



PŁATKOWE POWŁOKI CYNKOWE NA PODŁOŻACH STALOWYCH

Kamil Kołtało, Beata Oleksiak

Faculty of Materials Engineering, Silesian University of Technology, Poland

Corresponding author:

Kamil Koltalo

Silesian University of Technology

Faculty of Materials Engineering

Department of Production Engineering

Kraśińskiego 8, 40-019 Katowice, Poland

phone: (+48) 663181017

e-mail: kamil.koltalo@polsl.pl

ZINC FLAKE COATINGS ON STEEL SUBSTRATES

ABSTRACT

The article presents the characteristics of zinc flake coatings, including methods of surface preparation and application of the base coating. A comparison was made based on the literature of the properties of zinc coatings made with various technologies. The latest achievements in the field of flake galvanizing to present the current state of knowledge were also discussed.

KEYWORDS

Zinc coatings, flake zinc, corrosion protection.

1. Wprowadzenie

Odpowiednie zabezpieczenia konstrukcji metalowych jest nadal zagadnieniem przysparzającym wiele problemów współczesnym inżynierom i technologom. Pomimo stałego i dynamicznego rozwoju technologicznego, zjawisko korozji pozostaje nadal znaczącym problemem współczesnej inżynierii. Według Światowej Organizacji Korozyjnej (WCO), wydatki na działania przeciwkorozyjne krajów uprzemysłowionych mieściły się w przedziale od 3–5% PKB [12]. W Stanach Zjednoczonych wydatki na walkę z korozją przekroczyły w 2013 roku 450 mld dolarów, w Chinach prawie 395 mld dolarów, w Indiach 70 mld dolarów, natomiast w Europie niemal 700 mld dolarów. Łącznie globalne wydatki na walkę z korozją przekroczyły 2500 mld dolarów [4].

Powłoki ochronne są najczęściej spotykanym sposobem ochrony przeciwkorozyjnej konstrukcji stalowych [34]. Głównym zadaniem powłok antykorozyjnych jest zabezpieczenie materiału podłoża przed działaniem środowisk korozyjnych. Ponadto powłoki takie muszą odznaczać się dobrą wytrzymałością mechaniczną oraz dobrą odpornością na działanie środków chemicznych.

Cynk jest najpopularniejszym materiałem wykorzystywanym do tworzenia powłok antykorozyjnych [17]. Najbardziej popularnymi metodami nakładania cynku są metody ogniowe i galwaniczne. Ze względu na bardziej ujemny potencjał elektrochemiczny od żelaza, cynk w ogniowach galwanicznych jest anodą, co zapewnia ochronę protektorową. Cynk w środowisku atmosferycznym i w obecności CO₂ pokrywa się pasywną warstwą węglanową, natomiast w środowiskach słabo alkalicznych wytwarza się pasywna warstwa wodorotlenku cynku. Z tego powodu cynk jest najpopularniejszym pierwiastkiem stosowanym przy projektowaniu powłok antykorozyjnych, szczególnie w środowiskach, w których pH mieści się w przedziale od 7 do 12,5 [6].

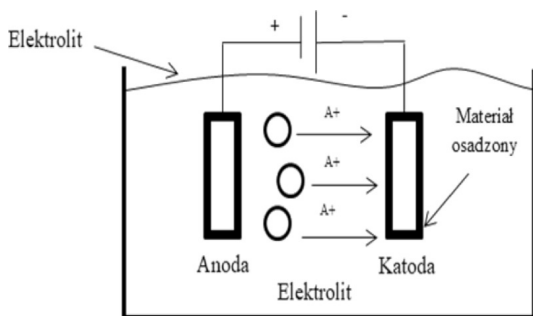
2. Rodzaje metod cynkowania

Najbardziej rozpowszechnionymi technikami cynkowania są metody ogniowe, galwaniczne oraz płatkowe.

