [35,36]. The values of the corrosion potential E_{corr} and the corrosion current I_{corr} reported in the abovementioned works are summarized in Table 1.

3. Application areas of thermally sprayed anticorrosive coatings

Apart from the main purpose of the thermally sprayed coatings mentioned in this review, which is corrosion protection, they may also have other properties that allow them to be used in various industrial areas. One of the constantly developing trends in the

Table 1. Corrosion parameters of the discussed thermal sprayed coatings
Tabela 1. Parametry korozyjne omawianych powłok natryskiwanych cieplnie

Material	Technology	Substrate	Solution	E_{corr} [V]	I_{corr} [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	Ref.
Al_2O_3	PS	Stainless steel	NaCl	-0.342	0.735	[21]
$\text{Al}_2\text{O}_3+1,5 \text{ wt\% GO}$	PS	Carbon steel	NaCl	-0.147	15.000	[25]
$\text{Al}_2\text{O}_3+2,0 \text{ wt\% GO}$	PS	Carbon steel	NaCl	-0.145	10.000	[25]
AlZn	WAS	Mild steel	NaCl	-1.123	7.190	[30]
CoCrFeNiNb	PS	Carbon steel	NaCl	-0.370	7.230	[26]
Cr_2O_3	PS	Carbon steel	NaCl	-0.590	1.893	[28]
F-HA	PS	Stainless steel	PBS	-0.350	0.036	[23]
FeCrMoCB	DS	Carbon steel	NaCl	-0.536	2.500	[35]
FeCrMoCB	DS	Mg alloy	NaCl	-0.690	5.360	[36]
FeCrSiBPCrMoAlS	HVOFS	Carbon steel	HCl	-0.341	131.900	[12]
FeCrSiBPCrMoAlS	HVOFS	Carbon steel	NaCl	-0.707	2.300	[12]
FeCrSiBPCrMoAl+NiCrSiBCuMoFe+WC	HVOFS	Stainless steel	HCl	-0.340	132.300	[13]
HA-TiO ₂	PS	Ti alloy	HBSS	-1.100	12.600	[24]
HA-ZrO ₂	PS	Ti alloy	HBSS	-1.120	9.880	[24]
NiCrMoFeNbTaCoMnAl	WAS	Mild steel	SW	-0.160	0.107	[32]
WCCo	HVOFS	Mg alloy	NaCl	-0.605	3.900	[16]
WCCrCNI	HVOFS	Carbon steel	NaCl	-0.679	1.260	[14]

use of thermally sprayed coatings are renewable energy sources. In the case of anticorrosive coatings, the main focus is on improving the protective properties of construction elements in wind and hydropower plants (turbines, plain bearings, water wheels) or biomass combustion boilers [37,38]. Abovementioned elements are exposed to many unfavorable environmental factors, such as high humidity, UV radiation, acid rains, temperature fluctuations, which in turn implies their high susceptibility to corrosion [39]. Gateman et al. have reported studies on the cost-effective fabrication of superhydrophobic stainless steel surfaces with the use of HVOFS for the potential application in hydroelectric power plants [40]. Oksa et al. proposed thermally sprayed Ni-based coatings on boiler tubes. Prepared materials showed excellent corrosion resistance at high temperatures after two years of exposure to high temperatures in a circulating fluidized boiler. These coatings are a great candidate for biomass-fired power plant boilers [41].

Besides renewable energy sources, thermally sprayed anticorrosive coatings are also helpful in a biomaterials industry for, among others, implants, prostheses, or antibacterial surfaces. In research from Baltatu et al., a new system of Ti-based alloy coated with thin layers of ZrO₂ with the use of PS was presented. Corrosion resistance and biocompatibility were examined in order to prove their capability of a long-term presence in the human tissues. This shows its potential for use as biological bone implants [42]. Yang et al. reported extensive studies on the antibacterial HA-based FS coatings for corrosion resistant biocompatible orthopedic implants. The antibacterial activity of 14 rare earth elements (Eu, Gd, Ce, Nd, Y, La, Pr, Er, Sm, Ho, Tb, Yb, Lu, Dy) was examined against Gram-positive and Gram-negative bacteria. Gd was selected for further studies since it exhibited the most outstanding antimicrobial properties. Then, HA-Gd composites were prepared and deposited on Ti substrates. Excellent bacteria growth inhibition and biocompatibility were proved [43]. Another thermally sprayed HA coatings were described by the Singha et al. research group. The studies were based on the preparation of a composite comprising of HA with SiO₂ and its deposition on steel substrates using PS technology. Corrosion resistance was determined and future antimicrobial activity studies were planned in order to prove their potential for clinical applications [44].

A different industrial branch where anticorrosive thermally sprayed materials are widely employed is construction and chemical engineering. Here, functional elements such as: pipes, pumps, nuclear reactors, boiler tubes, and many others, can be mentioned

[45,46]. Poirier et al. have prepared stainless steel coatings deposited on Al alloy substrates using WAS technology. Because of their good anticorrosive properties, obtained coatings are claimed to have possible applications as brake rotor disks [47]. Thermal spray technologies are also suitable for coating large building elements, e.g. bridges. Knudsen et al. have reported a comprehensive study on the corrosion behavior of a few steel bridges coated with thermally sprayed Zn layers, located in Norway. It was stated that such constructions show very long lifetimes and great long-term corrosion resistance [48].

4. Summary

Thermal spray technologies have been applied in materials engineering for many years now. Due to their exceptional advantages such as: high efficiency, low process costs, and minimal negative impact on the environment, they are successfully used in various branches of science and industry. The main direction of using thermal spraying is fabrication of functional coatings, including anticorrosive coatings. Another significant benefit is the possibility of processing a variety of materials – pure metals, metal alloys, ceramics, metal-polymer composites, nanomaterials – which determines a wide spectrum of their applications [8,39]. As it is presented in this paper, thermal spray technologies have a significant contribution in the anticorrosive coatings sector. Moreover, the coatings obtained with the mentioned methods are considered to be multifunctional, and can be used in many other complementary areas, such as, e.g. renewable energy sources, biotechnology, or the construction industry. Their development is focused not only on improving the anticorrosive properties but also extending the exploitation time of the coated elements. Currently, the principal direction of research on thermally sprayed coatings is based, among others, on their use in the automotive and aviation industries. The dynamic evolution of new, efficient technologies leads to the constant search for best solutions, therefore there are still many potential areas of application of thermal spraying to be explored.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Tomasz Szulc. 2013. "Notatki z historii natryskiwania termicznego". *Przegląd Spawalnictwa*. 85(6).
- [2] Katica Simunovic. 2010. "Thermal Spraying". *Welding Engineering And Technology*. Oxford: Eolss Publishers.
- [3] Samantha Wijewardane. 2015. "Thermal spray coatings in renewable energy applications". *Future Development of Thermal Spray Coatings*.
- [4] Joseph R. Davis. 2004. "Handbook of Thermal Spray Technology". *ASM International*.
- [5] Nuria Espallargas. 2015. "Future Development of Thermal Spray Coatings: Types, Designs, Manufacture and Applications". *Woodhead Publishing*.
- [6] Lech Pawlowski. 2008. "The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings". *John Wiley & Sons, Ltd*.
- [7] Pierre L. Fauchais, J. V. R. Heberlein, M. I. Boulos. 2014. "Thermal Spray Fundamentals From Powder to Part". *Springer, Boston, MA*.
- [8] Jimmy Mehta, V. K. Mittal, P. Gupta. 2017. "Role of Thermal Spray Coatings on Wear, Erosion and Corrosion Behavior: A Review". *Journal of Applied Science and Engineering*. 20 (4):445-452.
- [9] Sahar A. Galedari, A. Mahdavi, F. Azami, Y. Huang, A. McDonald. 2019. "A Comprehensive Review of Corrosion Resistance of Thermally-Sprayed and Thermally-Diffused Protective Coatings on Steel Structures". *Journal of Thermal Spray Technology*. 28:645-677.

- [10] Shrikant Joshi. 2020. "Advances in Thermal Spray Technology". *Materials*. 13(16).
- [11] T. S. Sidhu, S. Prakash, R.D. Agrawal. 2005. "State of the Art of HVOF Coating Investigations - A Review". *Marine Technology Society Journal*. 39(2):53-64.
- [12] S. L. Wang, H. X. Li, S. Y. Hwang, S. D. Choi, S. Yi. 2012. "Corrosion Behaviors of Coatings Fabricated Using Bulk Metallic Glass Powders with the Composition of $Fe_{68.5}C_{7.1}Si_{1.3}B_{5.5}P_{8.7}Cr_{2.3}Mo_{2.5}Al_2$ ". *Metals and Materials International*. 18:607-612.
- [13] Shan-Lin Wang, J. C. Cheng, S. H. Yi, L. M. Ke. 2014. "Corrosion resistance of Fe-based amorphous metallic matrix coating fabricated by HVOF thermal spraying". *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 24:146-151.
- [14] Alin C. Murariu, N. Pleșu, I. A. Perianu, M. Tară-Lungă-Mihali. 2017. "Investigations on Corrosion Behaviour of WC-Cr-Ni Coatings Deposited by HVOF Thermal Spraying Process". *International Journal of Electrochemical Science*. 12:1535-1549.
- [15] Ioana Csaki, K. R. Ragnasdottir, A. Buzaianu, K. Leosson, V. Motoiu, S. Guðlaugsson, M. V. Lungu, H. O. Haraldsdottir, S. N. Karlsdottir. 2018. "Nickel-based coatings used for erosion-corrosion protection in a geothermal environment". *Surface & Coatings Technology*. 350:531-541.
- [16] Sonia García-Rodríguez, A. J. López, V. Bonache, B. Torres, J. Rams. 2020. "Fabrication, Wear, and Corrosion Resistance of HVOF Sprayed WC-12Co on ZE41 Magnesium Alloy". *Coatings*. 10.
- [17] Hetian Chi, M. A. Pans, M. Bai, C. Sun, T. Hussain, W. Sun, Y. Yao, J. Lyu, H. Liu. 2021. "Experimental investigations on the chlorine-induced corrosion of HVOF thermal sprayed Stellite-6 and NiAl coatings with fluidised bed biomass/ anthracite combustion systems". *Fuel*. 288: 119607.
- [18] Marzie Mardalia, H. R. SalimiJazi, F. Karimzadeh, B. Luthringer, C. Blawert, S. Labbaf. 2019. "Comparative study on microstructure and corrosion behavior of nanostructured hydroxyapatite coatings deposited by high velocity oxygen fuel and flame spraying on AZ61 magnesium based substrates". *Applied Surface Science*. 465:614-624.
- [19] J. N. Kumari, N. Jegadeeswaran. 2021. "Development of CNT mixed HVOF coating for water tube boiler material to improve the degradations". *Materials Today: Proceedings*.
- [20] Romnick Unabia, R. Candidato, Lech Pawłowski. 2018. "Current Progress in Solution Precursor Plasma Spraying of Cermets: A Review". *Metals*. 8 (6):420.
- [21] Singanahally T. Aruna, N. Balaji, J. Shedthi, V. K. W. Grips. 2012. "Effect of critical plasma spray parameters on the microstructure, microhardness and wear and corrosion resistance of plasma sprayed alumina coatings". *Surface & Coatings Technology*. 208:92-100.
- [22] Avanasiaappan Pragatheeswaran, P. V. Ananthapadmanabhan, Y. Chakravarthy, S. Bhandari, V. Chaturvedi, A.Nagaraj, K. Ramachandran. 2015. "Plasma spray-deposited lanthanum phosphate coatings for protection against molten uranium corrosion". *Surface & Coatings Technology*. 265:166-173.
- [23] Guanxiong Liu, X. Geng, H. Pang, X. Li, X. Li, P. Zhu, C. Zhang. 2016. "Deposition of Nanostructured Fluorine-Doped Hydroxyapatite Coating from Aqueous Dispersion by Suspension Plasma Spray". *Journal of American Ceramic Society*. 99:2899-2904.
- [24] Renu Kumari, J. D. Majumdar. 2017. "Studies on corrosion resistance and bio-activity of plasma spray deposited hydroxyapatite (HA) based TiO_2 and ZrO_2 dispersed composite coatings on titanium alloy (Ti-6Al-4V) and the same after post spray heat treatment". *Applied Surface Science*. 420:935-943.
- [25] Armugam Amudha, H. D. Shashikal, O. S. A. Rahman, A. K. Keshri, H. S. Nagaraj. 2019. "Effect of graphene oxide loading on plasma sprayed alumina-graphene oxide composites for improved anticorrosive and hydrophobic surface". *Surface Topography: Metrology and Properties*. 7 (2): 024003.
- [26] Wenrui Wang, W. Qi, L. Xie, X. Yang, J. Li, Y. Zhang. 2019. "Microstructure and Corrosion Behavior of $(CoCrFeNi)_{95}Nb_5$ High-Entropy Alloy Coating Fabricated by Plasma Spraying". *Materials*. 12(5).
- [27] Songqiang Huang, J. Zhou, K. Sun, H. Yang, W. Cai, Y. Liu, P. Zhou, S. Wu, H. Li. 2021. "Microstructural Characteristics of Plasma Sprayed NiCrBSi Coatings and Their Wear and Corrosion Behaviors". *Coatings*. 11(2).
- [28] Pejman Zamani, Z. Valefi, K. Jafarzadeh. 2022. "Comprehensive study on corrosion protection properties of Al_2O_3 , Cr_2O_3 and $Al_2O_3-Cr_2O_3$ ceramic coatings deposited by plasma spraying on carbon steel". *Ceramics International*. 48:1574-1588.
- [29] Daniel Tejero-Martin, M. R. Rad, A. McDonald, T. Hussain. 2019. "Beyond Traditional Coatings: A Review on Thermal-Sprayed Functional and Smart Coatings". *Journal of Thermal Spray Technology*. 28:598-644.
- [30] Han-Seung Lee, J. K. Singh, M. A. Ismail, C. Bhattacharya, A. H. Seikh, N. Alharthi, R. R. Hussain. 2019. "Corrosion mechanism and kinetics of Al-Zn coating deposited by arc thermal spraying process in saline solution at prolonged exposure periods". *Scientific Reports*. 9: 3399.
- [31] Han-Seung Lee, J. K. Singh. 2019. "Influence of calcium nitrate on morphology and corrosion characteristics of ammonium phosphate treated Aluminum coating deposited by arc thermal spraying process". *Corrosion Science*. 146:254-268.
- [32] Il-Cho Park, S. J. Kim. 2017. "Corrosion behavior in seawater of arc thermal sprayed Inconel 625 coatings with sealing treatment". *Surface & Coatings Technology*. 325:729-737.
- [33] Yaoyao Fu, X. Chen, B. Zhang, Y. Gong, H. Zhang, H. Li. 2018. "Fabrication of nanodiamond reinforced aluminum composite coatings by flame spraying for marine applications". *Materials Today Communications*. 17:46-52.
- [34] Teguh E. Saraswati, K. Nugroho, M. Anwar. 2018. "An anticorrosion coating from ball-milled wood charcoal and titanium dioxide using a flame spray method". *International Journal of Technology*. 5:983-992.
- [35] Shuai Cui, H. Zhai, W. Li, X. Fan, X. Li, W. Ning, D. Xiong. 2020. "Microstructure and corrosion resistance of Fe-based amorphous coating prepared by detonation spray". *Surface & Coatings Technology*. 399: 126096.
- [36] Haimin Zhai, H. Yuan, W. Li, X. Zhang, X. Li, A. Cai. 2022. "Corrosion resistance mechanisms of detonation sprayed Fe-based amorphous coating on AZ31B magnesium alloy". *Journal of Non-Crystalline Solids*. 576.
- [37] Andreas Momber, T. Marquardt. 2018. "Protective coatings for offshore wind energy devices (OWEAs): a review". *Journal of Coatings Technology and Research*. 15.
- [38] Kirsten Bobzin, W. Wietheger, G. Jacobs, D. Bosse, T. Schröder, A. Rolink. 2020. "Thermally sprayed coatings for highly stressed sliding bearings". *Wear*. 458-459.
- [39] Esmail Sadeghi, N. Markocsan, S. Joshi. 2019. "Advances in Corrosion-Resistant Thermal Spray Coatings for Renewable Energy Power Plants. Part I: Effect of Composition and Microstructure". *Journal of Thermal Spray Technology*. 28:1749-1788.
- [40] Samantha M. Gateman, K. Page, I. Halimi, A. R. C. Nascimento, S. Savoie, R. Schulz, C. Moreau, I. P. Parkin, J. Mauzeroll. 2020. "Corrosion of One-Step Superhydrophobic Stainless-Steel Thermal Spray Coatings". *Applied Materials & Interfaces*. 12:1523-1532, 2020.
- [41] Maria Oksa, P. Auerkari, J. Salonen, T. Varis. 2014. "Nickel-based HVOF coatings promoting high temperature corrosion resistance of biomass-fired power plant boilers". *Fuel Processing Technology*. 125:236-245.
- [42] Madalina S. Baltatu, P. Vizureanu, A. V. Sandu, C. Munteanu, B. Istrate. 2020. "Microstructural Analysis and Tribological Behavior of Ti-Based Alloys with a Ceramic Layer Using the Thermal Spray Method". *Coatings*. 10 (12):1216.
- [43] Chunling Yang, J. Liu, Q. Ren, Y. Liu, P. Zhou, H. Li. 2021. "Development of Novel Thermal Sprayed Hydroxyapatite-Rare Earth (HA-Re) Coatings for Potential Antimicrobial Applications in Orthopedics". *Journal of Thermal Spray Technology*. 30:886-897.
- [44] Gurpreet Singha, H. Singhb, B. S. Sidhuc. 2013. "Corrosion behavior of plasma sprayed hydroxyapatite and hydroxyapatite-silicon oxide coatings on AISI 304 for biomedical application". *Applied Surface Science*. 284:811-818.
- [45] Zhengang Duan, H. Yang, S. Kano, K. Murakami, Y. Satoh, Y. Takeda, H. Abe. 2018. "Oxidation and electrochemical behaviors of Al_2O_3 and ZrO_2 coatings on Zircaloy-2 cladding by thermal spraying". *Surface and Coatings Technology*. 334:319-327.
- [46] Rakesh Kumar, R. Kumar, S. Kumar. 2018. "Erosion Corrosion Study of HVOF Sprayed Thermal Sprayed Coatings on Boiler Tubes: A Review". *International Journal of Science and Management Studies*. 1 (3).
- [47] Dominique Poirier, J. G. Legoux, E. Irissou, D. Gallant, J. Jiang, T. Potter, J. Boileau. 2019. "Performance Assessment of Protective Thermal Spray Coatings for Lightweight Al Brake Rotor Disks". *Journal of Thermal Spray Technology*. 28:291-304.
- [48] Ole Ø. Knudsen, H. Matre, C. Dørum, M. Gagné. 2019. "Experiences with Thermal Spray Zinc Duplex Coatings on Road Bridges". *Coatings* 9 (6): 371.

