

**LABORATORIA
APARATURA
BADANIA**

ISSN-1427-5619

5 / 2018

DWUMIESIĘCZNIK



**Wpływ ciśnienia hydrostatycznego
na składniki i mikroorganizmy w mleku**

Analiza odporności korozyjnej wybranych materiałów metalowych

Zbigniew Brytan, Janusz Mazurkiewicz, Łukasz Reimann*

Wstęp

Korozja jest zjawiskiem polegającym na niszczeniu materiału w wyniku reakcji z otaczającym je środowiskiem. Podstawowy podział mechanizmów zniszczenia korozyjnego metali i ich stopów obejmuje zjawiska chemiczne i elektrochemiczne, natomiast większość procesów korozyjnych ma charakter elektrochemiczny.

Poznanie metod badań i poprawy odporności na korozję materiałów metalowych wynika z bardzo szerokiego ich zastosowania niemal w każdej gałęzi przemysłu oraz coraz większego wykorzystania ich na produkty pracujące w środowiskach o podwyższonej agresywności korozyjnej. Metody poprawy odporności korozyjnej wymagają zastosowania właściwych i dostępnych technik badawczych w celu określenia ich efektywności.

W przypadku materiałów metalowych można wymienić pięć zasadniczych rodzajów zniszczeń korozyjnych: korozję równomierną, korozję wżerową, korozję selektywną, korozję międzykrystaliczną i pękanie korozyjne.

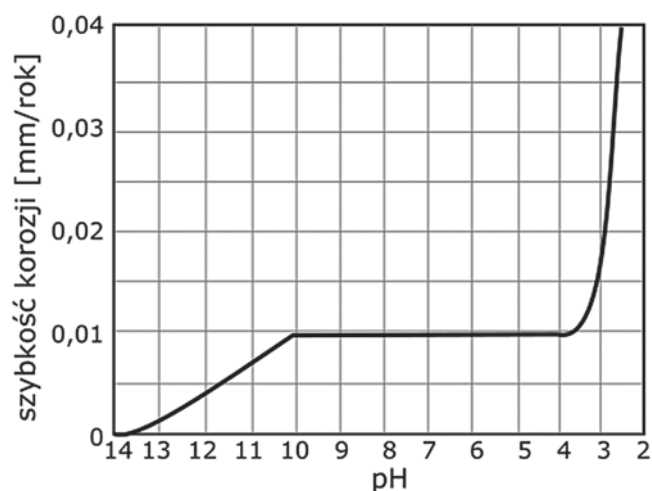
Procesowi korozji elektrochemicznej towarzyszy występowanie mikro ogniw galwanicznych oraz reakcje chemiczne

utleniania i redukcji, w związku z czym w czasie lokalnego przepływu prądu elektrycznego występuje również przepływ jonów. Odporność korozyjną metalu można wstępnie sprawdzić posługując się szeregiem elektrochemicznym napięciowym (tabl. 1) metali zanurzonych w roztworze jego soli. Im bardziej dodatnia wartość tego potencjału, tym większa odporność metalu na korozyjne zniszczenie chociaż – ze względu na procesy związane z pasywacją metali – nie można traktować jej jako jedynego wyznacznika odporności korozyjnej danego metalu.

W badaniach elektrochemicznych odporności na korozję występuje kilka warunków wstępnych decydujących o przebiegu testów, a należą do nich: skład chemiczny roztworu, temperatura,

Tablica 1. Szereg napięciowy metali [1]

Nazwa pierwiastka	Symbol	Potencjał swobodny [V]
Złoto	Au	+1,5
Platyna	Pt	+1,2
Srebro	Ag	+0,8
Miedź	Cu	+0,521
Nikiel	Ni	-0,25
Żelazo	Fe	-0,44
Chrom	Cr	-0,74
Cynk	Zn	-1,53
Aluminium	Al	-1,66
Magnez	Mg	-2,37



Rys. 1. Wpływ pH środowiska na szybkość korozji żelaza [2]

przygotowanie powierzchni. Analizując skład chemiczny środowiska zwraca się przede wszystkim uwagę na stężenie jonów wodorowych, z którymi związana jest jego kwasowość (rys. 1), np. dla żelaza przy $\text{pH} < 4$ następuje duży przyrost szybkości roztwarzania żelaza. Dodatkowo przy

badaniu odporności metali na korozję wżerową należy uwzględnić zawartość jonów chloru w roztworze; w wodzie morskiej najczęściej występuje około od 3,5 do 5,0% NaCl, a wraz ze wzrostem stężenia Cl^- , szybkość korozji zmniejsza się – związane jest to ze zmniejszoną rozpuszczalnością tlenu. Bardzo często do wstępnej oceny szybkości korozji metali wykorzystuje się diagramy Pourbaix'a [2].