Proces cynkowania ogniowego polega na zanurzeniu wyrobów w ciekłych kąpielach cynkowych z dodatkami pierwiastków takich jak nikiel, aluminium, magnez, czy cyna. Pierwszym etapem cynkowania ogniowego jest proces odtłuszczenia części mający na celu usunięcie wszelkich zanieczyszczeń, które mogą utrudnić reakcję cynku ze stalą [5]. W kolejnym etapie procesu cynkowania ogniowego – trawieniu usuwa się substancje niemetaliczne takie jak zgorzelina i inne produkty korozji. Po każdej z zastosowanych operacji wskazane jest płukanie wodą. Kolejnym etapem cynkowania jest topnikowanie, polegające na zanurzeniu elementów najczęściej w wodnym roztworze chlorku cynku (ZnCl₂) i chlorku amonu (NH₄Cl). Celem topnikowania jest oczyszczenie stali z niewielkiej ilości tlenków oraz zapewnienie poprawnego ciągu procesu. Po zakończonej operacji topnikowania wyroby są suszone w temperaturze od 120° do 150° w celu usunięcia zbyt dużej ilości topnika oraz nagrzania wyrobów do odpowiedniej tempera-

tury, aby zminimalizować prawdopodobieństwo wystąpienia szoku termicznego. Kluczowym etapem metalizacji jest zanurzenie w kąpeli cynkowej o temperaturze 440° do 460°, w czasie potrzebnym do utworzenia wielowarstwowej powłoki dyfuzyjnej, (zwykle kilka minut). Ostatnim etapem procesu cynkowania ogniowego jest chłodzenie elementów na powietrzu lub w wodzie oraz ewentualna obróbka końcowa mająca na celu wygładzenie powierzchni i poprawę estetyki wyglądu końcowego [21, 33].

Drugą stosowaną technologią cynkowania jest metoda galwaniczna (elektrolityczna) oparta na procesie elektrolizy, w której na wskutek przepływu prądu przez elektrolit jony metalu są transportowane z anody cynkowej do katody (materiał podłoża) [23, 31]. Proces ten składa się z następujących etapów: odłączenia jonów metalu od anody pod wpływem zewnętrznego prądu elektrycznego, rozpuszczania jonów w roztworze oraz osadzaniu jonów na katodzie, gdzie łączą się na powierzchni, tworząc powłokę. Mechanizm procesu galwanicznego nakładania powłok przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Schemat procesu galwanicznego nakładania powłok [2].

Galwaniczne powłoki cynkowe stanowią najlepszą ochronę dla stali i żeliwa ze względu na ich grubość, jak również ze względów ekonomicznych [34]. Powłoki galwaniczne z reguły są cieńsze, niż te uzyskane np. metodą ogniową, jednak ich właściwości ochronne są uzależnione od ich grubości, przez co zaleca się stosowanie tej metody do elementów mniej narażonych na szkodliwe działanie warunków atmosferycznych.

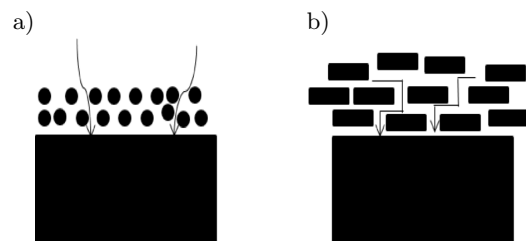
3. Cynkowanie metodą płatkową

Nowością w technikach cynkowych jest metoda płatkowa. Powłoki w postaci płatków cynkowych uzyskuje się w tzw. procesie „dip-spin-bake”, w którym wyroby zanurza się w cieczy o niskiej zawartości cynku i aluminium. Przypominająca swą strukturą farbę osadza się na powierzchni wyrobu, który następnie poddaje się obróbce cieplnej w temperaturze 230–250°, w celu utwardzenia warstw powłoki [30, 32].

Cynkowanie metodą płatkową wykorzystuje płatkowy kształt cynku w przeciwieństwie do tradycyjnie wykorzystywanego pyłu cynkowego o kształcie kulistym. Płatki cynkowe posiadają większą powierzchnię, co prowadzi do lepszej przyczepności do materiału podłoża.

Ponadto podczas procesu nie stosuje się prądów i kwasów, dzięki czemu następuje eliminacja zjawiska kruchości wodorowej [7, 29].

