

Wątpliwości co do ochrony rur żeliwnych przez cynkowanie

The questionable effectiveness of the anti-corrosion zinc coating on ductile iron pipes

ANNA WASSILKOWSKA, WOJCIECH DĄBROWSKI

Podsumowano wyniki badań struktury żeliwa sferoidalnego oraz grubości i składu zewnętrznych powłok ochronnych przewodów wodociągowych. Zwrócono uwagę na fakt fabrycznego nakładania cynku na zgorzelinę z tlenku żelaza, powstałą w czasie stygnięcia rur po procesie wyżarzania. W rurach fabrycznie nowych zidentyfikowano podwójną warstwę produktów korozji pod nałożoną izolacją zewnętrzną. Poddano w wątpliwość to, czy w tych warunkach warstwa cynku oprócz ochrony pasywnej może spełniać również funkcję biernej ochrony katodowej. *Słowa kluczowe: przewody wodociągowe, żeliwo sferoidalne, kontrola materiałów.*

Results of testing ductile iron structures, thickness and content of outside pipes protecting layers have been summarized. It has been noted, that the factory zinc coating is sprayed directly on corrosion products, resulting from the process of pipes cooling after annealing. Two different layers of corrosion products have been identified under the external insulation of the brand new pipes. It has been questioned, whether in the zinc or zinc-aluminum coating are able to create a cathode protection in these circumstances. *Keywords: water pipelines, ductile iron, materials inspection.*

Wstęp

Materiały przetargowe na inwestycje komunalne nie mogą zawierać nazw producentów armatury i przewodów rurowych, które ma przyjąć w projekcie i zastosować wykonawca. Zamawiający określa więc wyłącznie wymagania, które mają być spełnione przez dostawcę wyrobu [3, 11]. Dlatego w centrum uwagi producentów znajdują się projektanci i wykonawcy, od których w dużej mierze zależy wybór producenta armatury i przewodów rurowych. Inwestor posiada ograniczone możliwości samodzielnego przeprowadzenia badań jakości dostarczanych rur, gdyż nie dysponuje, co oczywiste, specjalistycznymi stanowiskami badawczymi. Natomiast trudno zrozumieć, dlaczego niemal nigdy nie zleca się badań przygotowanym do takiej działalności laboratoriom. Inne stanowisko reprezentuje MPWiK S.A. w Krakowie z uwagi na poważne nakłady ponoszone na rozbudowę i wymianę przewodów wodociągowych oraz na inne koszty związane ze stanem technicznym infrastruktury komunalnej, takie jak straty wody wynikające z nieuszczelności albo wypłaty odszkodowań za zniszczenia wywołane dużymi awariami rur wodociągowych i ich połączeń. Przeprowadzone na zlecenie MPWiK w Krakowie badania pokazują, że oferowane przez producentów przewody rurowe częściowo nie spełniają wymagań normowych [17] załączonych do dokumentacji projektowej, a tym bardziej wymagań określonych przez to przedsiębiorstwo w dokumentacjach przetargowych.

MPWiK S.A. w Krakowie słusznie uważa, że zbyt duże pocienienie ścianek przewodów żeliwnych stwarza zagrożenie dla ich trwałości [11]. Tymczasem obserwując zmiany w unormowaniach przewodów żeliwnych, które zaszły w ciągu ostatnich dziesięciu lat [5, 16, 17] widać, że dopuszcza się coraz cieńsze ścianki, a sposób oznaczenia przewodów rurowych kamufluje obecnie te informacje. O ile dawniej w oznaczeniu wyrobów podawana była bezpośrednio grubość ściany przewodu, to ostatnio [17] zastąpiono ten sposób oznaczeń ciśnieniami nominalnymi. Pozwala to dla małych średnic stosować przewody o zróżnicowanych grubościach ścianek, gdyż wytrzymałość tych przewodów na ciśnienie wewnętrzne, niezależnie od grubości ściany, i tak wielokrotnie przekracza ciśnienia występujące w sieciach wodociągowych [3]. Proces pocieniania grubości ściany rozpoczął się od wprowadzenia do praktyki przemysłowej produkcji odśrodkowej rur, a później żeliwa sferoidalnego [6, 25]. Żeliwo sferoidalne ma dwukrotnie większą wytrzymałość na rozciąganie od zwykłego żeliwa szarego co zmniejsza koszty i ciężar przewodów, lecz jednocześnie może prowadzić do znacznego skrócenia okresu eksploatacji, o ile nie zostaną zastosowane znacznie lepsze środki ochrony przeciwkorozyjnej [7, 11], które również należałoby zbadać przed przyjęciem rur do ułożenia. W odróżnieniu od określenia struktury i cech mechanicznych żeliwa, z którego rura została wykonana [18-20], jednoznaczne sprawdzenie jakości powłoki antykorozyjnej jest znacznie trudniejsze inną metodą, niż w mikroskopie elektronowym [21, 32, 33].