Kolejnym czynnikiem wpływającym na przebieg niszczenia korozyjnego jest temperatura roztworu, której wzrost powoduje zwiększenie agresywności kąpieli, a tym samym zwiększenie szybkości zachodzących reakcji. Ponadto większą odporność korozyjną wykazuje materiał, którego powierzchnia charakteryzuje



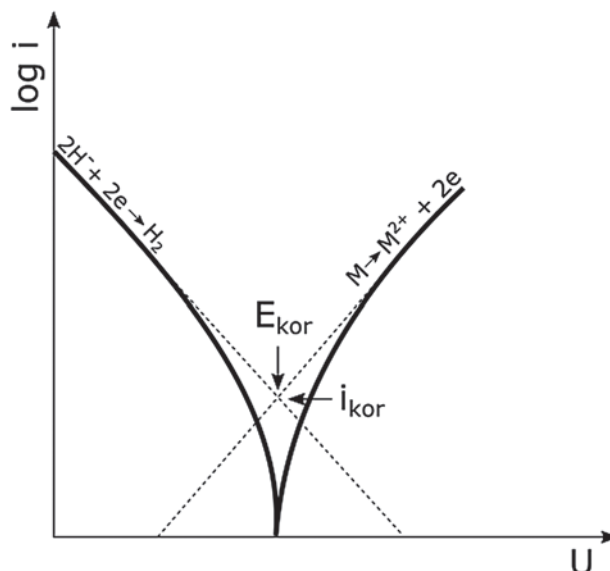
się małą wartością chropowatości (np. R_a , R_z), w związku z tym mniejsza jest jego powierzchnia aktywna.

Elektrochemiczne metody badania odporności korozyjnej metali

Elektrochemiczne metody badania odporności korozyjnej stanowią grupę przyspieszonych badań laboratoryjnych, za pomocą których można wstępnie ocenić np. jakość zastosowanego pokrycia ochronnego w znacznie krótszym czasie, w porównaniu z badaniami w środowisku naturalnym, wynoszącym kilkadziesiąt minut, kilka godzin lub nawet kilka dni. Warunkiem stosowania przyspieszonych metod badawczych jest zapewnienie jak najbardziej podobnego składu chemicznego elektrolitu w porównaniu do składu atmosfery,

w warunkach której pracuje produkt. Tego typu badania mają kluczowe znaczenie dla analizy odporności korozyjnej materiałów pracujących w wszelkiego rodzaju roztworach jak np. ciecze technologiczne, woda w układach chłodzenia, odczynniki, które są transportowane lub przechowywane w rurociągach czy zbiornikach. Badania elektrochemiczne mogą być realizowane za pomocą jednej z czterech technik jako:

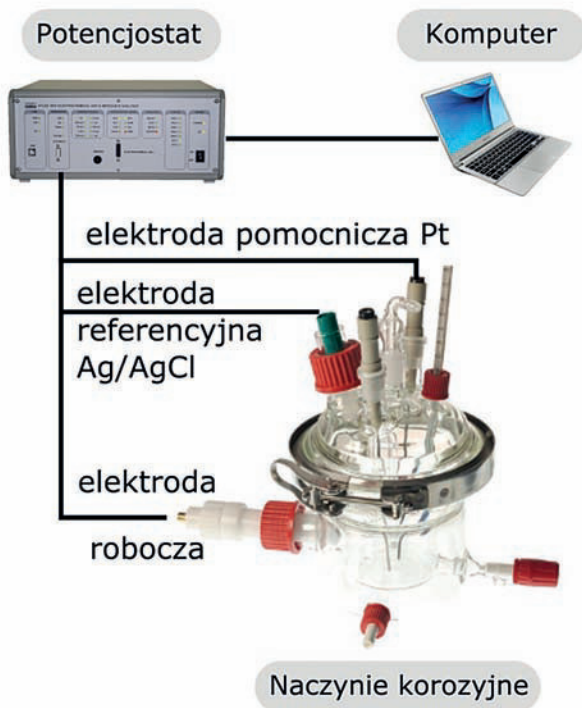
- potencjostaticzne – elektroda badana przyjmuje stałą wartość potencjału, rejestrowany jest prąd w funkcji czasu;
- potencjodynamiczne – następuje zmiana potencjału elektrody roboczej zgodnie z zaplanowanym programem, przy rejestracji prądu w funkcji potencjału;



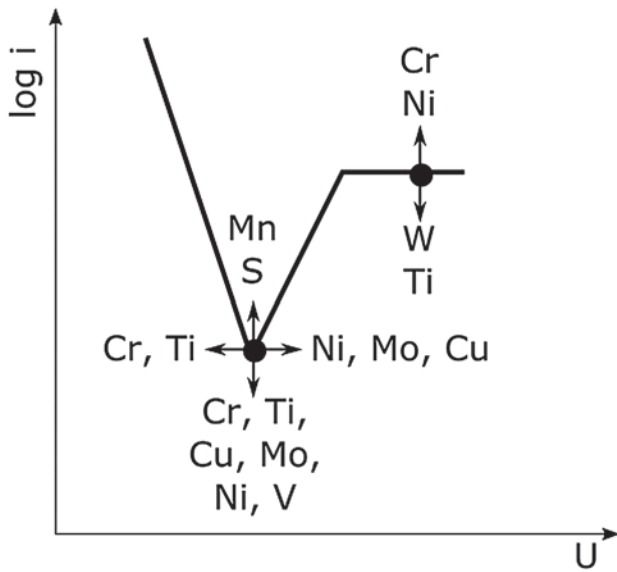
Rys. 3. Przykładowy wykres polaryzacji elektrodowej oraz sposób ekstrapolacji w metodzie Tafela [3]