Właściwości antykorozyjne farb stosowanych w metodzie płatkowej oparte są na barierze ochronnej, która polega na maksymalnej izolacji stalowego podłoża od czynników wywołujących korozję [3, 13, 27] oraz ochronie katodowej ze względu na bardziej ujemny potencjał elektrochemiczny cynku w porównaniu z podłożem [9, 22, 35]. W celu uzyskania odpowiedniej i długotrwałej ochrony podłoża konieczna jest dobra przewodność elektryczna pomiędzy cząstkami cynku. Powłoka cynkowa działa wtedy jako anoda i chroni metal przed korozją. W standardowym metodach galwanizacji, gdzie wykorzystuje się cząstki cynku o kształcie sferycznym, cynk łączy się z podłożem tylko w paru punktach, natomiast zastosowanie cynku o kształcie płatkowym, powoduje zwiększenie ilości punktów kontaktu elektrycznego. Wykorzystanie płatków cynkowych umożliwi uzyskanie lepszej odporności na przenikanie wskutek nachodzenia na siebie płatków. Pomimo, że zazwyczaj powłoka płatków cynkowych jest znacznie cieńsza od standardowych rozwiązań z użyciem cynku sferycznego, to droga dyfuzji od powierzchni do materiału podłoża jest znacznie dłuższa, co przykłada się również na długość korozji [37]. Na rys. 2 przedstawiono schemat mechanizmu przenikania tlenu do powłoki cynkowej z kształtem sferycznym i płatkowym.



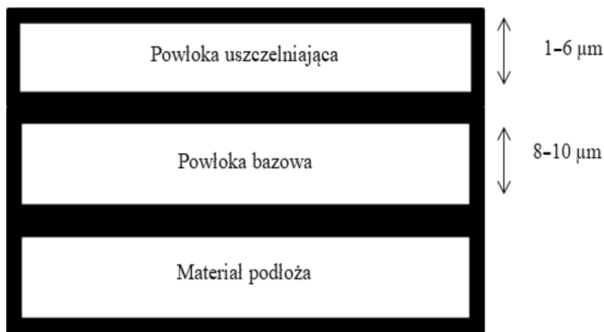
Rys. 2. Schemat mechanizmu przenikania tlenu dla powłok cynkowych o kształcie: a) sferycznym, b) płatkowym [18].

Powłoki z cynku płatkowego odznaczają się większą przewodnością elektryczną niż powłoki z zastosowanym sferycznym pyłem cynkowym. Z tego powodu elektrochemiczna degradacja płatków cynku przebiega szybciej niż w przypadku pyłu, co powoduje konieczność zastosowania odpowiednich systemów łączenia oraz dobranie odpowiednich połączeń elektrycznych np. poprzez optymalizację rozmiaru cząsteczek. Dzięki swoim właściwościom powłoki płatkowe znajdują zastosowanie w wielu gałęziach przemysłu. Są przede wszystkim wykorzystywane w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym, czy energetycznym. Najczęściej wykorzystywane są do pokrywania takich elementów jak śruby, opaski, sprężyny, zaciski czy nity. Ponadto metoda ta umożliwia cynkowanie wyrobów o większych gabarytach takich jak np. części nadwozia, czy też. śruby wiatrakowe [38, 39].

Zazwyczaj systemy płatkowe składają się z dwóch rodzajów powłok: bazowej i uszczelniającej.

Powłoka bazowa składa się z płatków cynku i aluminium, najczęściej w stosunku 95:5. Z kolei powłoka

ka uszczelniająca tworzy barierę izolującą metal przed działaniem czynników powodujących korozję. Uszczelnienia wydłużają czas działania powłoki, co przekłada się na ich większą trwałość oraz nie posiadają w swoim składzie pierwiastków szkodliwych dla zdrowia, takich jak chrom, ołów, czy kadm dzięki temu uszczelnienia są ekologiczne i spełniają wymogi ochrony środowiska w przemyśle samochodowym, jak również wymogi Dyrektywy Europejskiej 2000/53/WE w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji [26]. Przykładowy system cynkowania płatkowego przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Przykładowy system cynkowania płatkowego [40].

Powłoki cynkowe płatkowe, podobnie jak w przypadku metody galwanicznej i ogniowej poddaje się obróbce powierzchni. W celu osiągnięcia satysfakcjonującej jakości powłok, powierzchnia materiału podłoża powinna być wolna od wszelkiego rodzaju pyłu, olejów, rdzy, czy tłuszczu. Z tego powodu zwykle pierwszą operacją jest odtłuszczenie, które odbywa się zwykle w kąpielach alkalicznych o temperaturze około 60–70° i pH w zakresie 11–14. Podczas tej obróbki usuwane są tłuszcze i niektóre rodzaje oleju. Odtłuszczone wyroby należy dwukrotnie płukać: pierwszy raz gorącym strumieniem wody, a następnie zimnym [24].