W 1920 roku zastosowano po raz pierwszy odśrodkową metodę odlewania przewodów żeliwnych [6]. Metoda ta jest udoskonalana i stosowana do dnia dzisiejszego przy produkcji rur z żeliwa sferoidalnego, które wyparło zwykłe żeliwo szare, począwszy od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku [12-15, 25-29]. Odlewanie odśrodkowe zabezpiecza zewnętrzną i środkową część ścianki żeliwnej przed powstaniem wad objętościowych, może się jednak zdarzyć, że tzw. rzadziny pozostaną przy powierzchni wewnętrznej rury [6]. Prowadzone w Katedrze Wodociągów, Kanalizacji i Monitoringu Środowiska Politechniki Krakowskiej badania mikrostruktury rur wykazały, że lokalne rzadziny stanowią często występującą wadę przewodów fabrycznie nowych [32, 33].

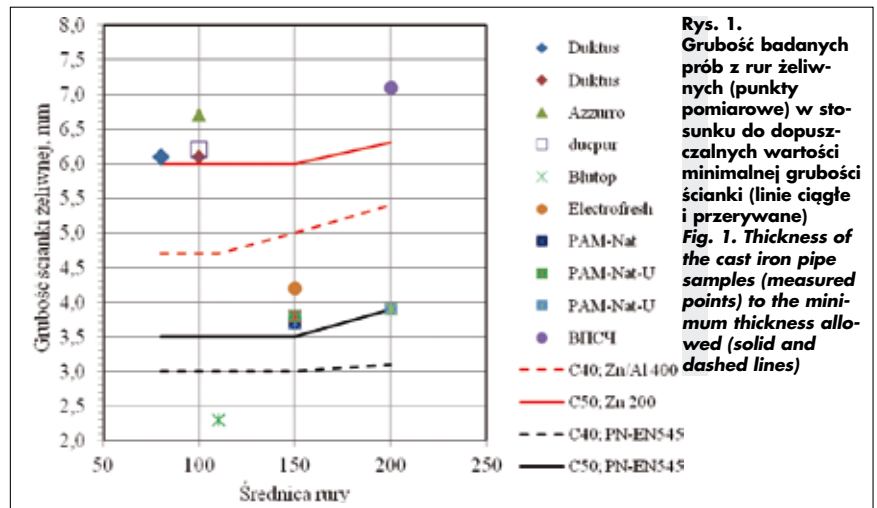
dr inż. Anna Wassilkowska,
prof. dr hab. inż. Wojciech Dąbrowski –
Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika
Krakowska

Wiadomo, że w zwykłym żelazie szarym postępujące procesy korozji, przy nałożeniu się ich na wady materiałowe, mogą doprowadzić do pęknięcia rury. Przeważa natomiast opinia ugruntowana przez producentów [13, 25], że tego rodzaju pęknięcia w ogóle nie mają miejsca dla rur z żelaza sferoidalnego.

W świetle uzyskanych w okresie od 09.2011 do 12.2012 wyników badań rur wodociągowych, główne wątpliwości budzą wymagania normatywne [17] dotyczące metalizacji zewnętrznej powierzchni rur w celu ochrony przeciwkorozyjnej żelaza w glebach o normalnej agresywności [14, 17, 27]. Z jednej strony, wyraźne zalecenia co do rodzaju powłoki dla określonej agresywności gleby wydają się być w praktyce pomijane przez system monitoringu gruntów na terenie budowy lub podczas renowacji sieci. Z drugiej strony wymagania normatywne [17] wydają się nie uwzględniać faktu, że powłoka cynkowa nie może spełniać funkcji ochrony aktywnej dla stali i żelaza, tak jak typowe powłoki galwaniczne [1, 23], nawet jeśli jest znacznie grubsza i uszczelniona od zewnątrz farbą [21, 22]. W obecnej pracy zwrócono szerszą uwagę na to drugie zagadnienie, ponieważ metalizacja natryskowa cynkiem (ew. stopem cynkowo-glinowym) jest preferowaną metodą ochrony rur podziemnych przed korozją elektrochemiczną w Europie [11, 17], w odróżnieniu od rozwiązań zatwierdzonych w Stanach Zjednoczonych [7] i w Federacji Rosyjskiej [12].