- galwanostaticzne – zaprogramowana stała wartość natężenia prądu przy rejestracji zmian potencjału elektrody badanej w funkcji czasu;
 - galwanokinetyczne – następuje zmiana wartości prądu zgodnie z zaplanowanym programem przy rejestracji potencjału elektrody badanej w funkcji prądu
- i polegają na wyznaczeniu krzywych polaryzacji anodowej i katodowej. Do tego typu badań stosuje się urządzenie zwane potencjostatem, który jest zarówno źródłem prądu, jak i miernikiem, w trybie ciągłym porównującym napięcie badanego materiału z napięciem na elektrodzie referencyjnej o stałym zadany potencjale. Potencjostat pozwala na długoterminowe utrzymywanie stałej wartości potencjału elektrody lub zaprogramowanie szybkości zmian tego potencjału. W skład stanowiska do badań odporności korozyjnej (rys. 2) wchodzi – oprócz potencjo-

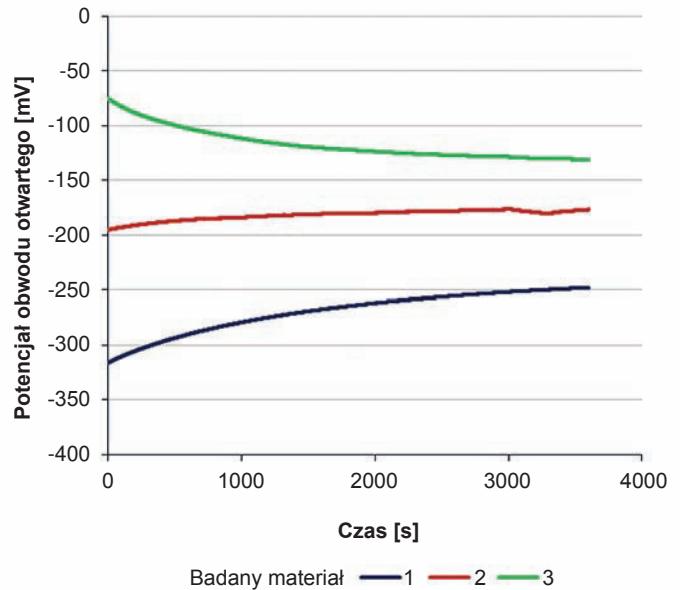
statu – naczynie korozyjne z elektrodami: referencyjną (chlorosrebrową, kalomelową lub wodorową), pomocniczą (platynową lub ze stali odpornej na korozję) i badaną, stanowiącą próbkę analizowanego materiału, podłączonymi do urządzenia rejestrującego np. do komputera. Zarejestrowane krzywe polaryzacji anodowej w badaniu techniką potencjodynamiczną, stosowaną powszechnie w analizie odporności metali na występowanie korozji wżerowej, stanowią dane źródłowe do wyznaczenia podstawowych wielkości elektrochemicznych materiału, przy zastosowaniu metody ekstrapolacji Tafela (rys. 3), a kształt i przebieg krzywych polaryzacji związany jest ze składem chemicznym badanego materiału (rys. 4). Laboratorium Badania Materiałów Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych dysponuje urządzeniem, tj. potencjostatem-galwanosta-



Rys. 2. Stanowisko do badań elektrochemicznych odporności korozyjnej metali



Rys. 4. Wpływ dodatków stopowych na przebieg krzywych polaryzacyjnych stopów żelaza [4]



Rys. 5. Krzywe potencjału stacjonarnego stopów CoCr (badania własne)

tem Atlas 0531EU z oprogramowaniem AtlasLab, które umożliwia pomiary potencjału swobodnego (obwodu otwartego) w czasie, polaryzację próbki stałym potencjałem lub prądem, liniową zmianę potencjału lub prądu przy zdefiniowanym czasie narastania i wartości docelowej, skokową zmianę potencjału i możliwość zdefiniowania założonych sygnałów pobudzających, przy liniowym zakresie pracy elektrody badanej $\pm 10V$, maksymalnej wartości prądu elektrody 2A (w zakresie od 200 pA), przy szybkości zmiany napięcia programującego w zakresie od 0,001 do 1000 mV/s. Badania elektrochemiczne odporności na korozję metali i ich stopów wykonuje się z zastosowaniem normy PE-EN ISO 17475:2010 zgodnie z następującą metodologią [3]:

1) rejestrowanie potencjału obwodu otwartego (stacjonarnego) w warunkach bezprądowych w funkcji czasu, zwykle w ciągu 1 godziny (rys. 5);

2) uruchomienie programu ciągłej zmiany potencjału (lub skokowej) np. co 1 mV/s od wartości E_{start} równej potencjałowi stacjonarnemu pomniejszonemu o 0,1 V, w kierunku anodowym lub katodowym, przy rejestracji zmiany prądu w funkcji potencjału, do osiągnięcia przez natężenie prądu lub potencjał zadanej wartości (zwykle do potencjału

krytycznego korozji wżerowej); następnie napięcie jest zmniejszane do wartości początkowej (rys. 6).