W celu poprawy adhezji płatkowych powłok z podłożem stosuje się śrutowanie albo fosforanowanie. Fosforanowanie to proces chemicznego wytwarzania powłoki konwersyjnej na powierzchni metalu. Proces ten poprawia również właściwości korozyjne, zmniejsza współczynnik tarcia oraz zwiększa przyczepność powłok lakierowych [23, 24].

Z kolei śrutowanie jest zwykle stosowane do elementów o mało skomplikowanej geometrii, z zastosowaniem śrutu o twardości 450 HV i długości od 0,2–0,5 mm. Po procesie śrutowania należy materiał poddać ocynkowaniu w czasie nie przekraczającym 8 godzin [20, 24].

Po zakończeniu operacji poprawy przyczepności materiału podłoża, następuje proces nakładania powłoki cynkowej. Znane są trzy rodzaje technik nakładania cynku płatkowego, a mianowicie metoda: wirówkowa, natryskowa i zanurzeniowa.

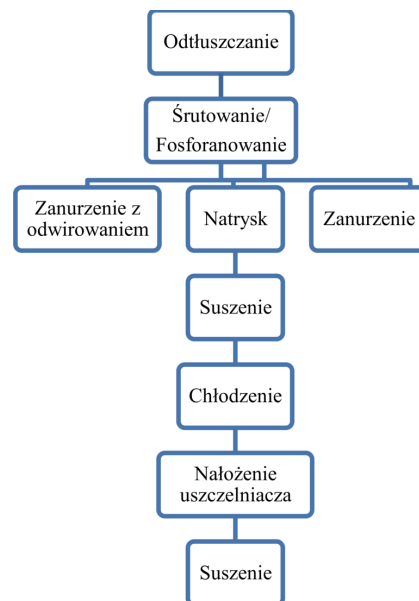
Metoda wirówkowa polega na wykorzystaniu kosza, w którym umieszcza się wyroby, a następnie zanurzeniu

tego kosza w cieczy – farbie cynkowej. Po pokryciu warstwą cynku wszystkich elementów przeprowadza się odwirowanie co umożliwi usunięcie nadmiaru farby [24].

Z kolei metoda natryskowa tworzona jest poprzez natryskiwanie na oczyszczonej i schropowanej powierzchni płatków cynku. Metoda ta zapewnia jednolitą, równomierną powłokę, która charakteryzuje się lepszą ochroną antykorozyjną niż pozostałe techniki. Metoda ta zapewnia pokrywanie elementów o skomplikowanych kształtach, jednak wadą tej metody są duże ubytki farby w okolicach 30–50% z powodu dużego rozprysku [40].

Ostatnią techniką nakładania powłoki bazowej jest metoda zanurzeniowa, która używana jest w przypadku takich wyrobów jak rury, czy blachy. Metoda ta nie wymaga skomplikowanego sprzętu, ale przez to nie gwarantuje dużej efektywności produkcji (czas zanurzenia elementów to około 15–120 sekund) [37].

Nalożone płatkowe powłoki cynkowe poddawane są procesowi utwardzenia, poprzez suszenie połączone z chłodzeniem. Suszenie zwykle następuje w piecach przelotowych lub komorowych w temperaturze od 180° do 320°. Dodatkowo istnieje możliwość pokrycia powłoki bazowej uszczelniaczem w celu wyrównania zagłębień pomiędzy cząstkami cynku. Na rys. 4 przedstawiono schemat nakładania cynku płatkowego.



Rys. 4. Schemat nakładania cynku płatkowego.

Pomimo, że powłoki cynkowe są najczęściej stosowane jako forma ochrony antykorozyjnej to w literaturze nie ma wielu pozycji, które porównywałyby właściwości powłok cynkowych z uwzględnieniem typu płatkowego. Jedną z nich jest praca Hulser'a [14], w której porównywano odporność korozyjną materiału do momentu pojawienia się białej lub czerwonej korozji. Wyniki tych badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1
Porównanie wybranych właściwości dla technologii cynkowania [14].