OLAYIDE R. ADETUNJI*

ORCID: 0000-0002-5951-6496

MOJISOLA A. OYELOWO

ORCID: 0000-0002-5827-4501

NURUDEEN O. ADEKUNLE

ORCID: 0000-0001-5186-5440

Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, Federal University of Agriculture, Abeokuta, P.M.B.2240, Abeokuta, Ogun State, Nigeria.

ABIDEEN I. ADEOGUN

ORCID: 0000-0003-2587-9261

Department of Chemistry, College of Physical Science, Federal University of Agriculture, Abeokuta, P.M.B.2240, Abeokuta, Ogun State, Nigeria

ILIYAS K. OKEDIRAN

ORCID: 0000-0002-2665-4307

Department of Mechanical Engineering, College of Engineering, Osun State University, Osogbo

DOI: 10.15199/40.2022.2.2

Corrosion tests of metal pipes in drinking water systems using electrochemical methods

Badania korozyjne metalowych rur w układach wody pitnej z zastosowaniem metod elektrochemicznych

Metals constitute some of the major materials for making water delivery pipelines. However, the service life of metallic pipelines is affected by corrosion. Mild Steel (MS), Galvanized Steel (GS) and Copper were selected based on their strength and corrosion resistance. They were subjected to Potentiodynamic Polarization (PP) and Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) investigations using water as the electrolyte from selected sampling points (A, B, C, D and E) on the University of Lagos, Akoka water distribution network. Corrosion current density (I_{corr}) and Impedance (Z) were measured in A/mm^2 and ohms respectively. The morphology of the corroded samples was examined using Scanning Electron Microscope (SEM). The result obtained from PP investigation showed I_{corr} in the low range for the three metals considered. Similarly, for EIS, Z values measured were high for MS, GS and Cu. Both methods indicated that Cu was the most corrosion resistant material, closely followed by GS and lastly MS. The SEM images clearly showed that among the three specimens, the morphology of Cu remained unaffected by the environment. On the other hand, MS and GS showed evidences of corrosion with pits. The large amounts of iron established in the studied water distribution system, confirmed corrosion of water pipes.

Keywords: Copper, Mild Steel, Galvanized Steel, Water, Potentiodynamic Polarization, Electrochemical Impedance Spectroscopy

Metale są jednym z głównych materiałów konstrukcyjnych wodociągów. Jednak trwałość metalowych rurociągów jest ograniczona ze względu na korozję. Ze względu na wytrzymałość i odporność na korozję do budowy rurociągów stosuje się stal miękką (MS), stal ocynkowaną (GS) i miedź. Próbki pobrane w wybranych miejscach (A, B, C, D i E) sieci wodociągowej Akoka poddano na Uniwersytecie w Lagos badaniom metodą polaryzacji potencjodynamicznej (PP) i elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (EIS) z zastosowaniem wody jako elektrolitu. Gęstość prądu korozyjnego (I_{corr}) i impedancję (Z) zmierzono odpowiednio w A/mm^2 i omach. Morfologię skorodowanych próbek zbadano za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). Wynik otrzymany w badaniach PP wykazał I_{corr} w niskim zakresie dla trzech rozważanych metali. Podobnie w przypadku EIS zmierzone wartości Z były wysokie dla MS, GS i Cu. Obie metody wskazywały, że miedź jest najbardziej odpornym na korozję materiałem, a następnie ocynkowana stal o podobnych właściwościach i na końcu stal miękka. Na mikrofotografiach SEM wyraźnie widać, że spośród trzech próbek metali środowisko nie miało wpływu na morfologię Cu. MS i GS wykazały ślady korozji z wżerami. Duże ilości żelaza stwierdzone w badanym systemie wodociągowym potwierdziły korozję rur.

Słowa kluczowe: miedź, stal miękka, stal ocynkowana, woda, polaryzacja potencjodynamiczna, elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna

1. Introduction

Corrosion is a natural process, which converts a refined metal to a more chemically-stable form. It is the gradual destruction of metals by chemical reaction with their environment [1].

Pipeline corrosion is a natural deterioration and destruction of pipe materials due to electrochemical reactions of pipeline materials with their environs on the inside and outside surface. Tuberculation occurs when pitting corrosion builds up at the anode, this would lead to reduction in the inner diameter [2].

*Corresponding Author: adetunjiolayide@gmail.com

Tel.: +2348033467246

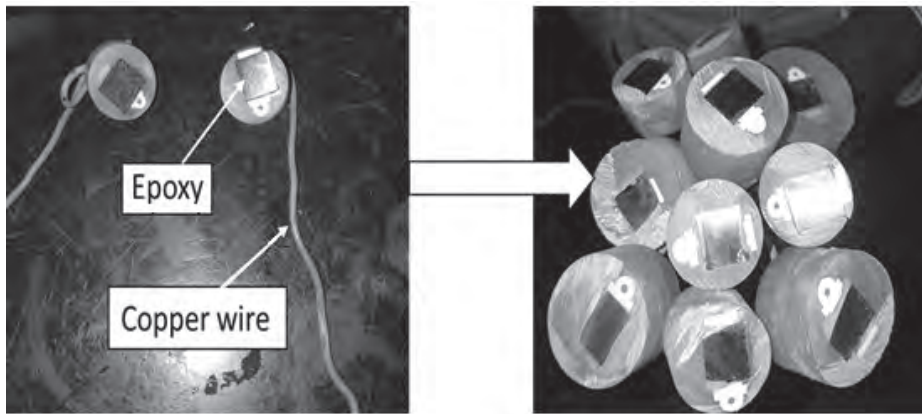


Fig. 1. Sample in epoxy before soaking in drinking water.

Rys. 1. Próbką w żywicy epoksydowej przed zanurzeniem w wodzie pitnej.

Delaunoy and Tosar (2014) studied corrosion behaviour and bio-corrosion of galvanized steel water distribution system. It was found that the quality of galvanized pipe used was partly responsible while limiting step oxygen diffusion aided the growth of anaerobic bacteria in steel tubes. The EDS analysis of the corroded coatings showed the presence of sulphur in the deposit suggesting bacteria activity [3]. Similar research was also conducted by Della *et al.*, 2013 [4].

Huttunen-Saarivirta *et al.* (2017) worked on EIS study on aerobic corrosion of copper in water under the influence of micro-organisms [5-6]. Akoto *et al.*, 2017 carried out similar investigation. It was concluded that EIS helps in understanding the influence of micro-organisms on the copper degradation process. Some researchers [7-9] reported biocorrosion or green rust in drinking water pipes in their findings.

The cost of installation and maintenance of water distribution network is enormous and consistently transcends about 70% of the total cost of installation and maintenance of other unit of water production. In this regard, it is important to have the behavioral knowledge of a water distribution network by analysing it for quality and cost optimization [10-11]. This study is justified in the areas of quality and cost optimization of distributed water in the campus of University of Lagos, Akoka, Nigeria.

The University of Lagos, Akoka water distribution network pipeline materials are made up of copper, galvanized and mild steels which had not been changed over years. This has led to tuberculation of materials due to corrosion which resulted in deterioration of the quality of water being produced and inefficient water haulage and distribution in the campus. Pipeline tuberculation and ageing are related to the quality alteration of treated water that is being transported for distribution in the water reticulation system which has led to localized water shortage. This research work, therefore aimed at studying the corrosion of selected water delivery pipeline materials using potentiodynamic polarization and electrochemical impedance spectroscopy methods.

2. Materials and Methods

The selected water delivery pipelines are made from copper, mild and galvanized steels which are used as working electrodes. Samples were collected in plastic containers at five different locations A to E (Aqua, Senate, Amina, Ozolua and Aliyu) in the University of Lagos and taken to the Laboratory for immediate analysis.

Water quality testing was carried out with the use of Hanna HI 83200 Multi-parameter photometer. The principle of operation of the equipment is based on the interaction between electromag-

netic radiation and matter during absorption of light. The optical system of HI 83200 is based on a special miniature tungsten lamp and narrow-band interference filters.

For each of the chemical parameters, 10ml of the sample was dispensed into the cuvettes and the corresponding chemical reagents (Iron and Copper) were added (in accordance with the manufacturer's specification). Analyzed values were read-off the LCD display.

The colour of the sample was measured in the HI 83200 multiparameter photometer after filtering using Whatman No. 42 filter paper. The Conductivity, Turbidity, pH and Total dissolved solids were also measured using the Adwa conductivity meter, Hanna microprocessor turbidity meter, Beckman 350 pH meter and HM digital TDS meter respectively.

The electrochemical test setup used for evaluating the corrosion behaviour of the samples consisted of a Gamry multiport corrosion cell from USA, the working electrodes (copper, galvanized steel, mild steel), a saturated calomel electrode (SCE) as the reference electrode and a graphite rod as the counter electrode [12].

The reference electrode was linked to the set up using a reference electrode bridge and the setup was connected to a Gamry Interface 1000T Potentiostat/galvonstat which was controlled by the Gamry Framework software via a laptop. In all, electrochemical test was acidified with 3ml of 0.1M Hydrochloric acid to accelerate the corrosion process. The working electrodes were soaked for five days before the commencement of each test also to facilitate the corrosion process [13].

2.1 Potentiodynamic polarization

Pipeline materials of copper, mild steel and galvanized steel samples were surface cleaned with emery paper before they were soaked in five samples (A, B, C, D and E) of electrolyte (water from different sources within the sampling area). Potentiodynamic polarization scans were conducted at room temperature of 27 °C with the Gamry Potentiostat/Galvnostat. Prior to the scan, the samples were mounted in epoxy as shown in Fig. 1[14]. Open circuit potential (OCP) was measured for 15 minutes and Potentiodynamic polarization was conducted at -0.1V vs OCP to 1.0 V vs reference electrode at a scan rate of 1mV/s.

2.2 Electrochemical Impedance spectroscopy (EIS)

EIS was conducted on the working electrode (five samples) in the electrolyte at open circuit after five days of soaking the working electrodes in the electrolyte. EIS measurements were carried out at a frequency range of 0.02 Hz to 100 kHz with a 10 mV amplitude.

2.3 Scanning Electron Microscopy (SEM)

In this study, SEM was used for assessing the surface morphologies of the copper, mild steel and galvanized steel before and after corrosion in the water samples. The SEM used in this study was of specification TESCAN JEOL JEM-7600F operated at an accelerating voltage of 15 kV. The surface morphology of the selected corroded samples was examined in backscattered mode. The images were recorded at a higher magnification. The samples for surface morphology examination were soaked for five weeks in the electrolyte which was acidified to accelerate the corrosion process.

3. Results

3.1 Physico chemical characteristics of water samples after the experiment.

Average of repeated experiment of the pH of water sample A was 6.36, this value decreased drastically after the experiment with the different metals. For mild steel, pH was 6.16; Copper 6.28 and Galvanized steel 2.25. A similar trend was observed with the pH of water sample B which had initial pH of 6.11 and reduced to 5.98 for mild steel, 6.09 for copper and 6.03 for galvanized steel. Generally, the pH of the water samples after the experiment ranged from 6.28 to 6.03.

Prior to the experiments, all the water samples used in this study had initial turbidity values of 0 FTU. However, this turbidity values increased to between 121 FTU-225 FTU (Formazine Turbidity Unit) with mild steel, copper and galvanized steel after the experiment. It was also observed that, the Total Dissolved Solids (TDS) of all the samples increased after the experiment. Furthermore, the initial colour of water samples ranged from 2 to 90 PCU (Platinum-Cobalt Units) before experiments. Colour of water, however, increased from 17 to 415 PCU after the experiments.

Table 2 shows the physico-chemical characteristics of water samples after the experiments. It could be observe that the water samples used in this study had residual chlorine values ranging from 0.06 to 0.3 mg/L of which after the experiment no residual chlorine was observed in any of the samples. Table 1 showed that the concentration of copper and iron in the water samples used in this study was within WHO limit of 6.5 – 8.5. An increase in the copper and iron content was, however, observed after the experiments, as shown in Table 2.

3.2 Electrochemical Polarization

Electrochemical polarization experiments were performed on polished copper, mild and galvanized steels cut from different old pipes in order to investigate the aggressiveness of the water. The data obtained from potentiodynamic polarization investigations are given in Table 3

Table 1. Physico chemical characteristics of water samples before the experiment.

Tabela 1. Właściwości fizyko-chemiczne próbek wody przed badaniami.

Parameter	Sample A	Sample B	Sample C	Sample D	Sample E	Standard
pH	6.36	6.11	6.35	6.39	6.39	6.5-8.5
Conductivity (μ S)	130	124	129	128	119	500
Turbidity (FTU)	0	0	0	0	0	5
T D S (mg/L)	138	147	169	149	143	500
Colour (PCU)	8	2	90	2	51	15
Res. Cl. (mg/L)	0.08	0.07	0.09	0.06	0.3	0.3
Copper (mg/L)	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.1
Iron (mg/L)	0.03	0.23	0.16	0	0.12	0.3

Table 2. Physico chemical characteristics of water samples (mean) after the experiment.

Tabela 2. Właściwości fizyko-chemiczne próbek wody (średnie) po badaniach.

Parameter	Material	Sample (Mean)	Standard
pH	Mild Steel	6.16 +/-0.082	6.5-8.5
	Galvanized Steel	6.25+/-0.008	
	Copper	6.28+/-0.033	
Conductivity (μ S)	Mild Steel	258+/-1.633	500
	Galvanized Steel	244+/-3.266	
	Copper	194+/-2.50	
Turbidity (FTU)	Mild Steel	143+/-1.633	5
	Galvanized Steel	128+/-0.816	
	Copper	121+/-0.816	
T D S (mg/L)	Mild Steel	1139+/-1.633	500
	Galvanized Steel	1521+/-2.45	
	Copper	1001+/-0.816	
Colour (mg/L)	Mild Steel	415+/-4.082	15
	Galvanized Steel	59+/-0.408	
	Copper	17+/-0.816	
Res. Cl. (mg/L)	Mild Steel	0.00+/-0	0.3
	Galvanized Steel	0.00+/-0	
	Copper	0.00+/-0	
Copper (mg/L)	Mild Steel	10.15+/-0.122	1.0
	Galvanized Steel	4.80+/-0.163	
	Copper	4.02+/-0.008	
Iron (mg/L)	Mild Steel	5.77+/-0.024	0.1
	Galvanized Steel	5.05+/-0.041	
	Copper	3.78+/-0.016	

Table 3. Corrosion data obtained from the polarization experiment.

Tabela 3. Wyniki badań polaryzacyjnych.

Sample	S/N	Material	E corr mV(sce)	I corr (μ A/cm ²)
A	1	Mild Steel	-92.7	3.65
	2	Galvanized Steel	-639	36.5
	3	Copper	-474	44.9
B	1	Mild Steel	-410	1.70
	2	Galvanized Steel	-389	2.64
	3	Copper	-110	6.21
C	1	Mild Steel	-506	0.246
	2	Galvanized Steel	-422	0.793
	3	Copper	-105	15.10
D	1	Mild Steel	-633	0.926
	2	Galvanized Steel	-231	0.592
	3	Copper	-68	1.67
E	1	Mild Steel	-660	2.97
	2	Galvanized Steel	-600	3.78
	3	Copper	150	66.40

Figure 2 (a-e) shows the Potentiodynamic polarization curves obtained from the experiment.

3.3 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS).

Copper, Mild and galvanized steels samples immersed in sample water A-E for five days. Electrochemical Impedance Spectroscopy was measured at Z as 2.42 E2 (10^2), 3.2 E2 and 2 E3 for MS, GS and Cu respectively. Fig. 3 (a-e) shows the Nyquist plots from EIS experiment. The impedance spectra obtained from the EIS are shown in Table 2.