Badane rury

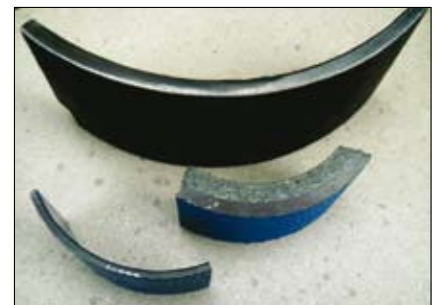
Przedmiotem badań były przewody rurowe z żelaza sferoidalnego przeznaczone dla systemów wodociągowych [17]. Rury żelazne pokryte są od zewnątrz i od wewnątrz fabrycznymi powłokami antykorozyjnymi. Od środka jest to zazwyczaj wykładzina cementowa nakładana przy obrotowym ruchu przewodu żelaznego, przez co siła odśrodkowa odsuwa ziarna piasku w kierunku ściany, pozostawiając gładką powierzchnię wewnętrzną przewodu o niskiej porowatości [31]. Struktura mikroskopowa kolejnych warstw w przekroju poprzecznym ścianki rury została zbadana na mikroskopie skaningowym Hitachi S-3400N. Badania obejmowały rury ciśnieniowe z żelaza sferoidalnego w zakresie średnic od DN 80 do DN 200 [12-15, 26-29]. Rys. 1 przedstawia zestawienie badanych rur w aspekcie ich grubości ścianki. Minimalna grubość ścianki rur według normy krajowej PN-EN 545 [17] została ozna-



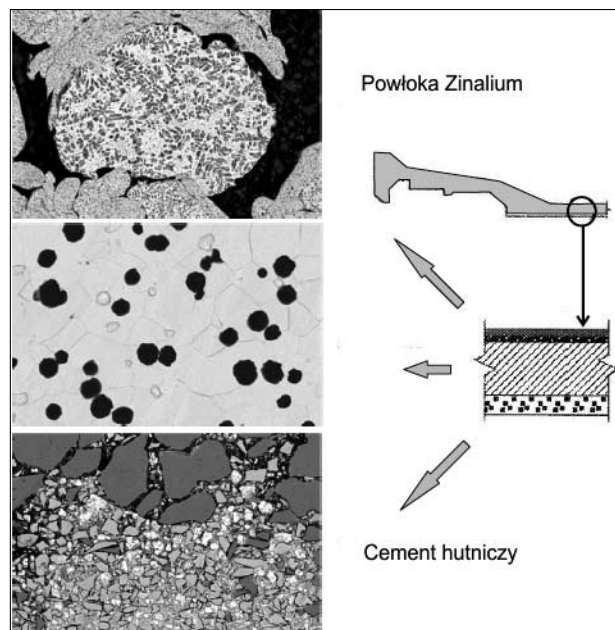
Rys. 1. Grubość badanych prób z rur żelaznych (punkty pomiarowe) w stosunku do dopuszczalnych wartości minimalnej grubości ścianki (linie ciągłe i przerywane)
Fig. 1. Thickness of the cast iron pipe samples (measured points) to the minimum thickness allowed (solid and dashed lines)

czona linią czarną, natomiast wymagania MPWiK S.A. Kraków z roku 2011 [11] – linią czerwoną. Przerwane linie dotyczą grubości rur dla normatywnej klasy ciśnienia C40, natomiast linie ciągłe – dla klasy C50.

Należy jednoznacznie zaznaczyć, że wycinki prób dostarczone przez MPWiK S.A. Kraków potraktowano jedynie jako materiał badawczy (rys. 2). Ocena stosowanej technologii powlekania powierzchni zewnętrznej rur (rys. 3) metodą mikroskopii elektronowej dotyczy tylko i wyłącznie pojedynczych prób materiału, wytypowa-



Rys. 2. Wycinki różnych rur żelaznych przeznaczone do badań mikroskopowych
Fig. 2. Fragments of cast iron pipes delivered for microscopic investigations



Rys. 3. Warstwowa struktura rury z żelaza sferoidalnego w przekroju poprzecznym ścianki
Fig. 3. Images of layered microstructure in a wall cross section of the iron pipes

nych wśród różnych producentów. Wyniki nie mogą być zatem stosowane do celów antyreklamowych lub konkurencyjnych. Badania materiałowe rur pozwoliły sformułować główne sygnały ostrzegawcze, postrzegane dalej jako typowe „wady ukryte” struktury odlewu żelaznego i nałożonych powłok. Ułomności produktu,

zauważone w dotychczasowych badaniach laboratoryjnych mogą, lecz nie muszą zostać wykazane w badaniach kolejnych, reprezentatywnych prób materiału. Podczas badań na reprezentatywnej liczbie prób mogą się również pojawić wady, których w pojedynczych próbach nie stwierdzono.