	Cynkowanie płatkowe	Cynkowanie galwaniczne	Cynkowanie ogniowe
Mechanizm ochrony przed korozją	Katodowy, barierowy	Katodowy	Katodowy
Odporność korozyjna do czerwonej korozji dla powłoki 10 µm, elementy bębnowe	1000 h	100 h	50–100 h
Odporność korozyjna do czerwonej korozji dla powłoki 10 µm + pasywacja, elementy bębnowe	1000 h	480 h	300 h
Kruchość wodorowa	Brak kruchości wodorowej	Wymagane odwodorowanie	Wymagane odwodorowanie
Wygląd	Mat – półmat	Mat – połysk	Półmat
Części o skomplikowanych kształtach	Dobra zdolność do równomiernego pokrycia	Dobra wgłębnosc	Nie ma zastosowania
Obróbka ścieków	Brak ścieków	Konieczna	Konieczna
Obsługa	Prosta (odznaczanie lepkości, zawartości części stałych)	Prosta (odznaczanie dodatków, cynku, kontrola elektrolitu)	Prosta (brak parametrów kontrolowanych)
Koszty	Średnie	Średnie	Niskie

4. Metody modyfikacji płatkowych powłok cynkowych

Modyfikacje płatkowych powłok cynkowych są przedmiotem badań od wielu lat. Jedne z pierwszych badań dokonał Giudice [8], który badał wpływ kształtu cząstek cynku w podkładzie na bazie żywicy epoksydowej przy różnych wariantach stężenia objętościowego pigmentu. Powyższe badania zostały poszerzone w kolejnych latach przez tych samych Autorów o poznanie wpływu działania wypełniaczy w postaci miki, kaolinu, czy węgla wapnia oraz spoiw kauczuku chlorowanego i kopolimeru winylowego [25, 27].

Podobne badania przeprowadził Zhang [36], który z kolei badał właściwości ochronne powłoki bogatej w cynk w obecności modyfikowanego nośnika na bazie krzemu i płatkowych pigmentów cynku. Stwierdził on, że właściwości ochronne powłok bogatych w cynk zostały zwiększone w obecności tych pigmentów.

Z kolei Hare i Kurnas [10] badali wpływ stosunku spoiwa do pigmentu na odporność korozyjną powłok cynkowych. Natomiast Jagtap [14] stwierdził, że dodanie niewielkiej ilości tlenku cynku do powłoki cynkowej poprawia jego właściwości barierowe, a w rezultacie odporność na korozję. Z kolei Kalendova [11, 18, 19] i Jagtap [15, 16] stwierdzili, że można poprawić właściwości antykorozyjne powłoki cynku płatkowego poprzez zmniejszenie wielkości pojedynczej cząstki cynku.

W ostatnim czasie popularne jest także, modyfikowanie powłok cynkowych poprzez użycie nanoelementów. Takie badania przeprowadzili Schaefer i Miszczyk [28], którzy badali katodowe właściwości ochronne powłoki bogatej w cynk, zastępując niewielką część pyłu cynkowego cynkiem nanocząstkowym. Badania dowiodły, że zamiana części cząstek cynku przez cynk o wielkościach nanometrycznych może poprawić działanie elektrochemiczne powłoki.

Badania wpływu dodatków nanocynku i nanoglinki na działanie korozyjne powłoki bogatej w cynk przeprowadził Arianpouya z zespołem [1]. Na podstawie wyników badań, stwierdzili oni, że zarówno cząstki nanocynku, jak i cząsteczki nanogliny zwiększają odporność na korozję powłok bogatych w cynk, poprzez zwiększenie jej właściwości barierowych.

5. Podsumowanie

Powłoki ochronne z wykorzystaniem płatków cynkowych są stosunkowo nową metodą antykorozyjną, zdecydowanie mniej rozpowszechnioną w porównaniu do metod galwanicznych i ogniowych. Jednak ze względu na porównywalne wyniki odporności korozyjnej, mało skomplikowany proces produkcyjny i brak zanieczyszczenia środowiska, w ostatnim czasie zyskały one popularność w wielu gałęziach przemysłu, zwłaszcza motoryzacyjnego.