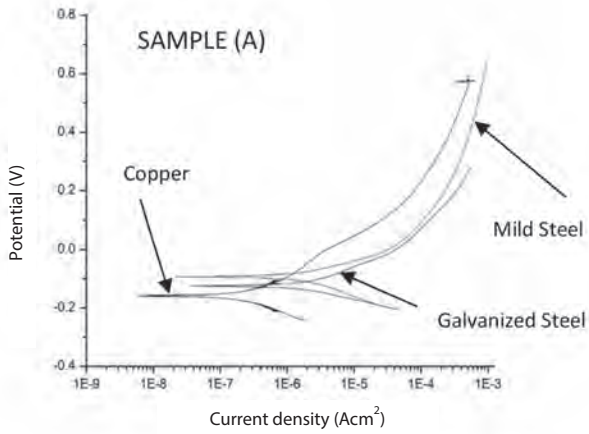


Fig. 2a. Potentiodynamic polarization of sample A.
Rys. 2a.. Polaryzacja potencjodynamiczna próbki A.

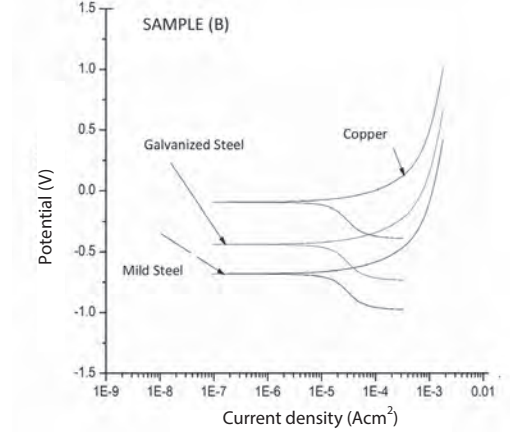


Fig. 2b. Potentiodynamic polarization of sample B.
Rys. 2b. Polaryzacja potencjodynamiczna próbki B.

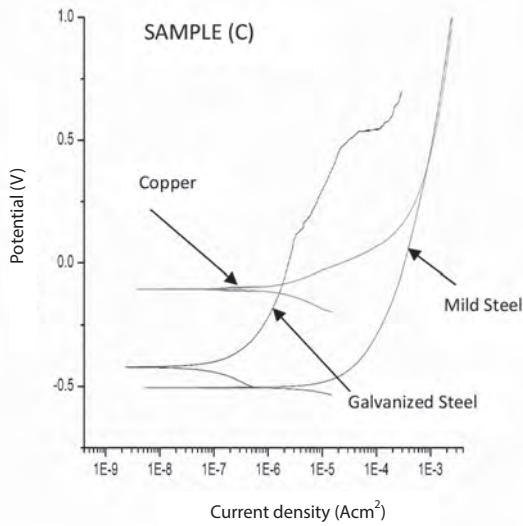


Fig. 2c. Potentiodynamic polarization of sample C.
Rys. 2c. Polaryzacja potencjodynamiczna próbki C.

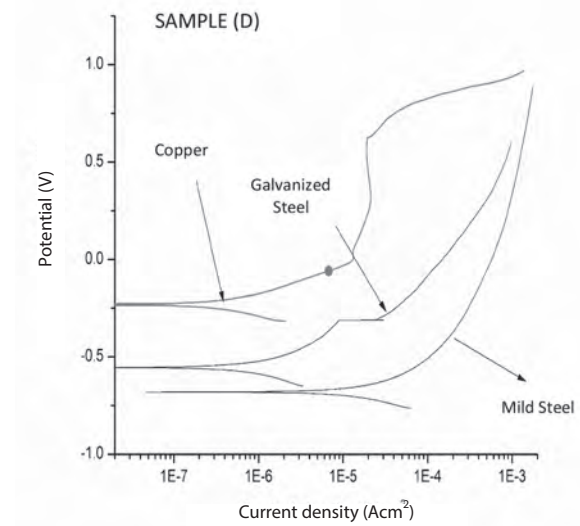


Fig. 2d. Potentiodynamic polarization of sample D.
Rys. 2d. Polaryzacja potencjodynamiczna próbki D.

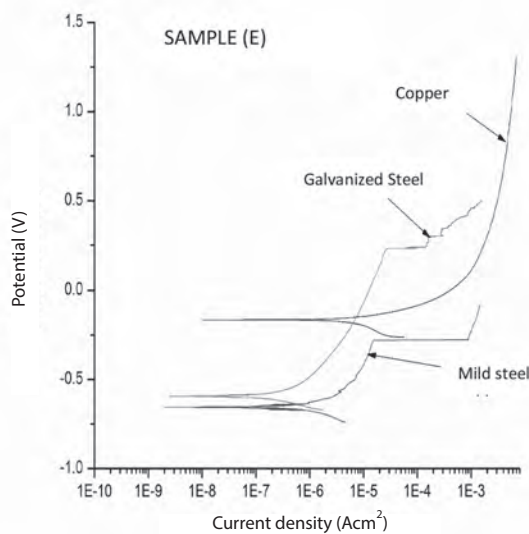


Fig. 2e. Potentiodynamic polarization of sample E.
Rys. 2e. Polaryzacja potencjodynamiczna próbki E.

The EIS plots come in two types: Nyquist plot or Bode magnitude phase plot. For this test, Nyquist plot, was employed as shown in galvanized samples A, B, C and E, Copper samples B, and C mild steel samples C and D a semi-circle indicates that the corrosion process is controlled by the rate at which electron is transferred from the metal into the electrolyte. While in the rest of the samples, a straight line with a slope of 45° indicates the corrosion process is governed by diffusion of reacting species in the electrolyte. The result showed that copper is the most corrosion resistant material in all media except sample A with galvanized steel as most resistant as shown in the impedance spectra presented in Fig. 3 a-e.

Table 4. Corrosion data obtained from the Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

Tabela 4. Wyniki badań impedancyjnych

Samples	Mild Steel (ohm)	Galvanized Steel (ohm)	Copper (ohm)
A	3.00×10^2	2.0×10^3	1×10^3
B	2.42×10^2	3.2×10^2	2×10^3
C	4.00×10^2	1.5×10^3	4×10^3
D	3.30×10^2	4.5×10^2	5×10^3
E	2.70×10^2	3.0×10^2	5×10^3

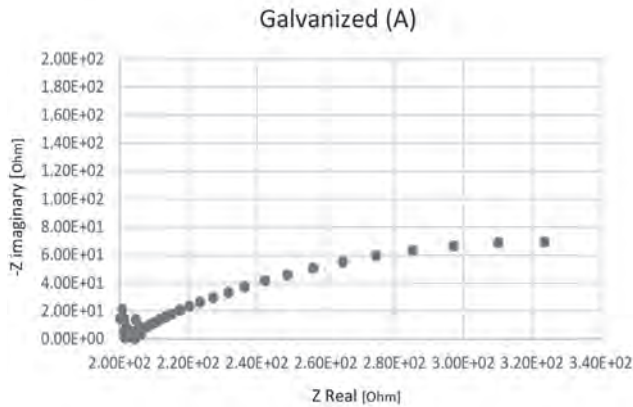


Fig. 3a. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Galvanized Steel (Sample A).
Rys. 3a. Elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna stali ocynkowanej (próbka A).

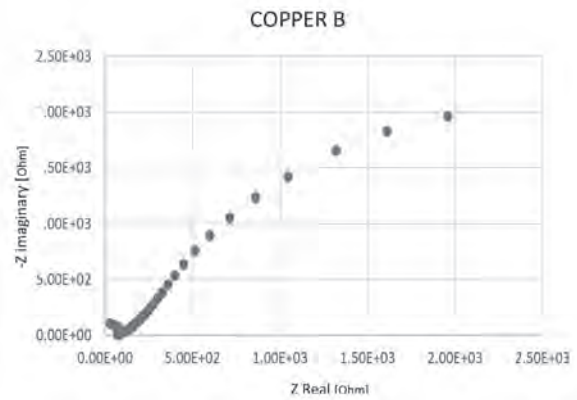


Fig. 3b. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Copper (Sample B).
Rys. 3b. Elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna miedzi (próbka B).

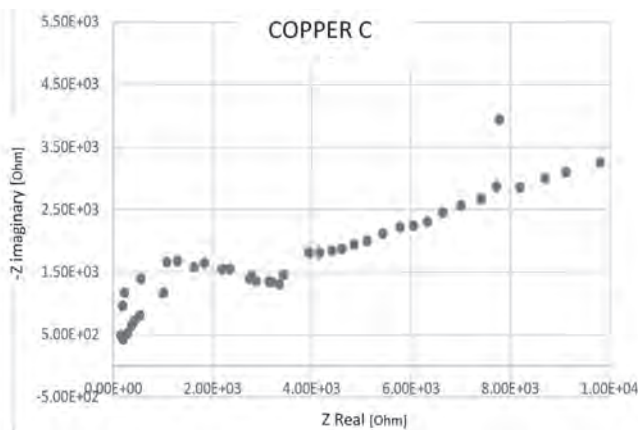


Fig. 3c. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Copper (Sample C).
Rys. 3c. Elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna miedzi (próbka C).

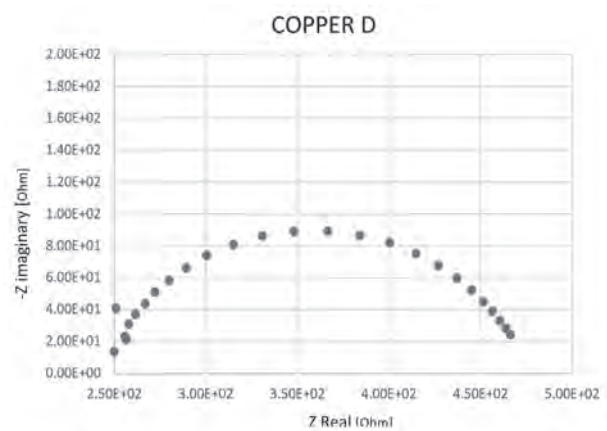


Fig. 3d. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Copper (Sample D).
Rys. 3d. Elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna miedzi (próbka D).

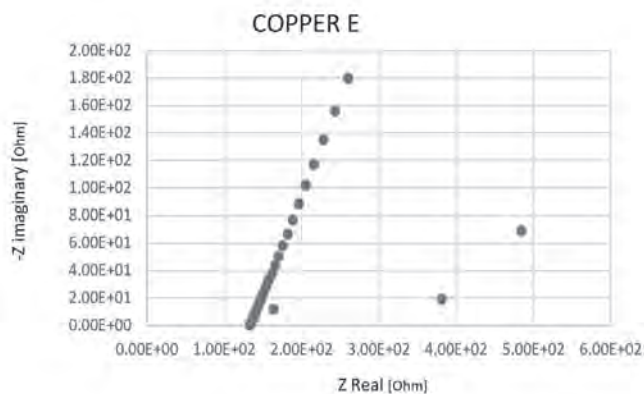


Fig. 3e. Electrochemical Impedance Spectroscopy of Copper (Sample E).
Rys. 3e. Elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna miedzi (próbka E).

3.4 Surface morphology (SEM images)

The result of the surface morphologies of selected copper, galvanized steel and mild steel specimens immersed in water named Samples A and Sample E for four weeks as is shown in Fig. 4. Conventionally, morphology of any polished sample will be relatively smooth while that of a corroded sample will be rough and could show defects caused by the accelerated corrosion process. The surface morphologies of selected copper, specimen (a and b) are smooth, galvanized steel (specimen c and d) are rough and show

some corrosion pits while Mild Steel (specimen e) appear very rough and have more corrosion pits after the experiment. Specimen f is the control sample of Mild Steel not immersed in water samples.

4. Discussion

4.1 Physico chemical characteristics of water samples after the experiment

The pH of water samples after the experiment ranged from 5.98 to 6.28, which does not conform to the WHO standard limit of 6.5 to 8.5. The decrease in pH affects the quality of water passing through the pipes and makes water treatment more expensive. The turbidity of water also increased, development of turbidity could be attributed to the dissolution of rust from the experiment media (mild steel, copper and galvanized steel) into the water. Total Dissolved Solids (TDS) value describes the number of inorganic salts and organic matter present in solution in water [10]. The increment of Colour of water after the experiment from 2-90PCU to 17-415PCU, indicate that colour is affected by dissolved solids in the water samples after treatment. Colour in water could be attributed to the presence of coloured organic substances, metals such as iron, manganese and copper [13]. Table 1 shows that the Copper and Iron in water samples used in this study was within WHO limit, however after the experiment, mild steel, copper and galvanized steel, the copper and iron content increased, Table 2 confirmed the present of large amount of iron responsible for deterioration of potable water quality [6].

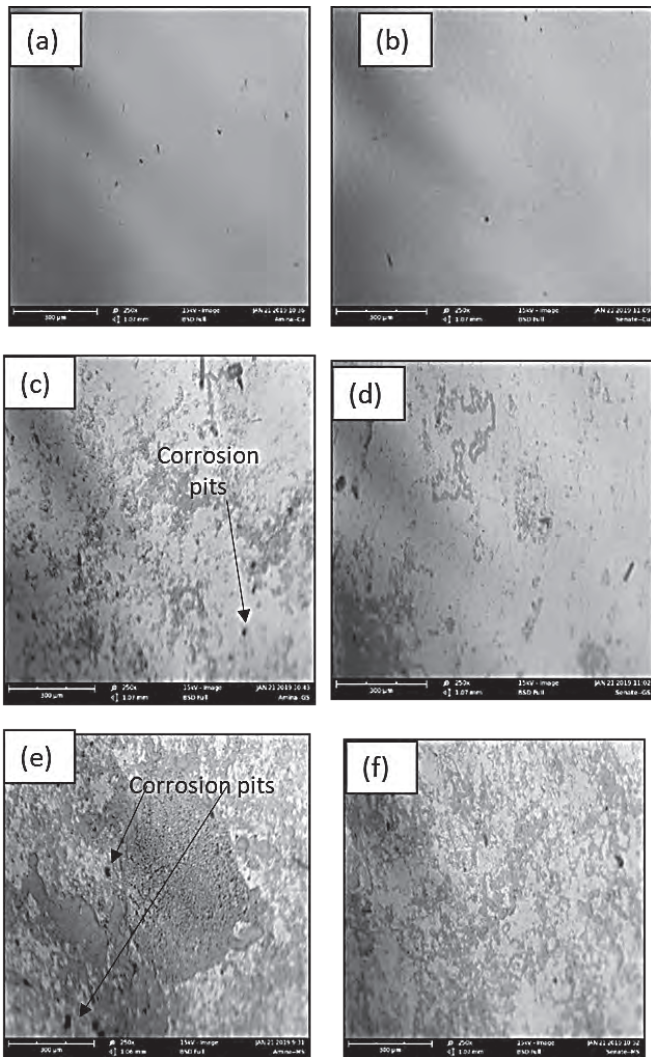


Fig. 4. SEM images of Copper, (a, b), Galvanized Steel (c, d), Mild Steel (e) after 42 days while f is control Mild steel sample.

Rys. 4. Mikrofotografie SEM miedzi (a, b), stali ocynkowanej (c, d), stali miękkiej (e) po 42 dniach, podczas gdy f jest kontrolną próbką stali miękkiej.

4.2 Potentiodynamic Polarization

From the results presented in Table 3, it can be observed that copper generally exhibited higher corrosion potential than mild steel and galvanized steel which indicates that copper showed a lower tendency to corrode than galvanized steel and mild steel in the same electrolyte. This observation can be attributed to the position of copper in the galvanic series compared to steel as copper is more noble than steel. However, corrosion resistance is not judged by corrosion potential but by the rate of corrosion, which is directly proportional to corrosion current density. Copper and galvanized steel showed lower corrosion current density in all water samples than mild steel indicating that these materials exhibited the lowest corrosion rate compared to mild steel. The zig zag result of corrosion current density of the metallic samples could be caused by changes in water parameters sourced from different locations. However, the lowest corrosion current density was observed in copper and galvanized steel in sample C and D meaning that these materials were more corrosion resistant in sample C. In contrast, mild steel showed the highest corrosion current density in samples A, C and E indicating that mild steel is unsuitable to be used for

water pipes distribution. These results are similar to those of earlier researches [15-16].

4.3 Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)

In the EIS result shown in Figures 2-6, the Nyquist plots for the materials in sample A showed semi-circle which indicates that corrosion was controlled by charge transfer from the metal into the electrolyte. However, copper showed an additional Warburg diffusion line indicating that diffusion of oxygen also had great influence on the corrosion process. This observation may have been due to the fact that the solutions was exposed to open air and given that air has high affinity for copper, diffusion would also play an important role in the corrosion process. In Sample B, similar observation of the existence of a semi-circle was seen in Nyquist plot for galvanized steel and copper indicating charge transferred controlled process. In mild steel however, a Warburg diffusion impedance was observed indicating that diffusion of oxygen also controlled that corrosion process [17].

In sample C, D and E, the Nyquist plots copper and mild steel exhibit characteristic charge transfer control semi-circles while galvanized steel exhibited additional Warburg diffusion impedance. The diameter of the semi-circle can be employed to estimate the polarization resistance. It is generally known that the higher the polarization resistance, the higher the corrosion resistance and the lower the corrosion current density. The result shows that copper exhibit the highest polarization resistant in sample C and followed by galvanized steel and mild steel respectively. This result is consistent with the result of the Potentiodynamic polarization, which indicated that copper showed the lowest corrosion rate in sample C [18].