Stan mikrostruktury rur przed metalizacją zewnętrzną

Zgodnie z normą PN-EN 545 [17], kraje europejskie stawiają na bierną ochronę katodową rur z żeliwa sferoidalnego przez zewnętrzne cynkowanie powierzchni. Gdy próba hydrauliczna wypada pozytywnie, rury są transportowane do ocynkowni, a na sam koniec – malowane natryskowo (rys. 4). Norma

400 g/m²), ma stanowić nie tylko alternatywne rozwiązanie dla rur stosowanych w bardziej agresywnym środowisku [3], lecz jest wymagana dla wszystkich rur cienkościennych, klasy C40 (rys. 1) [11]. Aktualnie wymagana grubość ścianki żeliwnej [11], jest znacznie wyższa od unormowanej [17] (rys. 1), co kolejny raz świadczy o dbałości Wodociągów Krakowskich o niezawodność sieci.

Rury żeliwne odlewane odśrodkowo mają charakterystyczną fakturę zewnętrz-

na obrazach SEM), co może świadczyć o dwuetapowym narastaniu. Górna warstwa składa się z czystego tlenku żelaza, Fe₂O₃ [30, 35], natomiast dolna jest dyfuzyjnie związana z żeliwem (zawiera żelazo i krzem). Często obserwuje się rozwarstwienie tlenków [32], co świadczy o ich słabym połączeniu ze sobą, przyczyniającym się do wadliwości równomiernej powłoki cynkowej, nakładanej odgórnie.

Zastanawiający jest fakt, że chociaż warunkiem dobrej przyczepności jest duża czystość podłoża przed nałożeniem powłoki [2, 30], cynkowane rury z żeliwa sferoidalnego przeznaczone na rynek europejski (ponad połowa badanych prób) nie były oczyszczone ze zgorzeli. Nie chodzi tutaj tylko o smary i cząstki mechaniczne [1, 17, 22, 32], ale o usunięcie wszystkich warstw niemetalicznych, jak tlenki i inne produkty korozji [2, 9]. Czyszczenie wykonują nieliczne fabryki, głównie stosujące powłokę cynkowo-glinową. Na rys. 6 pokazano szerszy fragment przekroju powłoki cynkowo-glinowej, na którym widać czyste „górkę” podłoża żeliwnego, natomiast „dolinę” – niedotkniętą piaskowaniem.

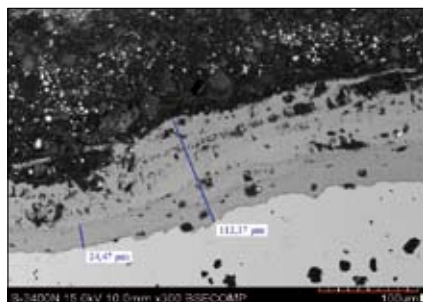
Na rurach żeliwnych w stanie dostawy mogą ponadto występować podpowłokowe wżery korozyjne, co świadczy o złym przygotowaniu powierzchni do metalizacji natryskowej i stanowi problem w wielu rurach. Warunki technologiczne nakładania powłok oraz wymagania dotyczące przyczepności warstwy cynkowej zostały wymienione w pracy [32]. Niestety, adhezję powłoki jest trudno sprawdzić na gotowych wyrobach, ze względu na relief i promień zakrzywienia podłoża, oraz na warstwę farby epoksydowej od góry.



Rys. 4. Schemat systemu kontroli jakości zatwierdzonego przez ISO 9001
Fig. 4. System diagram of the quality control approved by ISO 9001

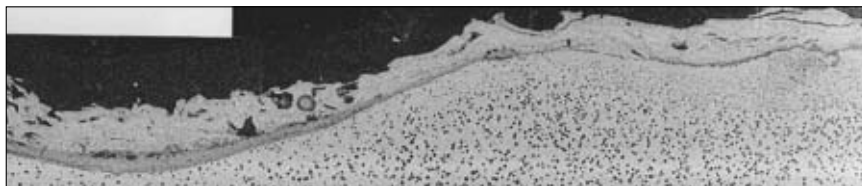
[17] nie uściśla sposobu nanoszenia powłoki fabrycznej. W przeciętnych warunkach wodno-gruntowych można stosować pod farbą zarówno czysty cynk metaliczny w ilości min. 200g/m², jak również farbę wysokocynkową w ilości min. 220 g/m². Ten drugi wariant potwierdzony został w próbie [26] (rys. 5).

na [32], dlatego w przekroju zakresła się falisty profil podłoża (rys. 5). Grubość wielowarstwowej struktury powłoki zewnętrznej mierzona jest bezpośrednio na zdjęciach mikroskopowych [34]. Na rys. 5 widać pomiędzy podłożem żeliwnym (jasny kontrast), a powłoką cynkową (ciemny kontrast), „przejściową warstwę”



Rys. 5. Obraz przekroju poprzecznego powłoki malarskiej, pow. 300x
Fig. 5. Image of the cross section of a paint coating, 300x

MPWiK S.A. w Krakowie dopuszcza jako zabezpieczenie fabryczne rur wyłącznie powłoki cynkowe nakładane metodą metalizacji natryskowej w łuku elektrycznym (ang. arc-spray thermal coatings) [2]. Grubsza powłoka cynkowo-glinowa (min.