Metoda cynku płatkowego, ma szansę zastąpić w niedalekiej przyszłości dotychczasową technologię cynkowania termodyfuzyjnego oraz cynkowania ogniowego wyrobów o maksymalnym wymiarze 200 mm.

W chwili obecnej istnieje silna potrzeba poszerzenia wiedzy na temat płatkowych powłok cynkowych, w szczególności w obszarze mechanizmu ochrony, doboru parametrów technologicznych, czy wykorzystania nanomateriałów.

Literatura

- [1] Arianpouya N., Shishesaz M., Ashrafi A., *Evaluation of synergistic effect of nanozinc/nanoclay additives on the corrosion performance of zinc-rich polyurethane nanocomposite coatings using electrochemical properties and salt spray testing*, Surf. Coat. Technol., 216, 199–206, 2013.

- [2] Blicharski M., *Inżynieria powierzchni*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2016.
- [3] Bokszczanin W., *Malarskie powłoki ochronne typu barierowego. Właściwości i zakres stosowania*, Ochrona przed Korozją, 4, 105–107, 1999.
- [4] Bowman E., *International Measures of Prevention Application, and Economics of Corrosion Technologies Study*, NACE International, Houston, Texas, USA, 2016.
- [5] Budziszewski M., *Technologie przygotowania powierzchni elementów ocynkowanych*, Ochrona przed Korozją, 60, 10, 350–351, 2017.
- [6] Czermiński J., *Ochrona przed korozją. Poradnik*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1986.
- [7] Faurez M., Gheno F., White P., *Application of zinc-aluminium flake non-electrolytic surface coatings*, Transactions of the Institute of Metal Finishing, 71, 1, 21–25, 1993.
- [8] Giudice C., Benitez J., Linares M., *Zinc-Rich Epoxy Primers Based on Lamellar Zinc Dust*, Surf. Coat. Int., 80, 6, 279–284, 1997.
- [9] Giudice C., Benitez J., Pereyra A., *Influence of extender type of performance of modified lamellar zinc primers*, J. Coat. Technol. Res., 1, 291–304, 2004.
- [10] Hare C., Kurnas J., *Reduced PVC and the design of metal primers*, J. Coat. Technol., 72, 21–27, 2000.
- [11] Havlík J., Kalendová A., Veselý D., *Electrochemical, Chemical and Barrier Action of Zinc Dust/Anticorrosive Pigments Containing Coatings*, J. Phys. Chem. Solids, 68, 1101–1105, 2007.
- [12] Hays G., *Now is the time*, World Corrosion Organisation [online], http://www.corrosion.org/images_index/newisthetime.pdf [27.02.2020].
- [13] Hochmannová L., *Spherical and Lamellar Zinc Dust*, Eur. Coat. J., 3, 36–45, 2002.
- [14] Hulser P., Donner C., Bauer G., Hahn S., *Electrochemical Investigations of Zinc Flake Coatings*, Electroplating & Finishing, 12, 619–625, 2016.
- [15] Jagtap R., Patil P., Hassan S., *Effect of zinc oxide in combating corrosion in zinc-rich primer*, J. Prog. Org. Coat., 63, 389–394, 2008.
- [16] Jagtap R., Nambiar R., Hassan S., Malshe V., *Predictive power for life and residual life of the zinc rich primer coatings with electrical measurement*, Prog. Org. Coat., 58, 253–258, 2007.
- [17] Jędrzejczyk D., Szłapa I., Skotnicki W., *The comparison of surface state evaluation accuracy of zinc coated elements by application of different methods*, Metal, 03–05.06.2015 Brno, Czech Republic, 2015.
- [18] Kalendova A., *Effects of particle sizes and shapes of zinc metal on the properties of anticorrosive coatings*, Prog. Org. Coat., 46, 4, 324–332, 2003.
- [19] Kohl M., Kalendova A., Stejskal J., *The Effect of Polyaniline Phosphate on Mechanical and Corrosive Properties of Protective Organic Coatings Containing High Amounts of Zinc Metal Particles*, Prog. Org. Coat., 77, 512–517, 2014.
- [20] Li J., Du A., Fan Y., Zhao X., Ma R., Wu J., *Effect of shot-blasting pretreatment on microstructures of hot-dip galvanized coating*, Surface and Coatings Technology, 364, 25, 2019.
- [21] Liberski P., *Antykorozyjne powłoki zanurzeniowe*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 2013.
- [22] Muller B., *Zinc pigments and waterborne paint resins*, Pigment & Resin Technology 30, 6, 357–362, 2001.
- [23] Oleksiak B., Gajdzik B., *Porównanie wybranych właściwości użytkowych powłok nakładanych metodą galvaniczną*, Inżynieria zarządzania. Cyfryzacja produkcji. Aktualności badawcze 1, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 573–584, Warszawa, 2019.
- [24] Papiński K., *Platkowe powłoki cynkowe nanoszone nieelektrolitycznie*, Ochrona przed Korozją, 53, 2, 42–45, 2010.
- [25] Pereyra A., Giudice C., Herrera L., Echeverría F., Castaño J., *Tripigmented anticorrosive coatings based on lamellar zinc as inhibitor*, Surface Coatings International, 89, 245–250, 2006.
- [26] PN-EN ISO 9227 Polska Norma, *Badania korozyjne w sztucznych atmosferach – Badania w rozpylonej solance*.
- [27] Qian Y., Li Y., Jungwirth S., Seely N., Fang Y., Shi X., *The application of anti-corrosion coating for preserving the value of equipment asset in chloride-laden environments: A review*, Int. J. Electrochem. Sci., 10, 10756–10780, 2015.
- [28] Schaefer K., Miszczyk A., *Improvement of electrochemical action of zinc-rich paints by addition of nanoparticulate zinc*, Corros. Sci., 66, 380–391, 2013.
- [29] Szłapa I., Jędrzejczyk D., Hajduga M., Węgrzynkiewicz S., Sołek S., *Evaluation of corrosion resistance of zinc coatings on component of the ambulance*, Metal, 15–17.05.2013 Brno, Czech Republic, 2013.
- [30] Szłapa I., Jędrzejczyk D., Hajduga M., Węgrzynkiewicz S., Sołek S., *Ocena odporności korozyjnej powłok cynkowych na elementach konstrukcyjnych ambulansu sanitarnego*, Ochrona przed Korozją, 56, 4, 166–173, 2013.
- [31] Szłapa I., Jędrzejczyk D., Hajduga M., Węgrzynkiewicz S., *Porównanie odporności korozyjnej różnych powłok cynkowych wyznaczanej w komorach klimatycznych i metodą potencjodynamiczną*, Ochrona przed Korozją, 57, 4, 129–135, 2014.
- [32] Szłapa I., Jędrzejczyk D., Skotnicki W., Hajduga M., Węgrzynkiewicz S., *Evaluation of the resistance to corrosion and wear of zinc coatings created on cast iron*, Metal, 21–23.05.2014 Brno, Czech Republic, 2014.