5. Conclusions

This research work established the effect of changes in water parameters on the corrosion of selected pipeline materials, specifically the following can be concluded;

- The exhibition of different corrosion rates of each metallic sample in the drinking water was as a result of changes in water parameters taken from different locations.
- The potentiodynamic polarization method established the corrosion rate of mild steel in drinking water to be greater than that of galvanized steel while copper has the least corrosion rate.
- The EIS study also established that the impedance of mild steel, galvanized steel and copper in drinking water was in increasing order indicating severe corrosion of mild steel and galvanized steel in drinking water while that of copper is tolerable.
- The quality of the water in terms of colour, conductivity, turbidity, pH and dissolved solid (TDS) decreased after the simulated experiment. The physicochemical characteristics of water samples which were within the World Health Organization (WHO) standards of drinking water decreased after the simulated experiment especially in pH, colour and total dissolved solids of copper and iron, which implies that water passing through these pipes may serve as contaminant.
- The surface morphology (SEM) clearly shows that among the three specimen, the morphology of copper remain unaffected by the environment.

Acknowledgement

The authors are grateful to the authority of University of Lagos, Akoka, Nigeria for approving the conduct of this research.

BIBLIOGRAPHY

- [1] Philip, A., Schweitzer, T., Francis, G. L. L. C. 2010 *Fundamentals of corrosion – Mechanisms, Causes and Preventative Methods*. ISBN 978-1-4200-6770-5, p. 25.
- [2] Ray, R. I., Lee, J. S., Little, B. J., Gerke, T. L. 2010. "The anatomy of tubercles: a corrosion study in a fresh water estuary". *Materials and Corrosion* 61 (12): 993-999.
- [3] Delaunois, F., and Tosar, F., Vitry, V. 2014. "Corrosion behaviour and biocorrosion of el water distribution systems". *Bioelectrochemistry* 97 : 110-119.
- [4] Della, R. C. A., Silva, R., Moretti, C., Kuri, S. E. 2013. "Corrosion failure analysis of galvanized steel pipes in a water irrigation system". *Engineering Failure Analysis* 33: 381-386. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2013.06.024>.
- [5] Huttunen-Saarivirta, E., Rajala, P., Bomberg, M., Carpén, L. 2017. "Corrosion of copper in oxygen-deficient groundwater with and without deep bedrock micro-organisms: characterisation of microbial communities and surface processes". *Applied Surface Sciences* 396 : 1044–1057.
- [6] Akoto, O., Gyamfi, O., Darko, G., Barnes V. R. 2017. „Changes in water quality in the Owabi water treatment plant in Ghana". *Applied Water Sciences* 7 : 175-186.
- [7] Bhawe, P. R. 2011. *Water resources systems*. Environ. Eng., Narosa publishing house 104: 799-814.
- [8] Bolton, N., Critchley, M., Fabien, R., Cromar, N., Fallowfield, H. 2010. "Microbially influenced corrosion of galvanized steel pipes in aerobic water systems" *Journal of Applied Microbiology* 109 (1) : 239-247; doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04650
- [9] Savic D., Banyard J.K. 2011. *Water Distribution Systems*. Institution of Civil Engineers.
- [10] Swietlik, J. 2012. "Corrosion in drinking water pipes: the importance of green rusts". *Journal of Water Research* 46(1):1-10.
- [11] Shuang, Q. 2014. "Performance and reliability of water distribution systems". *Journal of Hydraulic Engineering* 116:1119-1137.
- [12] Cui, J., Yang, Y., Li, X., Yuan, W., Pei, Y. 2018. "Toward a slow-release borate inhibitor to control mild steel corrosion in simulated recirculating water". *ACS Applied Materials Interfaces* 10, 4183–4197.
- [13] Adeniran, A. E. and Oyelowo, M. A. 2013. "An EPANET Analysis of Water Distribution Network of the University of Lagos". *Journal of Engineering Research* 18 (2) : 69-83.
- [14] Aina, A. T., Oshunrinade, O. O. 2016. "Comparison of water quality from boreholes and hand-dug wells around and within the University of Lagos Akoko, Lagos State". *International Journal of Research in Environmental Studies* 3 : 93-100.
- [15] Doğru, M. B. 2016. "Corrosion protection of aluminum by electrochemically synthesized composite organic coating". *Corrosion Science* 103 : 88–94.
- [16] BenSalah, M., Sabot, R., Triki, E., Dhoubi, L., Refait, P., Jeannin, M. 2014. "Passivity of Sanicro28 (UNS N-08028) stainless steel in polluted phosphoric acid at different temperatures studied by electrochemical impedance spectroscopy and Mott-Schottky analysis". *Corrosion Science* 86: 61–70.
- [17] Gamry Instruments. 2018. *Total Harmonic distortion: theory and practice*.
- [18] Albrimi, Y.A., Addi, A.A., Douch, J., Souto, R. M., and Hamdani, M. 2015. "Inhibition of the pitting corrosion of 304 stainless steel in 0.5 M hydrochloric acid solution by heptamolybdate ions". *Corrosion Science* 90 : 522-528.

PATRONAT PRASOWY: **ochrona przed korozją**

**28. Ogólnopolska Konferencja
Naukowo-Techniczna
ANTYKOROZJA · Systemy - Materiały - Powłoki
25–27.04.2022, Ustroń, hotel Jawor**



Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Przemysłu Chemicznego, Oddział Gliwice, serdecznie zaprasza na kolejną, 28. Ogólnopolską Konferencję Naukowo-Techniczną ANTYKOROZJA 2022.

Referaty i postery konferencji (w formie publikacji) są recenzowane i publikowane w czasopiśmie „Ochrona przed Korozją”.

Podczas konferencji organizowany jest konkurs z nagrodami na najlepszy poster.

Przyznawana jest także nagroda za najlepiej wygłoszony referat w grupie młodych pracowników naukowych.

W dotychczasowych konferencjach licznie uczestniczyli przedstawiciele uznanych placówek naukowo-badawczych zajmujących się korozją, dużych i średnich zakładów przemysłowych oraz przedsiębiorstw produkcyjno-usługowych. Uczestnicy przedstawiali efekty swoich prac badawczych, zapoznawali się ze światowymi nowościami i osiągnięciami, z doświadczeniami i sukcesami w walce z korozją.

Organizatorzy dokładają wszelkich starań, aby tegoroczna konferencja była równie wartościowa i udana jak poprzednie i zapraszają zainteresowane firmy do przedstawienia swoich ofert, nowych wyrobów i technologii, a uczestników zachęcają do skorzystania z wiedzy i doświadczeń referentów, koleżeńskiej dyskusji, oraz wyrażenia swoich opinii i spostrzeżeń.

Kluczowe zagadnienia Antykorozyji '2022:

- Materiały, powłoki, systemy i technologie,
- Elektrochemiczna ochrona przed korozją,
- Kierunki badań antykorozyjnych,
- Problemy korozyjne w budownictwie,
- Korozja mikrobiologiczna,
- Zabezpieczenie maszyn, urządzeń i środków transportu.

Termin konferencji: 25-27 kwietnia 2022 r.

Informacje: SITPChem Oddz. Gliwice tel. 664 42 351 i 664 421 349 oraz www.gliwice.sitpchem.org.pl

Zgłoszenia uczestnictwa do 04 kwietnia 2022 r.



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

ANDRZEJ GŁĘBOWICZ

Dylemat inspektora malarskiego: Jak nadzorować aplikację pasywnego pęczniającego systemu ogniochronnego

W artykule omówiono podobieństwa i różnice przy odbiorach powłokowych systemów antykorozyjnych i pęczniących z punktu widzenia inspektora nadzoru malarskiego.

Słowa kluczowe: nadzory malarskie, systemy ogniochronne

1. Wprowadzenie

Celem niniejszego tekstu jest uświadomienie kadrom nadzorującym, w tym inspektorom malarskim, jak prowadzić inspekcje aplikacyjne pęczniących systemów ogniochronnych i czym mogą się one różnić w porównaniu ze standardowymi inspekcjami powłokowych systemów antykorozyjnych. Artykuł dotyczy produkcji nowych konstrukcji i jest raczej schematem przeglądowym procesów nadzoru, bez analizy szczegółów technicznych procesu produkcji.

2. Ogólna charakterystyka systemów antykorozyjnych i ogniochronnych

Produkty do typowej ochrony przed korozją bazują najczęściej na żywicach epoksydowych, alkiokrzemianowych czy też poliuretanowych, ale – w zależności od zastosowania i warunków eksploatacji – mogą opierać się na innych żywicach, np. polisiloksanowych, akrylowych lub wręcz alkidowych. Wyroby ogniochronne w większości są oparte na modyfikowanych żywicach akrylowych lub epoksydowych.

Odrębną klasą wyrobów ogniochronnych (których nie dotyczy niniejsza praca) są te oparte na betonach ciężkich lub lekkich betonach wermikulitowych, które należałoby aplikacyjnie kwalifikować bliżej tynków niż ciekłych produktów malarskich. Sądząc z powyższego, powłokowe pęczniące systemy ogniochronne, w aspekcie zastosowanych bazowych składników błonotwórczych, niewiele różnią się od produktów malarskich stosowanych w antykorozji. Z tego punktu widzenia nadzór nad aplikacją systemów tworzonych z ciekłych materiałów polimerowych, tworzących twarde powłoki na stali, nie powinny generalnie różnić się co do istoty kontrolowanych procesów czy parametrów.

A jednak...

Nie zapominajmy, że pęczniące produkty ogniochronne posiadają w swoim składzie specyficzne składniki, niewystępujące w żadnej innej farbie. To substancje dostarczające materiał bogaty w węgiel niezbędny do tworzenia piany (zwykle pentaerytryt, ulegający katalizowanej kwaśno dehydratacji w określonym zakresie temperatur) oraz substancje pianotwórcze rozkładające się z wydzieleniem gazów obojętnych w celu formowania warstwy spęcznionej (zwykle melamina lub pochodne). Obecność tych składników istotnie zmienia właściwości reologiczne farby, takie jak gęstość i lepkość produktu, jak też wytrzymałość mechaniczną

i wrażliwość tworzonej powłoki na parametry aplikacyjne oraz proces sezonowania.

3. Zastosowanie systemów antykorozyjnych i ogniochronnych

Powłokowe systemy antykorozyjne ogólnie mają spełniać jeden cel: zabezpieczać przed korozją konstrukcję stalową, betonową czy też z innego materiału nieodpornego na korozję w warunkach eksploatacji. Oczywiście, należy też oczekiwać od takiego pokrycia pewnej dekoracyjności i odporności, np. na promieniowanie UV, zależnie od wymagań odbiorcy.

Pęczniące zabezpieczenia ogniochronne stosowane są wyłącznie na podłożach stalowych. Oprócz pewnych wymagań dotyczących ochrony przed korozją, muszą spełniać zupełnie inny zasadniczy cel: zabezpieczać konstrukcję nośną obiektu – przez określony czas wymagany projektem pożarowym – przed zawaleniem się i katastrofą budowlaną w trakcie pożaru. Rzecz jasna, powłoki ogniochronne, pomimo swojej niezbyt fortunnej nazwy, nie zabezpieczają przed wybuchem pożaru. Mają natomiast istotnie wpływać na jego skutki, opóźniając runięcie konstrukcji obiektu przez okres przewidziany projektem ewakuacji ludzi (i ewentualnie sprzętu) ze strefy pożaru.

4. Czy lokalizacja inspektora w hierarchii odbiorów różnicuje zakres zainteresowania?

Należy zdać sobie sprawę, że odbiory malarskie – jakiego by dotyczyły systemu, antykorozyjnego czy ogniochronnego – będą wieloetapowe. Pierwszym w hierarchii nadzoru powinien być zawsze inspektor wewnętrznej kontroli jakości w wytwórni konstrukcji (nazwijmy go KJ).

Kolejnym, w zależności od wymagań specyfikacji, będzie inspektor dostawcy farb lub niezależny inspektor głównego wykonawcy operujący zwykle jeszcze w wytwórni (IN). I finalnie, inspektor inwestorski lub kierownik budowy, który ocenia powłokę na etapie pomontażowym (GI).

Nasuwa się pytanie: jakie będą priorytety na poszczególnych poziomach nadzoru i czy będą się różniły w zależności od przeznaczenia zabezpieczenia?

Odpowiedź nie jest prosta, ale zdecydowanie na każdym poziomie nadzorów priorytety będą nieco inne. Jeśli chodzi o odbiory systemów antykorozyjnych czy ogniochronnych, na pewno znajdziemy bardzo istotne różnice.

4.1. Odbiory wewnętrzne w wytwórni

Inspektorzy KJ kładą nacisk na utrzymanie parametrów aplikacyjnych (jakość przygotowania powierzchni, warunki atmosferyczne, grubość i jakość uzyskanych powłok). Zwykle dysponują oni wewnętrznymi instrukcjami aplikacyjnymi.

4.2. Inspektor niezależny

IN, zależnie od uzgodnień głównego wykonawcy/inwestora, może być wytypowany z grona przedstawicieli technicznych producenta farb lub inspektorów niezależnych (tzw. *free-lancer*). *Muszą oni posiadać odpowiednie uprawnienia/certyfikaty do prowadzenia samodzielnych inspekcji – o zasięgu globalnym (NACE stopień min. 2, lub FROSIO lev. III) lub też narodowym, np. IBDiM czy PG.*

Zakres działania IN w łańcuchu odbiorów jest kluczowy. Spina on bowiem dwa procesy: projektowania zabezpieczenia, którego rezultatem jest Specyfikacja Techniczna Projektu (STP) oraz wykonawstwa, które na bieżąco jest nadzorowane przez KJ.

4.3. Weryfikacja specyfikacji

IN musi stwierdzić zgodność STP z wewnętrznymi instrukcjami aplikacyjnymi. W przypadku systemów antykorozyjnych nie jest to skomplikowane zadanie. Jeśli chodzi o systemy ogniochronne, rzecz ma się inaczej. O ile grubości systemu antykorozyjnego zależą głównie od warunków eksploatacji, to grubości i struktura systemów ogniochronnych zależy jeszcze dodatkowo od typu pożaru (celulozowy, węglowodorowy, BLEVE), okresu ochrony (klasy ogniowej, np. R30, R60 itp.) współczynnika masywności zabezpieczanych profili (U/A) oraz ich roli w strukturze konstrukcji (słupy, belki, usztywnienia itp.). STP w przypadku zabezpieczeń ogniochronnych musi opierać się na tabelach grubości opracowanych przez producenta farb z uwzględnieniem w/w parametrów dla konkretnego produktu ogniochronnego. Rolą IN jest konfrontacja tabel producenta farb zarówno z STP, jak i z wytycznymi instrukcji aplikacyjnych KJ. Jeśli IN to inspektor producenta farb, nie stanowi to problemu. Jeśli jednak IN to inspektor zewnętrzny, musi on skonsultować tabele grubości z producentem farb.

4.4. Nadzór wykonawstwa

Rola IN w tym zakresie jest nadzwyczaj odpowiedzialna. Dla systemów antykorozyjnych ustala się odpowiedni schemat odbiorów, w których IN jest przywoływany co najmniej do tzw. inspekcji krytycznych – decydujących o jakości zabezpieczenia, np. odbiór jakości przygotowania powierzchni, pomiar warunków atmosferycznych przed rozpoczęciem malowania, odbiór grubości i jakości warstwy gruntowej i systemu w całości.

Rzecz się ma zupełnie inaczej w przypadku nadzorów nad systemami ogniochronnymi. Ze względu na skład i parametry reologiczne farby ogniochronne wymagają zachowania szczególnych warunków, jeśli chodzi o przygotowanie farby, sprzęt natryskowy, procedury aplikacyjne, warunki w trakcie aplikacji i wysychania powłoki. IN musi być absolutnie przekonany, że ekipa wykonująca prace jest świadoma zagrożeń i stopnia skomplikowania aplikacji oraz zdaje sobie sprawę jaką rolę w czasie eksploatacji będzie pełnił nakładany przez nich system.

System antykorozyjny ma za zadanie nie dopuścić do przekroczenia pewnego poziomu maksymalnego skorodowania konstrukcji w okresie trwałości. W tym kontekście, straty spowodowane korozją są jedynie materialne i stosunkowo łatwe do naprawy, jeśli zastosujemy system renowacyjny w odpowiednim czasie.

Pasywny system ogniochronny służy przede wszystkim do ratowania życia i zdrowia ludzi w przypadku pożaru. W tym aspekcie jego ważność jest niewspółmiernie wyższa od systemu antykorozyjnego. Nakładający go wykonawcy stają się – może trochę mimo woli – decydentami życia lub śmierci nieznanym sobie osób. Jeśli bowiem wykonają zabezpieczenie nieodpowiedzialnie źle, kon-

strukcja może runąć w ciągu kilkunastu minut, grzebiąc pod gruzami ludzi przekonanych o tym, iż zabezpieczenie utrzyma sufit nad ich głowami przez specyfikowany okres ochrony.

Co w tej sytuacji może przedsięwziąć IN ?

1. **Przede wszystkim upewnić się, że ekipa malarska została odpowiednio przeszkolona przed rozpoczęciem prac. Jeśli IN jest przedstawicielem producenta farb, powinien sam przeprowadzić takie szkolenie. Jeśli jest inspektorem niezależnym, wezwać służby techniczne producenta do przeprowadzenia szkolenia.**

Wiele firm produkujących farby ogniochronne wykonuje szkolenia systemowo, wychodząc z założenia „no training – no selling”. Tak działają np. służby techniczne IP, z których się wywodzę. Korzystając z mojego doświadczenia, szkolenia przeprowadzać należy dla każdej firmy zakupującej po raz pierwszy produkt ogniochronny, a także wykonywać szkolenia „odświeżające”, jeśli firma nie stosowała danego produktu przez dłuższy okres, np. 2 lata. W tym systemie służby techniczne IP przeszkoliły w latach 2007–2020 ponad 120 firm w zakresie różnych produktów ogniochronnych.