Rys. 6. Połączone zdjęcia mikroskopowe na długości próby z powłoką cynkowo-glinową
Fig. 6. Longitudinal image of the cross section of a zinc-aluminum coating

tlenkową rzędu 50-100 μm. Powierzchnia rur została równomiernie pokryta tą warstwą jeszcze przed cynkowaniem, przechodząc etap obróbki cieplnej (rys. 4). Warstwa zgorzeli tworzy się po wyżarzaniu odlewów przy 950°C i kontrolowanym chłodzeniu, przeprowadzanym dla wytworzenia ferrytycznej struktury metalu [33]. Badania mikroskopowe wykazały, że tlenek żelaza składa się z dwóch odrębnych warstw (podwarstwa jest ciemniejsza

Wyniki badania jakości powłoki powinny być przez producenta przedstawione do wglądu w ramach certyfikatu ISO 9001 [8].

Charakterystyka mikroskopowa powłok cynkowych

Badania przekroju poprzecznego ścianki rury przy użyciu mikroskopu ska-

ningowego (ang. scanning electron microscope) pozwalają jednoznacznie określić technologię nałożenia powłok oraz zmierzyć lokalnie ich skład chemiczny i grubość [31-35]. Jakościowe badania powłok przeprowadza się w dwóch trybach obra-

Powłoki nałożone od zewnątrz rur żeliwnych metodą metalizacji natryskowej

Na rys. 8. przedstawiono dwa skrajne warianty wykonania powłok cynkowo-glinowych w badanych próbach rur wodo-

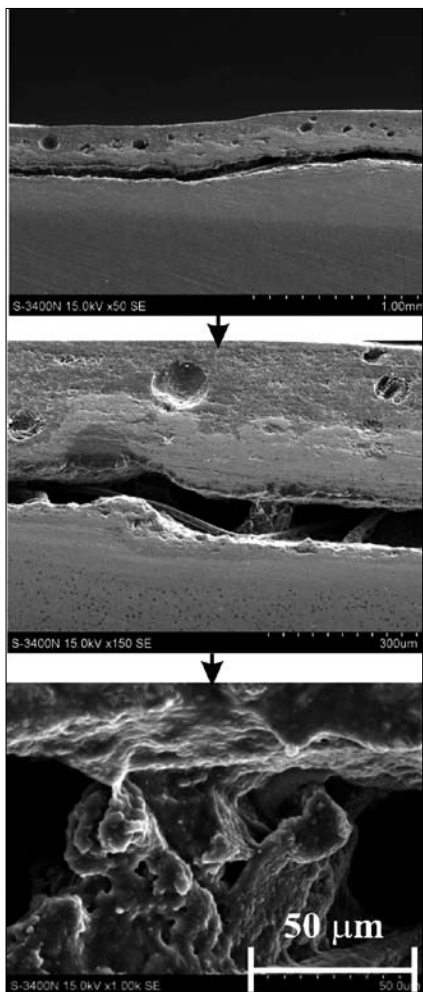
ne cieplnie metodą metalizacji łukowej mogły w sumie wykazywać trzy rodzaje niejednorodności:

- składu chemicznego (rys. 8b);
- stopnia zwartości (rys. 8b);
- równomierności nałożenia.

Przykład względnie równomiernie nałożonej powłoki, której grubość można wystarczająco precyzyjnie zmierzyć metodą mikroskopową, przedstawiono na rys. 8a. Rozpylany stop zastyga w postaci kropelek o różnym stopniu spłaszczenia (rys. 3), tak że jego struktura składa się z podwarstw o grubości rzędu 10-15 μm . Osiągnięcie dobrej zwartości powłoki jest zatem zagadnieniem z zakresu technologii, zaś ewentualne niedoskonałości można łatwo wykazać nawet na pojedynczych próbach materiału [27]. Zdjęcia na rys. 8 zostały wykonane w tym samym powiększeniu. Porównując je widać, że podwójna powłoka metal-farba (rys. 8b) jest dwukrotnie cieńsza i zarazem wadliwa.