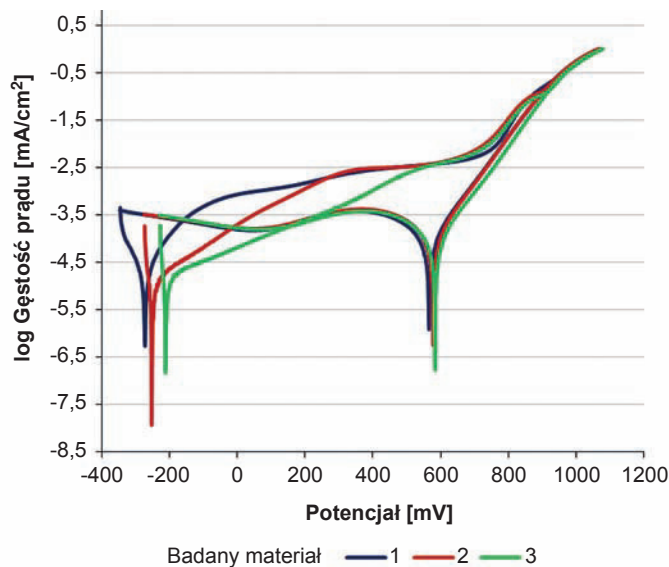
W kolejnym etapie analizy porównuje się wyniki obliczeń otrzymanych z metody ekstrapolacji Tafela (tabl. 2); na ich podstawie można stwierdzić, który spośród badanych materiałów (np. 1, 2 czy 3) w użytym środowisku charak-

teryzuje się większą rezystancją na powstanie zniszczeń korozyjnych. Podstawowymi wielkościami elektrochemicznymi stosowanymi do charakterystyki materiału są:

- potencjał obwodu otwartego (stacjonarny) – E_{ocp} [mV];
- opór polaryzacyjny – R_p [$k\Omega \cdot cm^2$];
- potencjał korozyjny – E_{kor} [mV];
- gęstość prądu korozyjnego – j_{kor} [$\mu A/cm^2$];
- potencjał przebicia – E_{pr} [mV];
- potencjał repasywacji – E_{rp} [mV];
- szybkość korozji – r [$g/m^2 \cdot rok$].

Przyspieszone badania korozyjne w komorze solnej

Wyżej wymienione badania potencjostatyczne nie są jednak tak powszechnie stosowane jak badania korozyjne z wykorzystaniem komór solnych zwłaszcza, że w przypadku gotowych wyrobów czy elementów mamy do czynienia z połączeniem kilku



Rys. 6. Krzywe polaryzacji anodowej w metodzie potencjodynamicznej stopów CoCr (badania własne)



Tablica 2. Podstawowe wyniki elektrochemiczne z testów odporności na korozję badanych materiałów (badania własne)

Próbka (badany materiał)	E_{ocp} [mV]	R_p [$k\Omega \cdot cm^2$]	E_{kor} [mV]	j_{kor} [$\mu A/cm^2$]	E_{pr} [mV]	E_{rp} [mV]	r [g/m ² ·rok]
1	-248	495	-264	0,55	916	935	1,81
2	-176	354	-261	0,01	916	904	0,05
3	-131	282	-218	0,01	925	919	0,05

materiałów, co dodatkowo komplikuje analizę odporności korozyjnej takiego układu. Komory korozyjne są stosowane do analizy odporności korozyjnej zarówno próbek materiałów pobieranych z dużych elementów, jak i całych elementów konstrukcyjnych, a nawet urządzeń takich jak silniki elektryczne, przekładnie czy inne złożone z wielu elementów układy mechatroniczne. Oczywiście wymiary komór są ograniczone, niemniej na rynku mamy obecnie do dyspozycji komory o pojemności od kilkudziesięciu litrów do kilkunastu metrów sześciennych, a w przypadku projektów specjalnych – jeszcze większych. Komory solne pozwalają na symulację agresywnych warunków środowiskowych, pozwalających określić odporność detalu (wyrobu czy materiału lub jego odpowiednio przygotowanej próbki) na korozję. Najbardziej rozpowszechnioną metodą przyspieszonych badań korozyjnych są badania w mgłach roztworów. Metody te są powszechnie stosowane od kilkudziesięciu lat w określaniu odporności korozyjnej metali oraz powłok ochronnych (metalowych, konwersyjnych, tlenkowych, lakierniczych). Powszechnie też są stosowane jako me-

tody porównawcze odporności korozyjnej materiałów na etapie produkcji, kontroli procesu przetwarzania lub akceptacji wyrobu do danego zastosowania. Ogólna zasada tej metody badawczej polega na umieszczeniu próbki w komorze o określonej objętości dostosowanej do wielkości analizowanego wyrobu czy jego próbki w ściśle kontrolowanych warunkach, w której rozpylana jest mgła solna (najczęściej 5% NaCl) w sposób ciągły lub okresowy. Warunki panujące wewnątrz komory takie jak temperatura, wilgotność, szybkość rozpylania mgły solnej, jej stężenia oraz pH, czy sposób natryskiwania są znormalizowane. Próbkę kontroluje się po upływie określonego czasu oddziaływania środowiska (np. po upływie 2, 6, 24, 48, 96, 168, 240, 480, 720 i 1000 godzin wg PN-EN ISO 9227). W trakcie kontroli określa się wygląd po badaniu korozyjnym, wygląd po usunięciu powierzchniowych produktów korozji – czy doszło do zapoczątkowania korozji (ilość, rozkład uszkodzeń korozyjnych, ich wielkość), czas do pojawienia się pierwszych oznak korozji, czy występuje ubytek masy materiału, i/lub zmiany własności mechanicznych. Warunki środowiskowe panu-