Szkolenia weryfikują możliwości wykonawcze danej firmy w czterech aspektach:

- sprzętowym – farby ogniochronne są z reguły trudne do atomizacji, więc potrzebny jest aparat bezpowietrzny o przełożeniu min. 70:1 z kompletem nowych węży; ważny jest proces odpowiedniego płukania sprzętu i węży;
 - kadrowym – produkty ogniochronne mogą być nakładane zwykle do 1000 µm „mokrego” filmu w jednej warstwie, co nie każdemu malarzowi się udaje. Typowe specyfikacje mogą wymagać nałożenia nawet kilku mm grubości na sucho, co skutkuje wielokrotnym nakładaniem tego samego produktu;
 - infrastrukturalnym – wrażliwość wysychających powłok ogniochronnych na podwyższenie wilgotności i niskie temperatury wymaga stabilizacji warunków w okresie nie tylko aplikacji, ale też wysychania systemu aż do nałożenia powłoki nawierzchniowej. A to wymaga zaangażowania odpowiednio dużych przestrzeni z kontrolowanymi warunkami;
 - proceduralnym – na szkoleniu omawiane są szczegóły dotyczące Aprobata Ogniochronnych i wymagań w nich zawartych, a także niektóre aspekty projektowania systemów.
2. Uzgodnić z KJ inny niż dla systemów antykorozyjnych schemat odbiorów, zwiększając liczbę odbiorów krytycznych. Do kontrolowanych procedur należy włączyć przygotowanie produktu do nakładania, próby przed natryskiem, kontrolę warunków atmosferycznych w okresie wysychania powłoki oraz okres do nałożenia powłoki nawierzchniowej.
 3. Kontrolować wrywkowo zabezpieczoną konstrukcję na etapie magazynowania oraz przygotowanie do transportu. Systemy ogniochronne oparte na produktach jednoskładnikowych są bowiem słabe mechanicznie i bardzo podatne na uszkodzenia transportowe.

4.5. Odbiór finalny – rola inspektora GI

GI stoi jakby po drugiej stronie aplikacyjnej barykady – jego zakres pracy obejmuje ocenę stanu dostarczonych konstrukcji, zakres uszkodzeń transportowych i pomontażowych oraz jakość finalną powłoki. Z tego punktu widzenia, odbiory systemów antykorozyjnych i ogniochronnych niewiele się różnią. Tym niemniej, w stosunku do systemów ogniochronnych GI dodatkowo powinien:

- przeprowadzić szczegółową inwentaryzację uszkodzeń pomontażowych (będzie ich znacznie więcej niż przy systemach antykorozyjnych);
- ocenić stan połączeń, szczególnie jeśli zastosowano styki spawane, gdyż system ogniochronny może zareagować na temperaturę spawanych końcówek i rozpocząć proces pęcznienia;
- wezwać IN na konsultację, jeśli powstały wątpliwości w ocenie uszkodzeń termicznych;
- uzgodnić z IN i producentem farb procedurę zabezpieczenia ogniochronnego styków/połączeń. Pamiętajmy, iż pozostawienie połączeń konstrukcji bez pełnego systemu ogniochronnego spowoduje przedwczesne zawalenie się konstrukcji ze względu na pozostawione mostki termiczne.

5. Część doświadczalna – z niespodzianką

W profesjonalnej wytwórni „W” produkowane są elementy hali magazynowej. Część nośna wymaga zabezpieczenia ogniochronnego, reszta ma być zabezpieczona antykorozyjnie. Dostawca farb z całą sumiennością obliczył tabele grubości pęczniającej farby ogniochronnej i podał system antykorozyjny. W obliczu tak prostej sytuacji nie wzywano IN na bieżące kontrole.

Prace rozpoczęto w końcu września, na dworze kończyła się właśnie „złota polska jesień”.

Specyfikacja przewidywała zastosowanie jednego gruntu antykorozyjnego jako pierwszej warstwy systemu tak dla ochrony przed korozją, jak i ogniochronności. Ekipa malarska nałożyła więc warstwę gruntu na całości konstrukcji tym samym produktem i w tej samej grubości co znakomicie ułatwiło aplikację. Warunki były kontrolowane przez cały okres aplikacji aż do nałożenia pełnego systemu ogniochronnego. Przed nałożeniem farby nawierzchniowej konstrukcję wystawiono na zewnątrz hali do ostatecznego wyschnięcia. Zgodnie z zaleceniami producenta, powłoka nawierzchniowa miała być nałożona po 1–2 dobach od nałożenia systemu ogniochronnego. Tak też się stało – po 2 dniach przy dobrych warunkach na zewnątrz hali na powłokę ogniochronną nałożono farbę nawierzchniową.

Kiedy nadszedł czas załadunku, IN przyjechał na odbiór końcowy. Zaniepokoiło go pojawienie się kilku dużych acz w miarę płaskich pęcherzy (fot. 1.).



Po usunięciu wierzchniej warstwy okazało się iż cały system ogniochronny oddziela się aż do gruntu. IN zmierzył doskonale przyczepną powłokę gruntową i okazało się, że jest ona tak samo gruba jak w części antykorozyjnej. Po sprawdzeniu Aprobaty Ogniochronnej okazało się, że grubość gruntu pod system ogniochronny nie może przekraczać połowy nałożonej faktycznie grubości.

Wykonawca – aby uratować sytuację – usunął pęcherze i miejscowo uzupełnił powłokę. W trakcie napraw okazało się, że pęcherzy ... przybywa, pojawiło się mnóstwo nowych.

Nie było rady – zapadła decyzja o usunięciu systemu ogniochronnego i nałożeniu go od nowa.

Gdzie tkwi błąd ??? Okazuje się, że nie jeden...

Oto lista:

- brak podstawowego ogniwa kontroli – inspektora niezależnego IN;
- brak przeszkolenia przez producenta – dostarczono jedynie tabele grubości farby ogniochronnej;
- nieznamość uwarunkowań Aprobaty Ogniochronnej, co doprowadziło do znacznego zawyżenia grubości gruntu;
- brak kontroli warunków atmosferycznych w trakcie wysychania systemu ogniochronnego. Zapomniano, że w warunkach nocnych, szczególnie jesienią, następuje obfita kondensacja wilgoci późnym wieczorem lub nad ranem. Ta porcja wilgoci została pochłonięta (w tym przypadku dwukrotnie) przez materiał ogniochronny, co spowodowało jego „puchnięcie” gdy został zamknięty powłoką nawierzchniową. Powstałe pęcherze łatwo oddzielały się od przegrubionej powłoki antykorozyjnej, gdyż styk powłoki ogniochronnej z gruntem jest najsłabszym punktem systemu.

No dobrze, a gdzie „niespodzianka” zapowiadana w tytule? Otóż byłaby, gdyby system został „naprawiony” i doczekał pożaru.

W takiej sytuacji osłabiona przez przegrubioną powłokę antykorozyjną przyczepność powłoki ogniochronnej do gruntu spowodowałyby gwałtowne odpadanie od konstrukcji powłoki ogniochronnej, która właśnie zaczęła pęcznieć pod wpływem ognia i w rezultacie utratę zabezpieczenia ogniochronnego w pierwszych chwilach pożaru.

Odpukać !!!

6. Wnioski

1. Inspekcje systemów ogniochronnych różnią się od antykorozyjnych i wymagają większego zaangażowania w proces aplikacji i procedur towarzyszącym inspektorów nadzoru na każdym szczeblu.
2. Aplikacja systemów ogniochronnych wymaga znacznie większego poziomu wiedzy i umiejętności niż aplikacja systemów antykorozyjnych. Wykonawcy mogą otrzymać taką wiedzę w ramach szkoleń prowadzonych przez producentów farb, a inspektorzy muszą zapoznać się z literaturą dotyczącą pasywnych powłok pęczniących, Aprobata Ogniochronnych (ETA) i normatywnych (np. ETAG-018).
3. Wymagana jest ścisła współpraca pomiędzy Wykonawcą, Inspektorami Nadzoru i Producentem farb ogniochronnych, w celu zapobiegania błędom zarówno projektowym (tabele grubości powłok), jak i wykonawczym.



Łukasiewicz
Instytut
Spawalnictwa

OCHRONA POWŁOKOWA KONSTRUKCJI STALOWYCH

Zapraszamy na kurs pod tytułem:

Personel nadzorująco-kontrolujący jakość antykorozyjnych powłok malarskich wg wymagań normy PN-EN 1090-2.

Szkolenie dla osób odpowiedzialnych za nadzorowanie i kontrolę jakości w firmach produkujących konstrukcje stalowe, zbiorniki, rurociągi, urządzenia itp. wymagające zabezpieczenia powłokami antykorozyjnymi.

Szkolenie daje możliwość uzyskania kwalifikacji i certyfikatu kompetencji z zakresu kontroli i odbioru jakości powłok antykorozyjnych wg ISO 12944.



AC 054





Fot. 1. Zakład produkcyjny PREMIX

Premix Sp. z o.o – producent innowacyjnych materiałów dla budownictwa inżynierskiego, komunikacyjnego i hydrotechnicznego

Premix Sp. z o.o. od dwudziestu lat działa w branży chemii budowlanej. Od początku działalności inwestował w technologie związane z ochroną antykorozyjną betonu. Wszystkie produkty opracowano we własnym laboratorium badawczym i są one certyfikowane przez niezależne instytuty.

Premix Sp. z o.o. produkuje:

- materiały (PCC, SPCC) do napraw zniszczonego i skorodowanego żelbetu

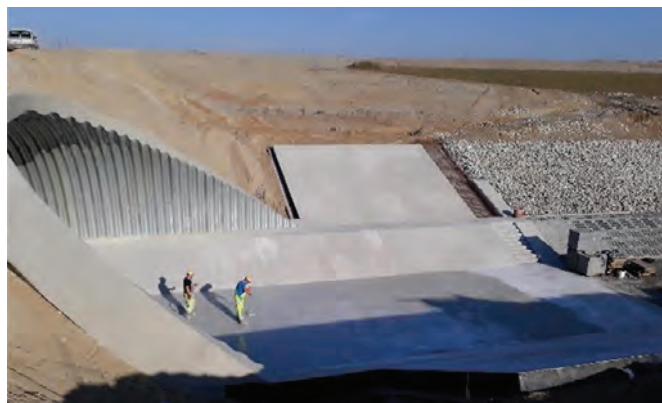
Zaprawy naprawcze grupy MIX to materiały cementowo-poli-merowe z inhibitorem korozji. Produkty przeznaczone są do nakładania ręcznego lub torkretowania na sucho i mokro. Stosowane do napraw obiektów przemysłowych, inżynierskich, budowli hydrotechnicznych i komunikacyjnych. Wyroby MIX 1S i MIX 2S dedykowane są do ochrony powierzchniowej i napraw obiektów inżynierskich narażonych na zwiększoną agresję siarczanową, w obiektach gospodarki ściekowej i wodnej. Materiały tej grupy są łatwe w nakładaniu i mają doskonałe własności fizyko-mechaniczne.

- powłoki polimerowo-cementowe

Specjalne powłoki polimerowo-cementowe łączą ze sobą cechy zaprawy i powłoki. Powłoka elastyczna Prem-Cem EL lub sztywna Prem-Cem ST są stosowane do powierzchniowego zabezpieczenia konstrukcji przed szkodliwym działaniem wielu czynników, np. karbonatyzacją, agresywnymi substancjami znajdującymi się w środowisku, działaniem chlorków w środowisku morskim, zapewniając dłuższą żywotność konstrukcji.



Fot. 2. Fragment pirsu przed i po remoncie (zaprawy MIX1, MIX 2, powłoka polimerowo-cementowa Prem-Cem)



Fot. 3. Infrastruktura hydrotechniczna zapory (powłoka polimerowo-cementowa Prem-Cem)

• impregnaty i powłoki chroniące beton przed korozją

Materiały tego typu przedłużają żywotność konstrukcji, podnoszą odporność na chemikalia oraz zwiększają mrozoodporność, a w przypadku impregnacji barwnej dodatkowo wyrównują kolor zabezpieczanych powierzchni lub nadają im nową barwę. Impregnacja hydrofobizująca to ekonomiczna, łatwa i bardzo skuteczna metoda zabezpieczania powierzchni betonu przed działaniem czynników zewnętrznych.

Systemy powłokowe charakteryzują się dobrą przyczepnością do betonu, przepuszczalnością pary wodnej, odpornością na przenikanie CO₂, odpornością na mroź i wahania temperatury, zapewniając długotrwałą ochronę zabezpieczanym powierzchniom.

• natryskowe izolacje ogniochronne

Zestaw wyrobów FIRE-MIX to system do wykonywania natryskowych zabezpieczeń ogniochronnych elementów konstrukcji stalowych i konstrukcji żelbetowych, w obiektach, które są zagrożone pożarami standardowymi (celulozowymi), węglowodorowymi i tunelowymi. Składnikami zestawu badanymi wraz z zaprawą ogniochronną są: podkład gruntujący PRIMER 500, zaprawa ogniochronna FIRE-MIX oraz powłoka ochronna i dekoracyjna Prem PE i/lub impregnat uszczelniająco-hydrofobizujący PremSil Kolor. Zestaw wyrobów FIRE-MIX może być stosowany w szerokim zakresie warunków zewnętrznych. Właściwości systemu zostały zbadane przez akredytowane laboratoria i potwierdzone w Europejskiej Ocenie Technicznej (ETA) oraz Krajowej Ocenie Technicznej.

• izolacja-nawierzchnie na bazie żywicy i modyfikowanej emulsji bitumicznej

Izolacja-nawierzchnie są jednymi z najbardziej obciążonych elementów wyposażenia konstrukcji mostowych i inżynierskich, ponieważ niezależnie od pory roku podlegają bezpośrednio wpływom atmosferycznym i intensywnym obciążeniom dynamicznym, generowanym przez ruch pojazdów. Z uwagi na trudne warunki eksploatacji i konieczność wydłużania trwałości konstrukcji mostowych, opracowany został system do wykonywania izolacji-nawierzchni na bazie żywicy epoksydowo-poliuretanowej. Systemy na bazie żywicy syntetycznych mogą być również stosowane przy wykonywaniu posadzek przemysłowych.

Prembit to materiał na bazie emulsji z asfaltu modyfikowanego polimerami dedykowany do systemu izolacji-nawierzchni wykonywanej w połączeniu z wypełnieniem odpowiednio dobranymi frakcjami naturalnego kruszywa łamanego. System stosowany do wykonywania wodochronnych izolacji-nawierzchni obciążonych ruchem pieszym i rowerowym na poziomych powierzchniach betonowych (chodniki obiektów mostowych, kładki dla pieszych, kładki pieszo-jezdne).



Fot. 4. Zabezpieczenie konstrukcji stalowej – kopalnia ropy i gazu (system FIRE-MIX)



Fot. 5. Izolacja-nawierzchnia na bazie żywicy epoksydowo-poliuretanowej Prem EPU



Fot. 6. Kładka pieszo-rowerowa (izolacja-nawierzchnia Prembit)



ul. Wyzwolenia 12, 28-230 Połaniec
Tel.: +48 15 815 02 30
Fax: +48 15 815 02 33
E-mail: premix@premix.com.pl
www.premix.com.pl



**POLSKIE
STOWARZYSZENIE
KOROZYJNE**

Polskie Stowarzyszenie Korozyjne – edukacja i integracja

Polskie Stowarzyszenie Korozyjne (PSK) zrzeszające polskich korozjonistów formalnie powstało w 1991 r. z zamiarem integracji środowiska, reprezentacji jego interesów na zewnątrz, wspólnego rozwiązywania istotnych problemów zawodowych i środowiskowych. Głównym celem Stowarzyszenia jest stworzenie platformy porozumienia między wszystkimi osobami zainteresowanymi problemami korozji i antykorozji.

Zakładane cele realizowane są poprzez upowszechnianie nowych środków i technologii zabezpieczeń przeciwkorozyjnych, przez organizację i czynny udział w konferencjach naukowo-technicznych, wpływanie na rozwój postępu techniczno-organizacyjnego w zakresie stosowanych metod i technik ochrony przed korozją, poprzez działalność popularyzatorską, wydawniczą, opiniotwórczą i edukacyjną – doskonalenie zawodowe pracowników i organizowanie przepływu wiedzy w zakresie stosowania i wdrażania nowych metod ochrony przed korozją, organizowanie kursów szkoleniowych, certyfikacji personelu, wymiany międzynarodowej i innych.

KONFERENCJE PSK

Począwszy od 2007 roku PSK organizuje doroczną Konferencję, która już trwale zapisała się w kalendarzu „korozyjnych” wydarzeń, gromadząc ok. 150-200 naukowców, praktyków, specjalistów. Podczas każdej z konferencji wygłoszonych jest ok. 20-40 referatów w kilku sesjach tematycznych. Od 2021 roku Konferencja organizowana jest pod nazwą **Praktikor STAL-BETON**.

Kolejna **XV KONFERENCJA PSK** planowana jest na 1-3.06.2022, szczegóły na stronie obok.