- [33] Szłapa I., Jędrzejczyk D., Skotnicki W., *Zróżnicowanie odporności korozyjnej i zużycia ściernego powłok cynkowych nanoszonych na stopy Fe-C*, Ochrona przed Korozją, 58, 4, 132–139, 2015.
- [34] Szłapa I., Jędrzejczyk D., *Analiza przyczyn uszkodzeń części złącznych cynkowanych galwanicznie*, Ochrona przed Korozją, 59, 7, 238–243, 2016.
- [35] Tkaczyk S., *Powłoki ochronne*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, 1997.
- [36] Zhang L., Ma A., Jiang J., Song D., Cheng J., Yang D., *Anticorrosion performance of waterborne Zn-rich coating with modified silicon-based vehicle and lamellar Zn (Al) pigments*, Prog. Nat. Sci. Mater. Int., 22, 326–333, 2012.
- [37] Zinowicz Z., Gouda K., *Powłoki organiczne w technice antykorozyjnej*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Lubelskiej, Lublin 2003.
- [38] <https://www.atotech.com/products/general-metal-finishing/corrosion-protection/zinc-flakes/> [28.04.2020].
- [39] <https://www.aalberts-st.com/en/media/aalberts-surface-treatment-news/zinc-flake-coating> [28.04.2020].
- [40] <http://www.uk-finishing.org.uk/NCOAT70/organic.htm> [28.04.2020].