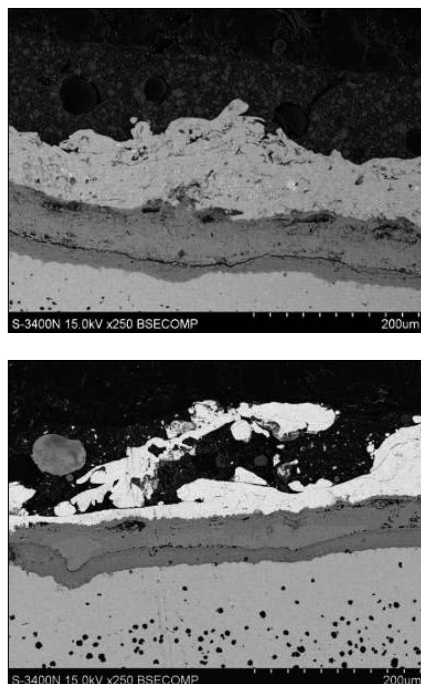
Badania jednorodności składu chemicznego powłok cynkowo-glinowych pozwoliły dokonać drugiego ważnego spostrzeżenia: natryskiwanie składników stopowych z osobnych źródeł (dwóch drutów) stwarza problemy technologiczne w otrzymaniu jednorodnego stopu. W tym przypadku nałożona powłoka nie tylko różni się składem chemicznym od optymalnego 85% wag. Zn i 15% wag. Al dla powłoki nakładanej z jednego źródła (rys. 9), ale może krystalizować lokalnie w różnych proporcjach według układu równowagi Al-Zn [32]. Na rys. 8b jasne fragmenty powłoki metalicznej to stop cynkowy, a ciemniejsze – to stop glinowy. Wydaje się zatem celowe zakupienie patentu na wykonanie takiej powłoki lub stosowanie jednego drutu stopowego (technologia drutów stopowych Zn85 Al15 została opracowana m. in. na Wydziale Metali Nieżelaznych AGH w Krakowie w zespole prof. Tadeusza Knychy).

Na wykresie porównawczym z rys. 9 pokazano oryginalne wyniki analizy spektralnej EDS powłoki w kilku badanych próbach. Metoda EDS (ang. energy-dispersive spectrometry) polega na analizie



Rys. 7. Przekrój powłoki odchodzącej z podłoża żeliwnego, pow. 50x, 150x i 1000x
Fig. 7. Cross-section image of the coating spalled from ductile iron substrate, 50x, 150x and 1000x

zu: elektronów wtórnych (SE) i elektronów wstecznie odbitych (BSE). Na rys. 6. pokazano przekrój grubej powłoki, na którym można (dzięki trójwymiarowości obrazu SE) obserwować fragmenty struktury nawet pod szczeliną odstającą powłoki. Łatwe odpryskiwanie powłoki zauważono podczas przecinania poprzecznego ścianki próby. Nie było to jedyne zaskoczenie podczas badań strukturalnych. Żeliwo, z którego wykonana jest nadzwyczaj cienka ścianka przewodów (rys. 1), nie może być zaklasyfikowane do gatunku sferoidalnego, co zostało potwierdzone w badaniach strukturalnych i mechanicznych jednej próby (w postaci pierścienia o długości 20 cm), pobranej losowo z komercyjnej partii rur [36].

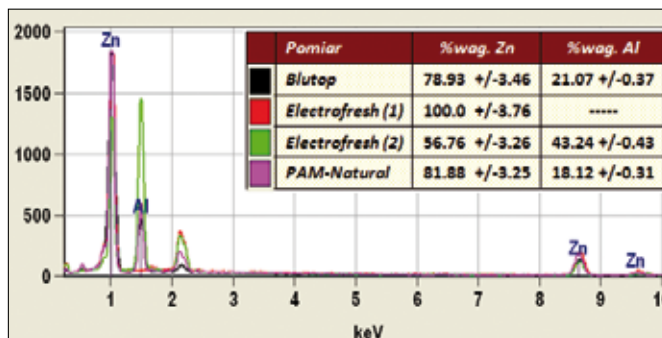


Rys. 8. Dwa skrajne warianty wykonania powłok cynkowo-glinowych: a) jednorodna struktura - jednorodne nałożenie; b) niejednorodna struktura - niejednorodne nałożenie, obraz BSE, pow. 250x

Fig. 8. Two extreme variants of zinc-aluminum coating performance: a) homogeneous structure uniformly imposed, b) heterogeneous structure non-uniformly imposed, BSE image, 250x

ciągowych (rys. 2). Zdjęcia mikroskopowe wykonano standardowo co 2 mm wzdłuż przekroju poprzecznego badanej powłoki [21], a następnie w tych samych miejscach próby zmierzono skład i grubość minimalną warstw. Metody mikroskopowe opisane zostały w pracach [34, 35].