Wirtualna konferencja FireCORR 2021 16-17.11.2021

Podczas konferencji FireCORR 2021, zorganizowanej przez AMPP (Association for Materials Protection and Performance) oraz PSK zaprezentowano najnowsze trendy w pasywnej ochronie przeciwpożarowej (PFP) rozumianej jako rozwiązania systemowe, chroniące również przed korozją.

FireCORR, wspólna inicjatywa AMPP i PSK jest nowym wydarzeniem w światowym kalendarzu konferencji i tegoroczna, choć w związku z pandemią, wirtualna, potwierdziła potrzebę spotkań uczestników procesu budowlanego, ekspertów z dziedziny powłokowych zabezpieczeń ogniochronnych i specjalistów w zakresie antykorozji, by dzielić się praktyczną wiedzą na temat sprawdzonych rozwiązań łączących obie funkcje.

WEBINARZY PSK

W roku 2020 PSK zainicjowało spotkania w formie webinarów, z których każdy jest poświęcony innej tematyce. Dotychczas odbyły się:

Webinar PSK 28.01.2022 *Farby proszkowe i zakres ich stosowania (II edycja)*, 2 referaty,

Webinar PSK 6.12.2021 *Farby proszkowe i zakres ich stosowania (I edycja)*, 2 referaty,

Webinar PSK 25.05.2021 *Konferencja Webinarium: Budowanie ceny zabezpieczeń antykorozyjnych w dobie galopujących kosztów surowców, wysokich kursów walutowych i w warunkach pandemii COVID19*

Webinar PSK 23.04.2021 *Krótką historią ochrony przed korozją*

Webinar PSK 10.03.2021 *Pożytki z korozji*

Webinar PSK 2.02.2021 *Trwałość Systemów Ogniochronnych. Deklaracje i Rzeczywistość*, 7 referatów.

Webinar PSK 27.11.2020 *Wyniki konkursu PSK na najlepszą pracę dyplomową*, 2 referaty,

Webinar PSK 17.11.2020 *Powłoki cynkowe*, 5 referatów,

Webinar PSK 19.10.2020 *Ochrona konstrukcji żelbetowych*, 3 referaty,

KONKURSY PSK

W 2008 roku został zatwierdzony Regulamin dorocznych Nagród Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego dla najlepszej pracy inżynierskiej, magisterskiej i doktorskiej w dziedzinie ochrony przed korozją, ze szczególnym uwzględnieniem prac o charakterze praktycznym we współpracy z przemysłem. Nagrody przyznaje Kapituła, biorąc pod uwagę m. in. oryginalność opracowania, przydatność w praktyce i możliwość wdrożenia. Już 8 razy Jury oceniało i przyznawało nagrody w tym konkursie.

PSK organizuje także konkurs na najlepszy produkt/technologię w dziedzinie ochrony przed korozją. Dotąd statuetką „Rdzawej Kani” nagrodzono 3 produkty oraz najlepszą firmę i najlepszą realizację.

W 2020 roku, PSK i Polska Izba Konstrukcji Stalowych ogłosiły konkurs fotograficzny pt. „Skorodowane obiekty mostowe – jak daleko do katastrofy?” na zdjęcia przedstawiające zły stan obiektów mostowych w Polsce, spowodowany głównie uszkodzeniami korozyjnymi. Na konkurs przesłano 24 prace, nagrodzono 3 z nich.

SEMINARIA, SESJE, SZKOLENIA. WARSZTATY

PSK organizuje także seminaria i sesje podczas zewnętrznych konferencji i Targów oraz szkolenia i warsztaty dotyczące zabezpieczeń antykorozyjnych konstrukcji stalowych i betonowych, na życzenie firm, w określonym przez nie zakresie.

Więcej informacji o Polskim Stowarzyszeniu Korozyjnym na stronie: www.psk.org.pl



XV Konferencja Naukowo-Techniczna Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego

Wydarzenie EFC nr 484



PRAKTIKOR STAL-BETON'2022

1–3 czerwca 2022 r.

Hotel Holiday Inn, Warszawa Józefów

Polskie Stowarzyszenie Korozyjne organizuje kolejną Konferencję Naukowo-Techniczną „PRAKTIKOR STAL-BETON 2022”. Konferencja odbędzie się w Hotelu Holiday Inn w Józefowie pod Warszawą.

Coroczne konferencje PSK umożliwiają zdobycie wiedzy w zakresie nowych materiałów i technologii przeciwkorozyjnych stosowanych w różnych gałęziach przemysłu, zapoznanie się z wynikami badań prowadzonych w dziedzinie ochrony przed korozją, a może, przede wszystkim, wymianę doświadczeń między inwestorami, projektantami, kadrą naukową, wykonawcami prac przeciwkorozyjnych i producentami materiałów.

Potwierdzeniem uczestnictwa w konferencji będzie wydane na zakończenie ZAŚWIADCZENIE. Konferencja może być traktowana również jako szkolenie zwiększające i aktualizujące wiedzę personelu akredytowanych laboratoriów badawczych.

Podczas konferencji prezentowane będzie praktyczne podejście do zagadnień korozji i ochrony przed korozją w sesjach: Plenarnej, Powłok (wraz z powłokami ogniochronnymi), Betonowej, Sesji Studiów Przypadków. Przewidziana jest także dyskusja na podstawie wybranych realizacji przedstawionych przez 3-4 firmy wykonawcze. Jeżeli chcą Państwo wygłosić referat nie mieszczący się w tych Sesjach, proszę przesłać informację na adres e-mail: prezes@psk.org.pl
Liczba miejsc na referaty jest ograniczona.

ZAPISY wyłącznie na stronie:

<https://psk.org.pl/konferencje-psk2/psk-praktikor-stal-beton-2022>

KONTAKT Urszula Paszek 661 964 144
e-mail: sekretarz@psk.org.pl

TERMINY I OPŁATY

Nadsyłanie pełnych tekstów referatów do 11.03.2022 r.

ZGŁOSZENIE UCZESTNICTWA – w promocji cenowej:
do 28.02.2022 r.

OSTATECZNY TERMIN ZGŁOSZENIA UCZESTNICTWA
do 15.05.2022 r.

Zapraszamy osoby zaszczepione i z negatywnym testem PCR na COVID-19, wykonanym nie wcześniej niż 48h przed konferencją lub z innym obowiązującym w tym czasie dokumentem. Organizatorzy zastrzegają sobie możliwość odwołania konferencji w przypadku zbyt małej liczby zgłoszeń lub ze względów bezpieczeństwa i ograniczeń związanych z COVID-19.

KOSZTY KONFERENCJI:

CZŁONKOWIE PSK

OPCJA 1 – 1 900 zł netto + VAT (zgłoszenie do dnia 28.02.2022 r.)

OPCJA 2 – 2 150 zł netto + VAT (zgłoszenie od dnia 01.03.2022 r.)

OSOBY NIE BĘDĄCE CZŁONKAMI PSK

OPCJA 3 – 2 250 zł netto + VAT (zgłoszenie do dnia 28.02.2022 r.)

OPCJA 4 – 2 650 zł netto + VAT (zgłoszenie od dnia 01.03.2022 r.)

OSOBY WYGLASZAJĄCE REFERAT

OPCJA 5 – rabat 100 zł netto

NIEPRACUJĄCY EMERYCI rabat 50%

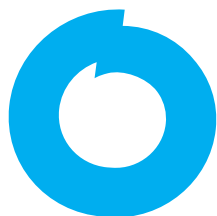
OPCJA 6 – 950 zł netto + VAT, pod warunkiem zgłoszenia do 28.02.2022 r.

STUDENCI

OPCJA 7 – 1450 zł netto + VAT, pod warunkiem zgłoszenia do 28.02.2022 r.

Możliwe jest przygotowanie posteru lub odpłatne zareklamowanie swojej firmy w formie prezentacji, pokazu lub wystawy.

W tym celu prosimy o kontakt na adres: sekretarz@psk.org.pl



BELSE

dla przemysłu



**ZASTOSOWANIE POWŁOK OCHRONNYCH I KOMPOZYTÓW NAPRAWCZYCH
BELZONA ROZWIĄDUJE PROBLEMY TRWALE I SKUTECZNIE
– PO PROSTU EFEKTYWNIE**

UCZESTNICZĄC W BEZPŁATNYCH SEMINARIACH ONLINE

DOWIESZ SIĘ:

- jak ograniczyć koszty remontów, eksploatacji oraz serwisu
- jak uniknąć drogich napraw maszyn i urządzeń, hal produkcyjnych
- jak prosto i skutecznie zabezpieczyć powierzchnie, aby nie sprawiały problemów w przyszłości
- jak uniknąć długotrwałych postojów spowodowanych naprawą maszyn i urządzeń

Więcej informacji - www.belse.com.pl w zakładce szkolenia



Kursy FROSIO w języku polskim, certyfikacja wg FROSIO, kursy personelu antykorozji, szkolenia – prowadzone przez SLV-GSI Polska oraz SLV Duisburg

SLV-GSI Polska wraz z SLV Duisburg, jako **jedyni w Polsce**, prowadzimy **w języku polskim**, kursy w celu uzyskania uznawanego w skali światowej certyfikatu Inspektora zabezpieczeń antykorozyjnych **FROSIO Certified**. Kursy prowadzone są w wersji stacjonarnej oraz e-learningowej (w roku 2022 zaplanowaliśmy jeszcze 2 terminy: 28.05-10.06.2022 oraz 03.12-16.12.2022).

Nowość

Kurs przygotowujący do uzyskania **certyfikatu inspektora FROSIO w zakresie izolacji** (w roku 2022 zaplanowaliśmy 2 terminy: 09.05-20.05.2022 oraz 17.10-28.10.2022). Zarówno kursy jak i egzaminy **prowadzone są w języku polskim**. Kurs kierowany jest do osób, którym powierza się czynności związane z ochroną antykorozyjną i izolacją, począwszy od planowania robót, aż po odbiór końcowy. Osoby takie muszą dysponować specjalistyczną wiedzą z obszaru antykorozji.

Nowość

Oferujemy również certyfikację firm wykonujących prace antykorozyjne (malarnie, cynkownie) według programu certyfikacyjnego **FROSIO**. Certyfikaty dla firm wystawane są przez norweskie FROSIO. Firmy posiadające certyfikat FROSIO umieszcza w rejestrze na swojej oficjalnej stronie www.frosio.no

Nowość

Kurs personelu antykorozji ekwiwalentny do **KOR-Schein** wg. wymagań przepisu ZTV-ING „Dodatkowe warunki techniczne umów i wytyczne dla konstrukcji inżynierskich”.

Nowość

Kursy (teoria + praktyka):

- Szkolenie i kwalifikacja malarzy – malowanie farbami ciekłymi
- Szkolenie i kwalifikacja operatorów malowania proszkowego
- Szkolenie i kwalifikacja operatorów natryskiwania termicznego wg ISO 14918
- Szkolenie i kwalifikacja nadzoru metalizacji wg ISO 12690
- Szkolenia i kwalifikacja piaskarzy
- Szkolenia osób nadzorujących procesy antykorozji

Ponadto SLV-GSI Polska oferuje:

- Certyfikacje systemów Zakładowej Kontroli Produkcji wg normy EN 1090; certyfikacje systemów jakości w spawalnictwie wg normy EN ISO 3834; certyfikacje w zakresie budowy pojazdów szynowych wg normy EN 15085; certyfikacje systemów zapewnienia jakości wg normy EN ISO 9001; certyfikacje zakładów wykonujących prace antykorozyjne (malarnie i cynkownie).
- Nadzory nad wykonawstwem konstrukcji spawanych, w tym również w zakresie prac antykorozyjnych.
- Szkolenia i egzaminowanie spawaczy, operatorów i przecinaczy tlenowych.
- Szkolenia personelu badań nieniszczących.
- Kwalifikowanie technologii spawania.
- Szkolenia w formule „in house” w zakresie wykonawstwa w zakresie konstrukcji spawanych oraz antykorozji.

Każde szkolenie, w zakresie czasu trwania i przekazywanych wiadomości, jest indywidualnie dostosowane do potrzeb naszego Klienta.

Więcej informacji na naszej stronie www.slv-polska.pl



Ocena trwałości wyrobów według normy ISO 12944 – kategorie korozyjności oraz okresy trwałości



Fot.1. Badania cykliczne z wykorzystaniem promieniowania UV oraz kondensacji wody na próbkach

Wszelkie znane badania korozyjne i klimatyczne mają na celu sztuczne zasymulowanie procesów starzeniowych zachodzących podczas eksploatacji różnych wyrobów. Jak wiadomo taka symulacja jest bardzo trudna do przeprowadzenia w skali 1:1 z rzeczywistymi warunkami eksploatacji, głównie ze względu na to, iż środowiska aplikacji mogą być bardzo różne. Stale zmienne i niemożliwe do odtworzenia są również czynniki definiujące dane środowisko.

Przykładem mogą być tutaj zewnętrzne warunki aplikacji danego wyrobu, gdzie parametry fizyczne takie jak temperatura, wilgotność, czy promieniowanie UV wpływające na warunki klimatyczne zmieniają się bardzo często i nie są identyczne nawet w okresach dobowych. W związku z tym, zlecając wykonanie badań korozyjnych, trzeba mieć na uwadze fakt, iż nie da się jednoznacznie lub nawet w przybliżeniu po otrzymaniu wyników wytypować okresu trwałości testowanego wyrobu w środowisku rzeczywistej aplikacji.

Wyznaczenie takiej odporności wyrobu jest zazwyczaj długotrwałym procesem, który składa się między innymi z zestawienia różnych metodyk badań oraz powtarzania badań w różnych odstępach czasu, a następnie porównania tych wyników. Niemniej istotne jest równoczesne testowanie wyrobów w środowiskach



Fot..2. Badania korozyjne stali czarnej

rzeczywistej eksploatacji, co trwa znacznie dłużej, może zamknąć się nawet w wielu latach badań i przez to nie jest metodą pożądaną na etapie wprowadzania wyrobów na rynek. Jest to jednak jedyna metodyka badań pozwalająca na uzyskanie realnych danych, których analizę można interpretować w sposób bezpośredni.

Rozwiązaniem pośrednim jest jedna z norm ISO, która jest pomocna w sytuacjach, kiedy przyspieszone badania korozyjne są wymagane w celu określenia chociażby przybliżonego okresu trwałości danego produktu. W normie ISO 12944 opisano różne środowiska eksploatacji, zwane **kategoriami korozyjności atmosfery** (na zewnątrz i wewnątrz pomieszczeń – Tab.1) oraz **okresy trwałości** (niski, średni, wysoki i bardzo wysoki – Tab.2) dając możliwość producentom wyrobów stalowych tj. ze stali czarnej oraz stali ocynkowanej, z nałożonymi na nie powłokami farby ustalenia odpowiednich programów badawczych w konsultacji z laboratorium korozyjnym. Zazwyczaj jest to kombinacja cykli badań w neutralnej mgie solnej, testu kondensacji pary wodnej, testów przyczepności czy w specyficznych warunkach testu cyklicznego z wykorzystaniem promieniowania UV.

Tabela 1. Kategorie korozyjności atmosfery według normy ISO 12944-2

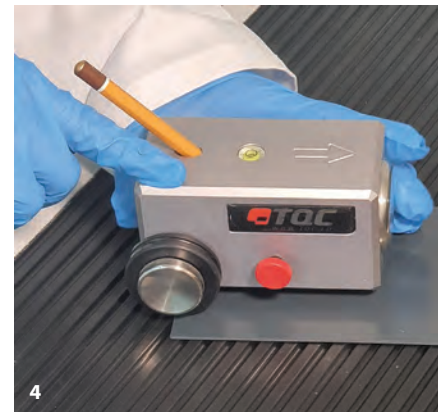
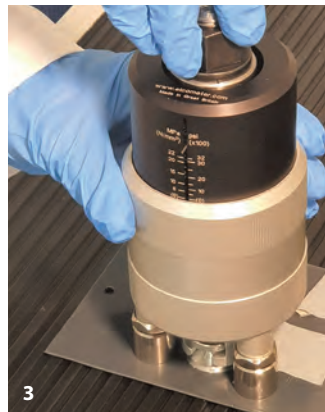
Kategoria korozyjności	Przykłady typowych środowisk (Informacyjnie)	
	Na zewnątrz	Wewnątrz
C1	-	Ogrzewane budynki np. biura, hotele
C2	Mało zanieczyszczone atmosfery, np. obszary wiejskie	Nieogrzewane budynki np. hale i magazyny
C3	Atmosfery miejskie oraz przemysłowe; przybrzeżne obszary o małym zasoleniu	Pomieszczenia produkcyjne np. browary, mleczarnie
C4	Obszary przemysłowe i przybrzeżne o umiarkowanym zasoleniu	Zakłady chemiczne, pływalnie etc.
C5	Obszary przemysłowe z atmosferą agresywną, obszary przybrzeżne o dużym zasoleniu	Budynki z atmosferą ciągłej kondensacji wilgoci
CX	Obszary na pełnym morzu o dużym zasoleniu, tropikalne i subtropikalne	Obszary przemysłowe z ekstremalną wilgotnością

Tabela 2. Okresy trwałości wyrobów według normy ISO 12944-1

Niski	Do 7 lat
Średni	7-15 lat
Wysoki	15-25 lat
Bardzo wysoki	Powyżej 25 lat

Zebrane w normie warunki testów oraz ich kombinacje w przypadku testów cyklicznych zostały opracowane na bazie wieloletnich doświadczeń z porównania rzeczywistej trwałości wyrobów w środowiskach eksploatacji oraz odpowiadających im wyników przyspieszonych badań symulacyjnych. Warto zwrócić tutaj uwagę na fakt, iż w normie nie podano jednoznacznie okresu trwałości w postaci konkretnej liczby, ale przywołano przedziały czasowe, które są dość szerokie.