jące w komorze są trudne, co umożliwia wykrycie procesów korozji po krótkim okresie badawczym, w porównaniu do długotrwałych testów eksploatacyjnych (terenowych) w warunkach rzeczywistych. Jednym z podstawowych celów tego typu badań jest właśnie ocena w zdecydowanie krótszym czasie niż w warunkach rzeczywistych odporności korozyjnej materiału, powłoki czy gotowego wyrobu np. urządzenia. Kluczowa dla producenta jest wiedza o odporności korozyjnej wyrobu, bo związane to jest z możliwością udzielenia odpowiedniej gwarancji antykorozyjnej. W dzisiejszych czasach wiele wyrobów można spotkać z gwarancją pod względem odporności korozyjnej liczoną w dziesiątkach lat (jak np. w blachach dachowych, co wymagało od ich producentów uzyskania odpowiednich wyników m.in. z badań w komorze solnej, dających zapewnienie i pozwalających na tak wydłużone okresy bezproblemowej (tj. bez konserwacji) eksploatacji. Kluczowa w badaniach w komorze solnej jest mgła o odpowiednich parametrach. Odpowiadając na pytanie dlaczego musi to być mgła i skąd pomysł na taką postać czynnika korozyjnego można to

zobrazować wielkością kropli czynnika korozyjnego. Obserwując kroplę wody czy roztworu solanki na powierzchni detalu zauważymy, że ma ona tendencję do przyjmowania charakterystycznego kształtu, związanego z napięciem powierzchniowym, co często uniemożliwia dobre zwilżenie całej analizowanej powierzchni, nie mówiąc już o penetracji drobnych szczelin, mikropęknięć czy porów w materiale. Silne rozbicie cząsteczek solanki na drobne mikrokrople daje szansę na penetrację czynnika korozyjnego z pominięciem (mówiąc w dużym uproszczeniu) typowych procesów związanych z napięciem powierzchniowym we wszelkiego rodzaju wady powierzchniowe materiału, umożliwia zasysanie czynnika korozyjnego w układzie kapilarnym przez występujące pory czy pęknięcia w np. w powłoce pod jej powierzchnią itp.

Badania korozyjne w mgłach roztworów można ogólnie podzielić na 3 rodzaje.

1. Testy w mgle solnej – najbardziej popularne, gdzie solanka rozpylana jest w postaci mgły solnej przy pomocy dyszy ułożonej w centralnej części komory. Mgła solna wytwarzana jest przy użyciu sprężonego powietrza, które jest podgrzewane i nasyca wilgocią. Roztwór gromadzący się na dnie komory odprowadzany jest drenem na zewnątrz. Test mgły solnej może być wykonywany we wszystkich modelach komór – jest podstawową funkcjonalnością urządzeń. Opisane np. w PN-EN ISO 9227, ASTM B 117.

2. Testy z kondensacją wody. W tym przypadku dno komory badawczej zalewane jest wodą zdemineralizowaną, która jest podgrzewana i paruje kondensując na powierzchniach próbek. Opisane np. w PN-EN ISO 3231, ASTM D2247.

3. Cykliczne testy korozyjne. W tej metodzie próbki poddawane są cyklicznie kombinacji mgły solnej, wilgoci kondensacyjnej oraz suszenia powietrzem. Jednym z najpopularniejszych testów w tym przypadku jest test suchej korozji, polegający na naprzemiennym aplikowaniu mgły solnej i suszeniu powietrzem. W ostatnich latach odnotowuje się większe zapotrzebowanie na ten rodzaj testów korozyjnych. Testy cykliczne wymagają bardziej zaawansowanych sprzętowo urządzeń, przez co nie każde urządzenie ma możliwość wykonania tego typu badań. Opisane np. w UNI 9399, ASTM G85 A1/ A3.

Najpopularniejszą normą, według której wykonuje się badania w rozpylanej solance (testy w mgle solnej) jest norma europejska PN-EN 9227 i amerykańska ASTM B 117. Badania w komorze solnej w zależności od rodzaju wg PN-EN 9227 mogą być przeprowadzone w trzech różnych mgłach solnych:

- badania w obojętnej mgle solnej (NSS – ang. *Neutral Salt Spray*). Skład roztworu: NaCl 50±5g/l, pH roztworu: 6,5÷7,2, temperatura w komorze: 35±2°C;
- badania w kwaśnej mgle solnej (AASS – ang. *Acetic Acid Salt Spray*). Skład roztworu:

NaCl 50±5g/l, kwas octowy CH₃COOH ~ 1%, pH roztworu: 3,1÷3,3, temperatura w komorze: 35±2°C;