Pierwsze spostrzeżenie jest takie, że powłoki cynkowe są nakładane bezpośrednio na zgorzelinie (rys. 5 i 8), a od góry uszczelnione równą (i zarazem porowatą) warstwą farby. Powłoki natryskiwa-



Rys. 9. Skład chemiczny powłoki metalicznej w kilku badanych próbach.
Fig. 9. Chemical composition of metallic coatings in several tested samples

widma dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego od próbki, napromienowanej wiązką elektronową [35]. Obszar analizy wynosi od jednego do kilkadziesiąt mikrometrów. Stężenie pierwiastków w próbce jest proporcjonalne do wysokości ich pików na widmie EDS (rys. 9).

Powłoki nałożone od wewnątrz rur stalowych metodą ogniową

Badanie ocynkowania rur stalowych nie stanowiło żadnego z etapów badań zleconych do Laboratorium Politechniki przez MPWiK S.A. w Krakowie. Niemniej, przy okazji innych prac eksperckich [4] stwierdzono, że instalacje stalowe ciepłej wody wykonane w okresie ostatnich dwóch do czterech lat, mogą korodować w stopniu wymagającym ich wymiany. W Krakowie problemy eksploatacyjne występują na obszarach zasilanych z rzeki Raby, ale nie tylko. Gwałtowne pogorszenie stanu technicznego nowych instalacji z ocynkowanych rur stalowych [23], w porównaniu do wciąż dobrego stanu instalacji w budynkach wielokondygnacyjnych z lat 60-tych i 70-tych, wskazuje na poważne problemy materiałowe [38]. Badania awaryjnych odcinków rur o małej średnicy wykazały korozję szwów, która może wynikać zarówno z wadliwego zgrzewania rur, jak i z zaniedbań ocynkowni [10, 24, 37].

Podsumowanie wyników i wnioski

Na podstawie obserwacji pod mikroskopem zglądów wykonanych poprzecznie do ściany przewodu rurowego (rys. 3) rur wodociągowych o średnicy DN150 – 250 stwierdzono, że w strukturze fabrycznie nowych przewodów mogą wystąpić lokalne wady odlewnicze w postaci rzadzin lub niekompletnej sferoidyzacji [32, 33]. Porównując odlewy o cenniejszej ściance z grubszyimi rurami (rys. 1) można stwierdzić, że problemy powierzchniowe oraz objętościowe odlewów żeliwnych wcale nie są związane z grubością ścianki rury, stanowią zatem ewidentne przeoczenie wewnętrznego systemu kontroli jakości [8] lub są celowo ukrywane. Struktura odlewu powinna być badana po obróbce ciepłej różnymi metodami (pomiar twardości, badania mechaniczne) [18-20], żeby skierować wadliwą partię materiału do powtórnego przetopienia (rys. 4).

Większość producentów rur żeliwnych nakłada warstwę cynkową bezpośrednio na zgorzelinę wyżarzania (rys. 5), wykorzystując brak unormowanego nakazu oczyszczania powierzchni metalizowanej

z tlenków [17]. Wyżarzanie rur jest konieczne do otrzymania ferrytycznego żeliwa sferoidalnego o odpowiedniej plastyczności i wytrzymałości [25, 33]. Zdaniem amerykańskiego Stowarzyszenia do Badań Rur z Żeliwa Sferoidalnego (DIPRA) [7] – w związku z niebezpieczeństwem powstania kawern na powierzchni rur żeliwnych po piaskowaniu lub śrutowaniu – wygodniej jest warstwę tlenkową pozostawić, nakładając na nią rękawy polietylenowe (jako podwójne zabezpieczenie żeliwa od zewnątrz). W Europie, w przeciwieństwie do proponowanych rozwiązań amerykańskich, stosowane jest cynkowanie lub nakładanie w łuku elektrycznym powłoki cynkowo – glinowej.

Nakładanie powłoki można przedstawić następująco:

- a) metodą natryskową nakładamy możliwie najgrubszą warstwę cynku lub stopu, (podłoże nie odgrywa tu roli); im większa grubość powłoki (np. 400g/m² zamiast 200g/m²) tym dłuższy czas zużycia aktywnego metalu;
- b) mieszanina stopowa (Zn85 Al15) o strukturze eutektycznej jest twardsza niż czyste metale i łączy zarazem efekt pasywacji od obu składników; twardsza powłoka jest bardziej odporna na uszkodzenia mechaniczne;
- c) równomiernie uszlachetniona powierzchnia „oddycha” poprzez górną farbę epoksydową; taki układ ma nie tylko walory dekoracyjne, lecz stanowi dwuwarstwowe zabezpieczenie żeliwa w gruntach o większej agresywności; itd.