Fot. 3. Test przyczepności farb i lakierów typu *pull-off*



Fot. 4. Test twardości „ołówkowej” dla farb i lakierów



Corr-Lab
Corrosion Tests Laboratory

www.badaniakorozyjne.pl

Oferta:

- **Badania korozyjne m.in NSS, AASS, CASS, PV1210, ISO 12944**
- **Badania mechaniczne: siatka nacięć, BT, impact, Erichsen...etc.**
- **Sprzedaż komór solnych oraz innego sprzętu do badań korozyjnych**
- **Szkolenia korozyjne; szkolenia środowiskowe**
- **Profesjonalne doradztwo techniczne**

e-mail: biuro@badaniakorozyjne.pl • tel.kom.: +48 789 300 638

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™

Łatwo dostępne

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



Antykorozja stali i betonu

Szkolenia Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w 2022 roku

Instytut Badawczy Dróg i Mostów od kilkunastu lat organizuje szkolenia dotyczące zabezpieczeń antykorozyjnych konstrukcji stalowych i betonowych. Kursy przeznaczone są dla wszystkich zainteresowanych problematyką ochrony korozyjnej konstrukcji w różnych dziedzinach gospodarki, tj. administratorów i zarządców obiektów mostowych, projektantów, osób zatwierdzających projekty, wykonawców konstrukcji, zabezpieczeń antykorozyjnych i ich napraw, kontrolerów jakości, producentów i sprzedawców wyrobów antykorozyjnych, oraz inspektorów nadzoru i inwestorów. Corocznie odbywają się 3 kursy (1, 2 i 3 stopnia).

ANTYKOROZJA STALI – szkolenie „Projektowanie i nadzór nad wykonywaniem zabezpieczeń antykorozyjnych na konstrukcjach stalowych”

Tematyka szkolenia obejmuje szeroki wachlarz zagadnień dotyczących zabezpieczeń antykorozyjnych w różnych dziedzinach gospodarki narodowej. Zgodnie z Zarządzeniem nr 15 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 8 marca 2006 roku w sprawie wprowadzenia do stosowania *Zaleceń do wykonywania i odbioru antykorozyjnych zabezpieczeń konstrukcji stalowych drogowych obiektów mostowych* osoby zajmujące się kierowaniem, nadzorowaniem i administrowaniem robotami antykorozyjnymi na stalowych obiektach mostowych powinny uczestniczyć w szkoleniu resortowym w dziedzinie antykorozji mostów stalowych.

Instytut Badawczy Dróg i Mostów realizuje szkolenie resortowe w dziedzinie antykorozji mostów stalowych (pod patronatem Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad oraz Polskiego Stowarzyszenia Korozyjnego) w systemie kształcenia ustawicznego w ramach studium antykorozji mostów stalowych, które składa się z 3 stopni. Kursy spełniają wymogi szkolenia specjalistycznego, określone w wymaganiach PN-ISO 9001 i mogą być zaliczone w poczet doszkalania zawodowego pracowników. Kursy kończą się egzaminem i uzyskaniem certyfikatu Instytutu Badawczego Dróg i Mostów oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, który potwierdza posiadanie kwalifikacji w zakresie kierowania, nadzorowania i administrowania robotami antykorozyjnymi na stalowych obiektach mostowych.

Program kursów opracowano z uwzględnieniem wymagań norweskiej normy NS 476:2004 (*Paints and coatings. Approval and certification of surface treatment inspectors*), opracowanej przez specjalistów FROSIO oraz wymagań wersji niemieckiej normy europejskiej ENV 12837:2000 (*Qualifikation von Inspektoren für den Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme*) i rozszerzono o wiele wykładów potrzebnych przy stosowaniu zabezpieczeń antykorozyjnych w różnych gałęziach przemysłu oraz o podstawy projektowania zabezpieczeń

Program kursu 1 stopnia zawiera wiadomości nt.: korozji i elektrochemii, technologii i urządzeń dotyczących różnych metod przygotowania powierzchni, zanieczyszczeniach powierzchni i metodach oceny jakości powierzchni przed malowaniem oraz materiałów malarskich.

Program kursu 2 stopnia zawiera wiadomości nt.: materiałów malarskich ze szczególnym uwzględnieniem wyrobów ekologicznych, powłok metalowych i powłok duplex, metod badań farb i powłok, oceny powłok, normy PN-EN ISO 12944 o zabezpieczeniach antykorozyjnych, aplikacji materiałów malarskich, zużycia praktycznego wyrobów, przepisów związanych z zabezpieczeniami antykorozyjnymi oraz bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji.

Program kursu 3 stopnia obejmuje wiadomości nt.: wad bar wynikających z przechowywania, transportu i przygotowania wyrobów, wad aplikacyjnych i degradacji powłok, projektu zabezpieczeń antykorozyjnych, specyfiki problemów korozyjnych w różnych gałęziach gospodarki, sposobach zapewnienia właściwych warunków prowadzenia prac antykorozyjnych oraz opracowywania dokumentów potrzebnych Inspektorowi Nadzoru oraz jego obowiązków.

ANTYKOROZJA BETONU – szkolenie „Projektowanie i nadzór nad wykonywaniem zabezpieczeń antykorozyjnych na konstrukcjach betonowych”

Program kursu 1 stopnia obejmuje wiadomości nt.: obowiązujących dokumentów w zakresie antykorozji, polimerów w zabezpieczeniach betonu, impregnacji hydrofobizującej, tendencji rozwojowych w produkcji betonów w Polsce, przygotowania powierzchni betonu, charakterystyki produktów do zabezpieczania i napraw antykorozyjnych betonu w odniesieniu do normy PN EN ISO 1504, korozji betonu i zbrojenia, diagnostyki i kontroli jakości wykonania prac antykorozyjnych przy użyciu współczesnych badań „in-situ” i zaawansowanych technik nieniszczących.

Program kursu 2 stopnia obejmuje wiadomości nt.: oceny stanu konstrukcji betonowych oraz systemów i technologii naprawczych i ochronnych, zapraw naprawczych, połączeń elastycznych, technik iniekcji, przyczyn powstawania rys, torkretów, wzmocnień, powłok antygraffiti, wady powłok, izolacji nawierzchni.

Po ukończeniu cyklu kursów wydawany jest certyfikat zbiorczy, który ma ważność 5 lat. W celu przedłużenia jego ważności o kolejne 5 lat, należy odbyć **3-dniowy kurs aktualizujący wiedzę**.

W Instytucie Badawczym Dróg i Mostów kierownikiem kursów jest dr inż. Agnieszka Królikowska,

tel.: 604 553 244, e-mail: akrolikowska@ibdim.edu.pl

Organizacją kursów zajmuje się mgr inż. Urszula Paszek.

tel.: 600 457 498, e-mail: upaszek@ibdim.edu.pl

Informacje o bieżących i dodatkowych kursach organizowanych przez IBDiM na stronie: www.ibdim.edu.pl oraz www.psk.org.pl

Plan kursów w 2022 roku

1. „Projektowanie i nadzór nad wykonywaniem zabezpieczeń antykorozyjnych na konstrukcjach stalowych”:
 - STAL 1/2021: 17 – 21 stycznia 2022 r.
 - STAL 2/2021: kurs w formie zdalnej – 28 lutego – 4 marca 2022 r. [egzamin 7 marca 2022 r.]
 - STAL 3/2021: 03 – 07 października 2022 r.
2. „Projektowanie i nadzór nad wykonywaniem zabezpieczeń antykorozyjnych na konstrukcjach betonowych”:
 - BETON 1/2021: kurs w formie zdalnej - 14-18 marca 2022 r. [egzamin 18 marca 2022 r.]
 - BETON 2/2021: 24 – 28 października 2022 r.
3. Kurs przedłużający ważność CERTYFIKATÓW
 - Przedłużenie Certyfikatu STAL-BETON/2021: 30 marca – 01 kwietnia 2022 r.

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 **TECHEM 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 wymiany 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 5 sekcjach:

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 oferujemy następujące wydarzenia specjalne podczas Kongresu:

- Inkubator innowacji
- Inkubator projektów – spotkania B2B
- Debaty
- Meeting room science & business
- Otwarte laboratoria Wydziału Chemicznego PWr
- Aplikacja 10 TeChem na smartfony & fanpage w mediach społecznościowych
- Nagroda za najlepszy wykład w danej sekcji (głosowanie 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

Nowy Projekt badawczy realizowany przez Polskie Stowarzyszenie Korozyjne



POLSKIE
STOWARZYSZENIE
KOROZYJNE

Polskie Stowarzyszenie Korozyjne realizuje już czwarty projekt badawczy w ramach Inicjatywy CORNET. Projekt CORNET/30/5/2020 pt. „Wodne, przyjazne dla środowiska grunty wysoko pigmentowane cynkiem / Waterbased, environmental friendly Zinc rich primer systems”, o akronimie EcoWaterZinc, jest w pewien sposób kontynuacją poprzedniego projektu ZincPower, o którym pisaliśmy m.in. w Ochronie przed Korozją, vol. 60, nr 7/2017, s. 236. Obecny projekt realizowany jest od maja 2021 r., a termin jego zakończenia to 30 kwiecień 2023 r.

Wnioskodawcą projektu ze strony Polski jest PSK, a prace badawcze wykonywane są w Łukasiewicz – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników, w Centrum Farb i Tworzyw w Gliwicach i w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów w Warszawie. Partnerami ze strony niemieckiej jest stowarzyszenie – Forschungsgesellschaft für Pigmente und Lacke e.V. (FPL), oraz instytut – Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation (IPA).

W skład Komitetu Użytkowników, pełniącego w czasie realizacji projektu rolę doradcy, wchodzi 8 przedsiębiorstw, które są członkami Stowarzyszenia: ARMA Firma Inżynierska Jerzy Noworyta Bartosz Noworyta, ANTICOR, CHEMIKA Marek Gajewski, MALCHEM, TALKOR, PROMAL Coatings, PRONET COLOR, SAVEPOL POLIURETANY.

Grunty wysoko pigmentowane cynkiem to jedne z najlepszych farb w systemach powłokowych do długoletniego zabezpieczenia konstrukcji stalowych przed korozją. Ze względu na aspekty środowiskowe – zawartość lotnych związków organicznych (VOC) i zrównoważony rozwój, istnieje pilna potrzeba nowych rozwiązań w zakresie tego typu gruntów. Takie rozwiązanie mogą stanowić wodne grunty pigmentowane cynkiem.

Celem projektu jest odpowiednia modyfikacja powierzchni pigmentów cynkowych, aby zmniejszyć reaktywność cynku w kontakcie z wodą, jak również optymalizacja składu farb pod względem matrycy polimerowej i środków pomocniczych, w szczególności dyspergujących. W farbach zostaną przebadane pigmenty w postaci pyłu i płatków, zastosowane w mieszaninach o różnej proporcji pigmentów z obróbką powierzchniową i bez obróbki. Opracowane farby zostaną ocenione pod kątem ich właściwości ochronnych w atmosferach korozyjnych – w warunkach laboratoryjnych i w środowisku naturalnym.

Opracowanie nowych, wodorozcieńczalnych gruntów cynkowych będzie miało korzystny wpływ na ochronę środowiska: z jednej strony dzięki zmniejszeniu zanieczyszczenia atmosfery lotnymi związkami organicznymi (rozpuszczalnikami organicznymi), które stanowią jeden ze składników odpowiedzialnych za tworzenie się smogu, z drugiej – dzięki modyfikacji powierzchni pigmentów cynkowych, co może zmniejszyć szybkość roztwarzania się cynku w środowisku eksploatacji powłok, a tym samym ograniczyć ilość związków cynku uwalnianych się z powłoki.

Realizacja projektu ma zarówno aspekty naukowe, jak i praktyczne. Uzyskane wyniki przyczynią się do poznania udziału i roli mechanizmów ochronnego działania zmodyfikowanych pigmentów cynkowych – katodowego i barierowego. W praktyce dadzą możliwość zapoznania się z nowymi, ekologicznymi rozwiązaniami w zakresie ochrony przed korozją i wprowadzenia na rynek nowych, wodnych gruntów pigmentowanych cynkiem.

Ciekawe bezpłatne kursy na platformie Navoica



Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego wraz z Fundacją Młodej Nauki i partnerami, uruchomiło w 2020 roku pierwszą polską platformę edukacyjną typu MOOC. Dzięki blisko 20 mln zł wsparcia z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju każdy zainteresowany może skorzystać z nowych, darmowych kursów online.

Kursy typu MOOC (ang. massive open online course) są przeznaczone dla wszystkich osób zainteresowanych nauką, zdobywaniem nowych kompetencji i umiejętności. Platforma edukacyjna pozwala na kształcenie przez całe życie – lifelong learning (LLL), jest darmowa i dostępna 24/7 z każdego miejsca na świecie. Jedynym warunkiem jest dostęp do internetu.

Aktualnie platforma oferuje 135 kursów o zróżnicowanym poziomie trudności, w różnych językach (głównie w języku polskim, angielskim ale także w ukraińskim, rosyjskim i niemieckim). Po ukończonym kursie każdy zarejestrowany użytkownik może otrzy-

mać certyfikat wystawiony przez instytucję, która opracowała kurs. Naszych czytelników mogą szczególnie zainteresować kursy:

- Geopolimery – nowoczesne i przyjazne środowisku materiały dla budownictwa,
- Profesjonalne przygotowanie publikacji naukowych,
- Źródła informacji naukowej w środowisku internetowym,
- Ewaluacja 2022. Kryterium I,
- Ewaluacja 2022. Kryterium II,
- Ewaluacja 2022. Kryterium III.
- Badawcze kompetencje informacyjne w pracy naukowej

Nazwa platformy nawiązuje do imienia Nawojki – pierwszej polskiej studentki, która w XV wieku studiowała na Uniwersytecie Jagiellońskim. W tamtych czasach musiała ukrywać swoją płeć i przebierać się za mężczyznę, bo nauka nie była jeszcze powszechna i dostępna dla każdego.

Więcej informacji: <https://www.navoica.pl>

Przeciwoogniowe pęczniące farby akrylowe: wpływ wskaźnika obciążenia i skali testowania

W artykule przedstawiono wpływ zróżnicowania proporcji konwencjonalnych dodatków uniepalniających oraz skali badań na właściwości termiczne i palność/ogniotrwałość powłok na bazie żywic akrylowych. Jako dodatki pęczniące zastosowano polifosforan amonu (APP), pentaerytryt (PER) i grafit ekspandowany (EG), zmieniając ich proporcje jako 1:1:3, 1:3:1 lub 3:1:1. APP, PER i EG stosowane są odpowiednio jako źródło kwasu, środek karbonizujący i porotwórczy.

Pomimo różnej roli APP, PER i EG, we wszystkich kompozycjach istotną rolę w zapewnieniu ochrony przeciwpożarowej odgrywał fizyczny mechanizm eksfoliacji grafitu. Przy większej zawartości EG czas odporności przeciwoogniowej był dłuższy. Stwierdzono jednak wyraźne różnice w zakresie ochrony podczas badań w piecu w jednowymiarowych warunkach wymiany ciepła (próba wzorcowa na stanowisku do badań) w porównaniu z trójwymiarowymi badaniami na dużą skalę. Przypisano to głównie mechanizmowi fizycznemu polegającemu na tworzeniu się złuszczonej sieci grafitowej na powierzchni próbki pod wpływem wyższej temperatury. Parametry, które nie są nieodłącznie związane z systemem powłokowym, takie jak kohezja węgla, pękanie, rozwarstwienie od podłoża, szybka i niekierunkowa ekspansja, a nawet wyższe strumienie ciepła, których doświadczają krawędzie belki dwuteowej mają wpływ na odporność ogniową konstrukcji.

Na podstawie: Y. H. Ng i in., Prog. Org. Coatings 2021, vol.150, nr 105985, s.1–9

Nowa wodna farba nawierzchniowa o właściwościach inhibitujących

Firma Cortec® Corporation wprowadziła na rynek powłokę nawierzchniową EcoShield® VpCI®-380 dla potrzeb rynku przemysłowego. Jest to szybko schnąca, jednoskładnikowa farba wodna na bazie fluoropolimeru modyfikowanego związkami akrylowymi, która może być nakładana bezpośrednio na metal. Zapewnia ochronę metali przed korozją i działaniem czynników atmosferycznych w agresywnym środowisku.

Ten jednoskładnikowy produkt wykazuje wiele wyjątkowych zalet, takich jak doskonała stabilność barwy i połysku powłoki w warunkach promieniowania UV oraz odporność na pękanie i łuszczenie podczas długiej ekspozycji na działanie promieni słonecznych – dzięki temu możliwa jest ochrona metali w niekorzystnym środowisku. Duża twardość powłoki, odporność na wilgoć i szybkie schnięcie powodują, że jest to doskonały produkt, który zaleca się do stosowania w farbach przemysłowych schnących na powietrzu lub przy zastosowaniu przyspieszonego suszenia. Powłoka o grubości 100–112,5 µm na sucho wykazuje dobre właściwości ochronne po 1000 godzinach ekspozycji w komorze solnej wg ASTM B117 oraz po badaniach w komorze wilgotnościowej wg ASTM D1748.