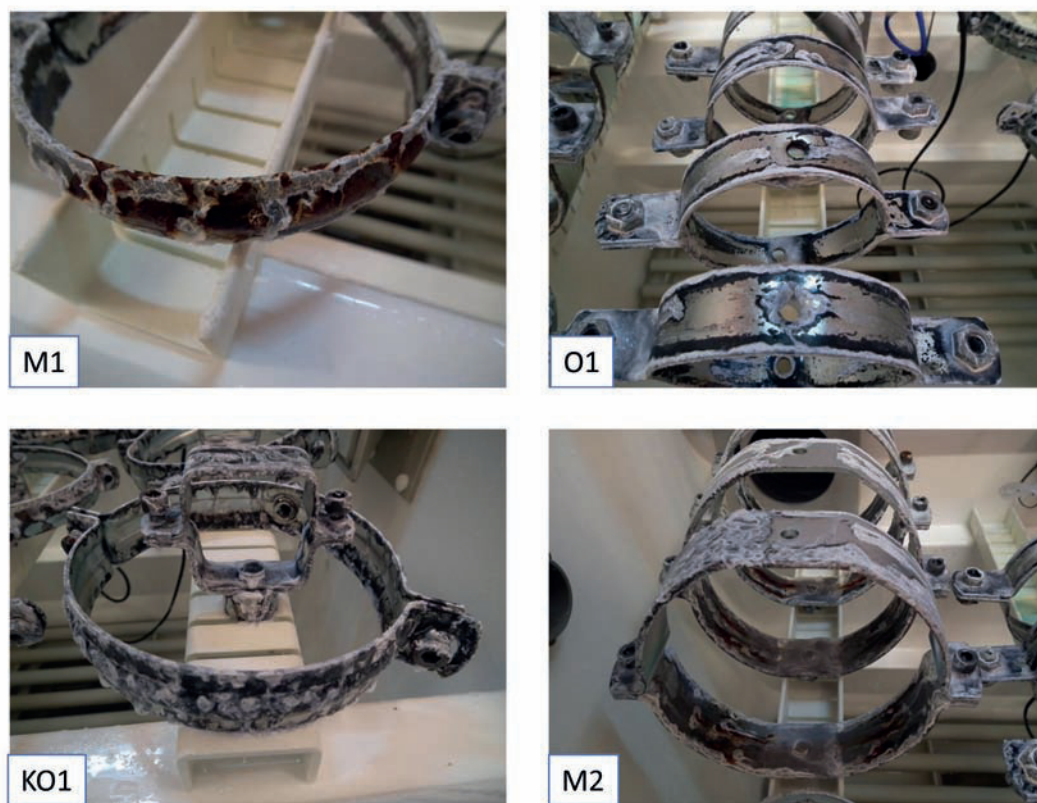
- badania w kwaśnej mgle solnej z dodatkiem jonów miedzi (CASS – ang. *Copper Accelerated Salt Spray*). Skład roztworu: NaCl 50±5g/l, CuCl₂·2H₂O, kwas octowy CH₃COOH ~ 1%, pH roztworu: 3,1÷3,3, temperatura w komorze: 50±2°C.

Badania w rozpylanej solance są szczególnie przydatne do wykrywania nieciągłości, takich jak pory i inne wady w powłokach metalowych, organicznych, anodowych i konwersyjnych. Badania w obojętnej mgle solnej (obojętne solanki) stosuje się do metali i ich stopów, powłok metalowych (anodowych, katodo-

wych), powłok konwersyjnych, powłok anodowych tlenkowych (powstałych w wyniku anodyzowania), powłok organicznych na materiałach metalowych. Badania w kwaśnej mgle solnej – metoda AASS (solanka z dodatkiem kwasu octowego) jest stosowana dla stopów aluminium, powłok tlenkowych na podłożu aluminiowym (anodyzowane aluminium) oraz powłok dekoracyjnych nikiel-chrom i miedź-nikiel-chrom. Podobnie stosuje się metodę badania w kwaśnej mgle solnej z dodatkiem jonów miedzi jako przyspieszacza (metoda CASS). Generalnie wszystkie metody badań w rozpylanej solance nadają się jako techniki sprawdzania porównawczego materiałów (z dodatkowymi powłokami ochronnymi

lub bez) czy zachowują one wymaganą ochronę korozyjną w warunkach rozpylania mgły solnej.

Przykładowe wyniki badań korozyjnych różnych elementów stalowych pokrywanych powłokami galwanicznymi w teście obojętnej mgły solnej (NSS) wg PN-EN ISO 9227 przedstawiono na rysunku 7 i w tabelicy 3. Do badań zastosowano cykliczną komorę klimatyczną CC450iP firmy Ascott, będącą na wyposażeniu Laboratorium Badania Materiałów w/w Instytutu. Celem prezentowanych badań było ustalenie czasu, po którym wystąpią zjawiska korozyjne związane z korozją powłoki galwanicznej (korozja biała) lub rdzenia stalowego (korozja czerwona). Przed rozpoczęciem badań nie dokonano



Rys. 7. Widok powierzchni próbek (ocynkowane obejmy stalowe z oznaczeniem M1, M2, KO1, O1) po 100h testu w atmosferze obojętnej mgły solnej (NSS), wg PN-EN ISO 9227