Zastrzeżenia wynikające z naszych badań fabrycznych powłok zewnętrznych stosowanych na rurach żeliwnych do transportu wody (rys. 1-3), można podsumować następująco:

- 1) Powłoki cynkowe natryskiwane ciepłnie są zazwyczaj na tyle nierównomierne (np. grubość miejscowa zmienia się od zera do 30-100 μm w górę), i niejednorodne strukturalnie (np. skład i porowatość zmienne w szerokim zakresie), że jedynym sposobem wykrycia rozbieżności deklaracji producenta ze specyfikacjami [11, 17] są badania przeprowadzone na mikroskopie skaningowym, które mogą służyć jako próby rozjemcze.
- 2) Wyraźnie zarysowują się różnice pomiędzy sposobem ochrony przewodów z żeliwa sferoidalnego w Europie [17] oraz w Stanach Zjednoczonych [7]. Możliwe, że warstwa cynkowa wzmacnia efekt pasywacji powierzchni jedynie w sposób mechaniczny, gdyż odporność elektryczna podłoża tlenko-

wego jest stosunkowo wysoka [30]. Wykazanie zaś, która metoda jest bardziej efektywna, przekracza możliwości finansowe dotychczasowej współpracy pomiędzy Katedrą Wodociągów, Kanalizacji i Monitoringu Środowiska Politechniki Krakowskiej, a MPWiK S.A. w Krakowie. Podjęcie takich badań byłoby możliwe jedynie w przypadku uzyskania finansowania zewnętrznego.

Badania wykonano w ramach umowy (nr Ś-3/421/2012) pomiędzy Politechniką Krakowską, a Miejskim Przedsiębiorstwem Wodociągów i Kanalizacji S.A. w Krakowie, a tekst napisano w ramach działalności statutowej.

LITERATURA

- [1] Banaszkiewicz T., *Cynkowanie, kadmowanie, cynowanie, miedziowanie i ołowiowanie*, Państwowe Wydawnictwa Techniczne, Warszawa, 1960.
- [2] Burakowski T., Wierzchon T., *Surface engineering of metals: Principles, Equipment, Technologies, Chapter 6: Coatings*, CRC Press LLC, 1999.
- [3] Dąbrowski W., Kwietniewski M., Miłaszewski R. i inni, w: *Zasady doboru rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych do budowy przewodów wodociągowych*, red. Kwietniewski M., Tłoczek M., Wysocki L., Izba Gospodarcza Wodociągi Polskie, Bydgoszcz, 2011.
- [4] Dąbrowski W., Zielina M., *Ocena wody zaopatrującej tereny Krakowa pod względem jej korozyjności w odniesieniu do instalacji ciepłej wody ze stali ocynkowanej*, sprawozdanie Politechniki Krakowskiej, 2011, nieopublikowane
- [5] EN-545, *Rury, kształtki i wyposażenie z żeliwa sferoidalnego oraz ich połączenia do budowy rurociągów wodnych – wymagania i metody badań*, czerwiec 2002.
- [6] Górny Z., *Odlewanie w formach wirujących*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1966.
- [7] Horn L.G., *The design decision model for corrosion control of ductile iron pipelines*, Ductile Iron Pipe Research Association (DIPRA), 2006.
- [8] ISO 9001, *Systemy zarządzania jakością*, 2000.
- [9] Łempnicki J., Paradisz J., *Oczyszczanie i wykańczanie odlewów żeliwnych i staliwnych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1979.
- [10] Materiały dydaktyczne Politechniki Szczecińskiej: *Badania odporności korozyjnej złącza spawanego*, Instytut Inżynierii Materiałowej, Zakład Metaloznawstwa i Odlewnictwa
- [11] MPWiK S. A. Kraków, *Wymagania dotyczące rur z żeliwa sferoidalnego*, 2011.
- [12] OAO Lipetsk Iron Works Svobodni Sokol, *New production – Ductile Iron Pipes DN80-1000mm*, www.svsokol.ru
- [13] PAM Saint-Gobain, *Water mains. Ductile iron pipes and fittings for raw and potable water supplies and irrigation*, Katalog 2001, www.saint-gobain-canalization.com
- [14] PAM Saint-Gobain, *Rury serii PAM-Natural*, Katalog producenta
- [15] PAM Saint-Gobain, *Kompletne systemy wodociągowe z żeliwa sferoidalnego w sie-*