Na podstawie: Corrosion Management 2021, vol.160, March/April, s. 15

Ochrona przed rozlaniem czynników kriogenicznych

Wraz ze wzrostem zapotrzebowania na LNG (ciekły gaz ziemny – liquefied natural gas) występuje coraz większa świadomość konieczności zapewnienia bezpieczeństwa pracownikom, urządzeniom oraz środowisku w przypadku rozlewu materiału kriogenicznego.

Ochrona przed wyciekami kriogenicznymi jest wymagana, gdy istnieje ryzyko naruszenia konstrukcji w wyniku uwolnienia cieczy kriogenicznej, takiej jak LNG. Jest to złożona dziedzina, w której należy uwzględnić nie tylko pasywną ochronę przeciwpożarową (PFP) i ochronę przed wyciekami kriogenicznymi (CSP), ale także odporność na korozję i trwałość. W ostatnich latach opracowano normy, które prawdopodobnie będą dalej udoskonalane w miarę wzrostu wiedzy w tej branży. Chociaż ryzyko istniało już od pewnego czasu, a inżynierowie i producenci przeprowadzali testy produktów, dopiero w 2016 r. opublikowano normę ISO 20088. Pozwala ona na bezpośrednie porównanie różnych produktów testowanych w ten sam sposób. Norma ISO 20088 *Determination of the resistance to cryogenic spillage of insulation materials (ISO 20088 Określenie odporności materiałów izolacyjnych na rozlewy kriogeniczne)* składa się obecnie z trzech części, a najnowsza została opublikowana w 2020r. Komitet techniczny (ISO/ TC 67/SC 9) pracuje nad czwartą częścią normy, która obejmuje zapłonowe uwolnienia strumienia kriogenicznego.

W ofercie znajduje się wiele różnych rozwiązań, w tym powłoki nakładane na sucho i na mokro. Jest to stosunkowo nowy rynek, w przypadku którego żadne rozwiązanie nie zapewnia wszystkich korzyści – każde podejście ma swoje mocne i słabe strony.

Istnieje wiele sposobów na zapewnienie ochrony przed rozlewami kriogenicznymi, takich jak powłoki ochronne, płaszcze ochronne, płyty i prefabrykowane obudowy. Wiele z rozwiązań powłokowych do ochrony przed wyciekami kriogenicznymi powstało na rynku pasywnej ochrony przeciwoogniowej. Powłoki przeznaczone do tych rozwiązań są zazwyczaj oferowane przez producentów, którzy produkują również powłoki do pasywnej ochrony w razie pożarów węglowodorowych. Dwa główne rozwiązania to systemy Duplex, gdzie łącznie stosowane są izolacja i powłoki pasywne oraz systemy złożone z pojedynczego produktu łączącego izolację i właściwości powłok pasywnych. Powłoki izolacyjne to często pianki syntaktyczne na bazie żywic epoksydowych.

We wszystkich przypadkach kluczowa jest dobra specyfikacja i dobór produktu. Stworzenie odpowiedniej specyfikacji uwzględniającej środowisko naturalne konstrukcji i rozwiązania przez cały okres eksploatacji pozwolą na wybór optymalnego rozwiązania.

Na podstawie: J. Bayley, Prot. Coat. Eur. Int. 2021, vol. 13, nr 2 April-June, s.16–21



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

Postęp w badaniach nad samonaprawiającymi się powłokami polimerowo-grafenowymi

W artykule omówiono szczegółowo funkcję grafenu w powłokach samonaprawiających się i zastosowanie materiałów kompozytowych grafen-polimer. W porównaniu z powszechnie stosowaną powłoką samonaprawiającą się, kompozytowa powłoka polimer/grafen ma lepsze właściwości samonaprawcze i antykorozyjne. Jest to związane z doskonałymi właściwościami fizycznymi i chemicznymi grafenu, który może być stosowany jako centrum konwersji energii, medium transferu energii lub osłona antykorozyjna w powłokach. W zależności od różnych mechanizmów naprawczych, grafen może odgrywać różne role. Funkcję grafenu przedstawiono na podstawie wewnętrznych i zewnętrznych mechanizmów samoregeneracji. Podsumowano działania optymalizacyjne dotyczące właściwości grafenu i samonaprawiających się powłok kompozytowych polimer/grafen. W przypadku grafenu szczegółowo przeanalizowano wpływ jego struktury, rozmiaru, przewodnictwa elektrycznego i dyspersji na właściwości samoregeneracyjne.

Na zakończenie przeanalizowano aktualne problemy aplikacyjne samonaprawiających się powłok kompozytowych polimer/grafen oraz przedyskutowano kierunki przyszłego rozwoju tego typu powłok.

Na podstawie: Progress in Organic Coatings, 2021, vol. 151

Nowy beton samonaprawiający się wykorzystuje długo żyjące bakterie, aby zwiększyć stabilność konstrukcji

Naukowcy z Dalekowschodniego Uniwersytetu Federalnego (FEFU) (Władywostok, Rosja), we współpracy z kolegami z Rosji, Indii i Arabii Saudyjskiej, opracowali beton, który sam uszczelnia pęknięcia i przywraca pierwotną wytrzymałość. Ten samonaprawiający się beton jest szczególnie przydatny jako materiał konstrukcyjny budowli znajdujących się na obszarach zagrożonych trzęsieniami ziemi, gdzie pojawiają się małe pęknięcia w konstrukcjach, a także na obszarach charakteryzujących się dużą wilgotnością i obfitymi opadami deszczu.

„Beton pozostaje materiałem konstrukcyjnym numer jeden na świecie, ponieważ jest tani, trwały i wszechstronny” – mówi Roman Fedyuk, profesor w FEFU. „Jednak każdy beton może z czasem pękać w wyniku różnych czynników zewnętrznych, w tym wilgoci i powtarzających się cykli zamrażania / rozmrażania, których na przykład na Dalekim Wschodzie jest ponad sto rocznie. Kiedy beton pęka, jest to prawie nieodwracalny proces, który może zagrazić całej konstrukcji. To, co zrobiliśmy w ramach naszego eksperymentu, jest zgodne z międzynarodowymi trendami w budownictwie, gdzie istnieje zapotrzebowanie na takie „żywe” materiały, które mają zdolność samodiagnozowania i samoleczenia – dzięki nim można uniknąć lub ograniczyć skomplikowane technicznie i kosztowne procedury naprawcze”.

Samonaprawiający się beton składa się z wodnego koncentratu zawierającego bakterie *Bacillus cohnii*, a także węglan wapnia (CaCO_3) do wypełniania pęknięć. Przetestowano wytrzymałość takiego betonu na ściskanie, a po pojawieniu się pęknięć zaobserwowano, że bakterie uaktywniły się. Pod wpływem tle-

nu i wilgoci przedostających się przez pęknięcia, „przebudzone” bakterie z powodzeniem zaleczyły pęknięcia o szerokości 0,2–0,6 mm w ciągu 28 dni, uwalniając CaCO_3 , który skrzystalizował się pod wpływem wody. Po tym, jak płyty betonowe odzyskały swoją pierwotną wytrzymałość na ściskanie, bakterie ponownie „zasnęły”. Według FEFU zarodniki *Bacillus cohnii* mogą żyć w betonie do 200 lat i teoretycznie mogą przedłużyć żywotność struktur o ten sam okres. To prawie czterokrotnie dłużej niż 50–70 lat żywotności tradycyjnego betonu.

Naukowcy wyhodowali próbki *Bacillus cohnii* w laboratoriach przy użyciu prostego podłoża agarowego i pożywki hodowlanej, która zmusza bakterie do przetrwania w porach betonu, a następnie uwolnienie pożądanej chemicznej kompozycji „naprawczej”. Zespół ocenił naprawę pęknięć na poziomie mikroskopowym i zbadał skład chemiczny środka naprawczego za pomocą mikroskopii elektronowej i zdjęć rentgenowskich. W przyszłości planowane jest opracowanie żelbetu, którego właściwości zostaną dodatkowo wzmocnione za pomocą różnych rodzajów bakterii, co przyspieszy proces regeneracji materiału.

Na podstawie: Serwis prasowy FEFU <http://www.dvfu.ru/news>

Bezfluorowa modyfikacja powierzchni wykorzystywana w zastosowaniach samooczyszczania powierzchni

Modyfikacja powierzchni zmierzająca do jej samooczyszczania jest jedną z najlepszych metod rozwiązania problemu związanego z zanieczyszczeniami na powierzchni. Na uwagę zasługują powłoki ultrahydrofobowe ze względu na ich potencjalne zastosowanie jako powłok odpornych na wodę i wykazujących zdolność samooczyszczania.

Przedstawiono prostą ekologiczną technologię bezfluorową do wytwarzania trwałych samoczyszczących się powłok. Powłoka składa się z węglowych nanowłókien (CNF/ SiO_2 -HDTMS) pokrytych nanocząstkami SiO_2 (NPs) modyfikowanymi heksadecylotrimetoksylanem oraz handlowej emulsji klejowej na bazie żelatyny. Ze względu na obecność funkcjonalnych grup hydroksylowych CNFs, SiO_2 NPs mogą akumulować się na powierzchni CNFs, co dzięki utworzeniu hierarchicznej mikrostruktury generuje powstawanie kieszeni powietrznych zwiększających hydrofobowość.

Nowa powłoka została naniesiona przez zanurzenie na płyty polietylenowe, membrany z włókna szklanego oraz szkło i zastosowana zgodnie z przeznaczeniem jako namioty tworzywowe, parasole, szyby samochodowe, szkło okienne i szklane drzwi w wieżowcach, membrany, tkaniny, papiery, itd. Co ciekawe, po wprowadzeniu powłoki CNF/ SiO_2 -HDTMS zawierającej klej superhydrofilowy filtr z mikrowłókna stał się wysoce hydrofobowy, z kątem zwilżania wodą wynoszącym 125° . Podobne właściwości uzyskano w przypadku modyfikowanego szkła, gdzie kąt zwilżania wyniósł około 141° , a na powierzchni worków polietylenowych z powłoką CNF/ SiO_2 -HDTMS nie zbierają się krople wody. Powłoki o właściwościach samoczyszczających utrzymują zdolność odpychania kropli wody nawet po takich testach jak ścieranie strumieniem piasku i dotyk palca.

W artykule omówiono badania możliwych zastosowań przemysłowych powłok samoczyszczających w temperaturze otoczenia, aby rozszerzyć ich zastosowanie.

Na podstawie: Progress in Organic Coatings, 2021, vol.153,1061-1065

Wynalazki

Buletyn Urzędu Patentowego Nr 30/2021

Sposób trawienia podłoża germanowego, układ zawierający podłożę germanowe pokryte warstwą związku nieorganicznego i jego zastosowanie oraz element zawierający podłożę germanowe do zastosowania w optyce w zakresie światła podczerwonego

Twórcy: Binder Johannes; Wyszomolek Andrzej; Stępniewski Roman; Rogoża Jakub · Firma: Uniwersytet Warszawski, Warszawa · Zgłoszenie 433634, s. 15

BUP Nr 31/2021

Sposób wytwarzania membran polimerowych posiadających właściwości przeciwdrobnoustrojowe metodą plazmową

Twórcy: Kacprzyńska-Gołacka Joanna; Kowalik-Klimczak Anna; Woskiewicz Ewa; Smolik Jerzy · Firma: Sieć Badawcza ŁUKASIEWICZ - Instytut Technologii Eksploatacji, Radom · Zgłoszenie 433735, s. 12

Kompozyt polimerowy o zwiększonej odporności na starzenie pod wpływem promieniowania słonecznego

Twórcy: Marzec Anna; Szadkowski Bolesław; Kuśmierk Małgorzata · Firma: Politechnika Łódzka, Łódź · Zgłoszenie 433738, s. 17

Sposób cynkowania zanurzeniowego wyrobów ze stali

Twórcy: Gilla Błażej; Wojtyśiak Andrzej · Firma: GILLMET sp.z o.o., Starogard Gdański · Zgł.433720, s. 17 - 18

BUP Nr 33/2021

Sposób oraz urządzenie do odprężania blach

Twórcy: Derlatka Szymon · Firma: POLONEZ PLUS sp.z o.o., Warszawa · Zgłoszenie 433875, s. 13

Zbrojony strefowo odlew ze stopu żelaza o podwyższonej odporności na zużycie abrazyjne oraz sposób strefowego zbrojenia odlewów ze stopów żelaza o podwyższonej odporności na zużycie abrazyjne

Twórcy: Medyński Daniel; Janus Andrzej; Naplocha Krzysztof; Samociuk Bartłomiej · Firma: Politechnika Wrocławska, Wrocław; Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa im. Witelona w Legnicy, Legnica · Zgłoszenie 433830, s. 13

Nowe sililofunkcjonalizowane polimery butadienowe, sposób ich otrzymywania oraz zastosowanie jako materiały powłokowe ochronne lub hydrofobowe

Twórcy: Januszewski Rafał; Kownacki Ireneusz; Maciejewski Hieronim · Firma: Fundacja Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznań · Zgłoszenie 433948, s. 18

Kompozycja fotoinicjująca polimeryzację

Twórcy: Jędrzejewska Beata · Firma: Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy, Bydgoszcz · Zgłoszenie 433936, s. 18

Sposób pomiaru chropowatości wyciskanych profili aluminiowych oraz urządzenie do pomiaru

Twórcy: Płonka Bartłomiej; Kochański Andrzej · Firma: EXTRAL sp.z o.o., Żory · Zgłoszenie 433876, s. 29

BUP Nr 34/2021

Sposób otrzymywania amorficznej powłoki na implancie biostatycznym albo biomechanicznym, zwłaszcza na endoprotezie stawu biodrowego

Twórcy: Klimek Paweł · Firma: MI-MEDIC sp.z o.o., Bydgoszcz · Zgłoszenie 434021, s. 11

Przewodząca powłoka polimerowa o właściwościach bakteriobójczych i działaniu neuroprotekcijnym, sposób jej wytwarzania i zastosowanie

Twórcy: Krukiewicz Katarzyna; Czerwińska-Główka Dominika · Firma: Politechnika Śląska, Gliwice · Zgłoszenie 434000, s. 19

Sposób otrzymywania staliwa odpornego na ścieranie i korozję, zwłaszcza na elementy hydrauliczne pomp oraz staliwo odporne na ścieranie i korozję, zwłaszcza na elementy hydrauliczne pomp

Twórcy: Bolanowski Kazimierz; Nowak Władysław · Firma: Politechnika Świętokrzyska, Kielce; Kielecka Fabryka Pomp BIAŁOGON SA, Kielce · Zgłoszenie 436049, s. 20

BUP Nr 35/2021

Sposób konfekcjonowania blachy ocynkowanej z kręgów z zapobieganiem występowania białej korozji

Twórcy: Chodnicki Marek; Zaręba Maciej · Firma: PROMET sp.z o.o., Grudziądz · Zgłoszenie 434038, s. 10

Sposób zwiększania w warstwie wierzchniej głębokości odkształcenia plastycznego podczas nagniatania tocznego

Twórcy: Kowalik Marek · Firma: Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego, Radom · Zgłoszenie 434097, s. 11

BUP Nr 36/2021

Sposób wytwarzania kompozytowych warstw wierzchnich na miedzi i jej stopach

Twórcy: Domagała-Dubiel Justyna;

Janicki Damian · Firma: SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ - Instytut Metali Nieżelaznych, Gliwice · Zgłoszenie 434200, s. 11 - 12

BUP Nr 37/2021

Termoplastyczna kompozycja polimerowa przeznaczona na wyroby polimerowe o podwyższonej odporności na utlenianie i działanie czynników środowiskowych

Twórcy: Latos-Brozio Małgorzata; Masek Anna · Firma: Politechnika Łódzka, Łódź · Zgłoszenie 434271, s. 14 - 15

Sposób modyfikowania grafityzującego eutektyki grafitowej oraz ziaren pierwotnego austenitu żeliwa wysokojakościowego, zwłaszcza do maszynowych odlewów

Twórcy: Ziółko Agnieszka; Piotrowski Krzysztof; Bednarczyk Paweł; Paul Władysław; Guzik Edward · Firma: KRAKODLEW SA, Kraków · Zgłoszenie 437538, s. 15 - 16

Kompozyt na podstawie stopów żelaza i sposób jego wytwarzania

Twórcy: Cholewa Mirosław; Baron Czesław · Firma: Politechnika Śląska, Gliwice · Zgłoszenie 434238, s. 16

Sposób aplikacji sondy pomiarowej do badań powłok ochronnych, zwłaszcza na stalowych elementach konstrukcji budowlanych

Twórcy: Jaśniok Mariusz; Jaśniok Tomasz · Firma: Politechnika Śląska, Gliwice · Zgłoszenie 434283, s. 23

Sposób badania nieprzewodzących powłok antykorozyjnych, zwłaszcza na stalowych elementach konstrukcji budowlanych

Twórcy: Jaśniok Mariusz; Jaśniok Tomasz · Firma: Politechnika Śląska, Gliwice · Zgłoszenie 434284, s. 23



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



EXPO-SURFACE

XII Targi Technologii Antykorozyjnych
oraz Ochrony Powierzchni

5-7 / 04 / 2022

Przyjedź i spotkaj liderów branży.
Rozwiń swój biznes!

Godziny otwarcia ekspozycji:

5.04.2022 r.: 09.00 – 17.00

6.04.2022 r.: 09.00 – 17.00

7.04.2022 r.: 09.00 – 15.00

expo-surface.pl