żadnej dodatkowej obróbki powierzchni dostarczonych elementów. Ocenę wyglądu elementów w toku badań korozyjnych wykonano po upływie: 24, 48, 72 i 100h testu (rys. 7, tabl. 3). Analiza stanu powierzchni badanych elementów na podstawie obserwacji po upływie 24h testu korozyjnego wykazała występowanie nacieków korozyjnych w formie czarnych smug. Produkty korozyjne o czarnej barwie nie są spowodowane korozją samego cynku (Zn), tj. powłoki cynkowej, lecz korozją zanieczyszczeń pochodzących z procesu galwanizacji. Pod pojęciem korozji białej rozumie się występowanie białych nacieków korozyjnych, będących produktami korozji warstwy cynku, złożonych głównie z tlenku i wodorotlenku cynku. Korozja czerwona jest związana z korozją stali pod powłoką cynkową, która objawia się charakterystycznym rdzawym naciekiem. Zastosowanie w przyspieszonych badaniach korozyjnych rozpylanej solanki pociąga za sobą dość istotne skutki. Badanie korozyjne w mgłę solnej służy do porównania między sobą materiałów (wyrobów) poddanych oddziaływaniu tego samego czynnika – mgły solnej i ma na celu określenie czasu jaki będzie potrzeby do zapoczątkowania korozji w takich warunkach. Sam test korozyjny jest przeprowadzany w temperaturze 35°C w środowisku 5% NaCl mgły solnej, a takie warunki nie często występują w realnych warunkach eksploatacyjnych. Podobnie oddziaływanie roz-

Tablica 3. Opis występowania zjawisk korozyjnych na powierzchni próbek (ocynkowane obejmują stalowe) w trakcie testu w obojętnej mgłę solnej (NSS), wg PN-EN ISO 9227

Oznaczenie elementu	Czas testu korozyjnego, oznaki korozji				Ranking odporności korozyjnej
	24h	48h	72h	100h	
O1	☼	○	○	●	1
KO1	☼	●	●	● (■ - tylko śruby)	2
M1	☼	●	●	● + ■	3
KO2	☼	○	●	● + ■	4
M2	☼	●	● + ■	● + ■	5

☼ - nacieki czarno białe, ○ - niewielkie ogniska korozji białej,
● - korozja biała, ■ - korozja czerwona.

tworu solanki symuluje tylko środowisko bogate w chlorki i procesy korozji wywołane ich oddziaływaniem. Dla przykładu stal ocynkowana ulega przyspieszonej korozji – w porównaniu do atmosfery bez zanieczyszczeń – w atmosferze bogatej w zanieczyszczenia od związków siarki, a reakcje korozyjne nie są takie same w atmosferze chlorków jak w atmosferze siarczków. Z tego względu nie należy się spodziewać zgodności wyników testów korozyjnych w rozpylanej mgłę solnej (metoda NSS) z trwałością materiału w atmosferze zawierającej związku siarki. Należy pamiętać, że w komorach solnych można także symulować korozyjne atmosfery siarczkowe z wykorzystaniem SO₂, lecz tego typu komory są zdecydowanie rzadziej spotykane i rzadziej wykorzystywane głównie ze względu na konieczność dodatkowego oprzyrządowania. Trwałość powłok galwanicznych w warunkach rzeczywistych zależy od możliwości ich okresowego wysychania po okresie zwilżenia, w czasie którego na powierzchni tworzy się warstwa tlenkowa

zapewniająca odporność korozyjną. Test nie uwzględnia również istotnego dla powłok organicznych oddziaływania promieniowania UV. W tym kontekście dobór odpowiedniej metody badawczej w testach przyspieszonych ma decydujące znaczenie w możliwej korelacji wyników badań w realną charakterystyka eksploatacji danego elementu. Należy jednak pamiętać, że możliwość ich bezpośredniego odniesienia do warunków realnych i predykcji realnego czasu pracy jest ograniczona. Częściej wyniki badań w rozpylanej solance stanowią metodę kontroli, sprawdzenia trwałości jako pewnego poziomu akceptacji przyjętej przez producenta na etapie produkcji, który na podstawie własnych długoletnich doświadczeń może spodziewać się określonej trwałości elementu w warunkach rzeczywistych. Realizując badania korozyjne w komorze solnej bardzo często można spotykać się z oczekiwaniem klienta, aby przełożyć wyniki testów na rzeczywisty czas pracy materiału, elementu czy wyrobu bez występowania

korozji. Niestety zagadnienie to nie jest takie proste jakby się mogło wydawać: ustalenie czasu rzeczywistej pracy materiału czy wyrobu bez pojawienia się zjawiska korozji wymaga dużego doświadczenia i często jest wiedzą kluczową danego producenta uzyskaną na bazie wieloletniego doświadczenia i realizacji wielu testów korozyjnych – nie tylko w komorach solnych. Komora solna na pewno daje natychmiast odpowiedź o porównawczej odporności korozyjnej analizowanych elementów czy materiałów, lecz zagadnienia trwałości i odporności korozyjnej w warunkach rzeczywistych nie są bezpośrednim wynikiem badań w nich realizowanych. Naturalnie występującym środowiskiem eksploatacji elementów, gdzie badania korozyjne w rozpylanej solance wykazują dużą korelację z wynikami testów terenowych są strefy przybrzeżne naturalnie spryskiwane przez wodę morską. Oprócz standaryzowanych metod, opracowanych przez jednostki normalizujące (EN, ISO, ASTM) istnieje wiele

norm branżowych opracowanych przez samych zainteresowanych, głównie klientów przemysłu motoryzacyjnego, którzy opracowali wiele cyklicznych testów korozyjnych w rozpylanej solance (FORD, CEVT, Volvo, VW, Renault, GMW, PSA, AUDI, BMW i wiele innych.). Wymagania przemysłu motoryzacyjnego wprowadziły różne modyfikacje do charakterystyki testu korozyjnego w atmosferze rozpylanej solanki, odnoście stężenia medium, temperatury, charakterystyki cykli zwilżania i suszenia, czasu trwania testu. W tym sektorze częściej stosowane są cykliczne testy korozyjne aniżeli jednostajne narażenie na oddziaływanie rozpylanej solanki (np. metoda NSS). Liczne modyfikacje wspomnianej metody badawczej umożliwiają producentom komponentów samochodowych dokładniejszą korelację wyników eksperymentalnych z realną trwałością elementów w trakcie użytkowania, gdzie dominują naprzemienne cykle zwilżania i suszenia.

Pomimo oczywistych niedoskonałości metody badań w rozpylanej solance jest to najpopularniejsza metoda weryfikacji trwałości elementów w warunkach narażenia korozyjnego. Test korozyjny w mgłę solnej jest badaniem kontrolnym, często stosowanym do kontroli jakości danego procesu technologicznego, na przykład dla elementów pokrywanych warstwami antykorozyjnymi. Testuje się elementy pokryte systemem malarskim (obróbka przygotowawcza powierzchni,

podkład, warstwa właściwa powłoki malarskiej), które standardowo wytrzymują np. 500h w teście korozyjnym (NSS) bez widocznych znaków korozji na powierzchni. Jeżeli partia materiału zaczyna korodować po 96h testu oznacza to błąd i konieczność jego usunięcia w technologii wytwarzania powłoki antykorozyjnej.

Badania przyspieszone w rozpylanej solance na dobre trafiły do kanonu badań kontrolnych i porównawczych w wielu gałęziach przemysłu, a mimo swoich wrodzonych niedoskonałości i ograniczeń stale stanowią cenną metodę badawczą. Pomimo dynamicznego rozwoju metod cyklicznych testów korozyjnych w sektorze samochodowym do tej pory żadna z opracowanych metod cyklicznych nie stała się dominująca jako zamiennik klasycznego jednostajnego oddziaływania rozpylanej solanki (metoda NSS). Znajomość zasady działania testów korozyjnych w rozpylanej solance pozwala zrozumieć ograniczenia tej metody i wykorzystać wyniki otrzymanych badań w rozsądny sposób.

Podsumowanie

Przedstawione w niniejszym artykule dwie podstawowe metody oceny odporności korozyjnej materiałów (a także gotowych wyrobów), tj. potencjostatyczna i w komorze solnej, pokazują jak wiele możliwych odmian testów oferuje każda z nich i jak obszerny zasób informacji jest niezbędny, aby dobrze je wykonać, a tym bardziej zin-

terpretować. Aktualnie wiele zakładów przemysłowych stosuje obie lub jedną z w/w metod do kontroli jakości swoich wyrobów, głównie z powodu konieczności bieżącej kontroli jakości w swoim zakładzie, co jest utrudnione i dodatkowo kosztowne przy korzystaniu z zewnętrznych jednostek oferujących usługi w tym zakresie. Dzisiaj dobrej jakości komory można nabyć w cenie od kilkudziesięciu do nawet kilkuset tysięcy złotych, a oferta na rynku jest dość bogata. Należy jednak pamiętać, że sama komora to nie wszystko – często potrzebne jest dodatkowe wyposażenie czy oprzyrządowanie, którego wartość może stanowić nawet ponad 50% ceny samej komory. Wybór komory cyklicznej daje w przyszłości większe pole zastosowań, ale związane jest też z wyższym kosztem zakupu. W przypadku pojedynczych kontrolnych testów lub testów związanych np. z procesem reklamacyjnym zdecydowanie częściej korzysta się z usług specjalistycznych laboratoriów, mających doświadczenie w tego typu badaniach. Warto podkreślić – co opisano prezentując obie metody badawcze – że żadna z tych metod nie jest metodą uniwersalną czy optymalną dla szerokiego spektrum zastosowań; każda ma swoje wady i zalety jeżeli chodzi o wykorzystanie uzyskanych w nich wyników badań. Warto polecić konsultacje w zakresie badań korozyjnych w przypadku jednostek nie mających doświadczenia w tego typu metodach badawczych we współpracy z jednostkami

naukowym zlokalizowanymi na Uczelniach i w Instytutach Badawczo-Wdrożeniowych, które chętnie służą pomocą w tym zakresie i to przy stosunkowo niskich kosztach. Koszty badań korozyjnych wymienionymi wyżej metodami są zdecydowanie niższe niż jakiegokolwiek problemy wynikające z procesu reklamacyjnego w przypadku problemów z korozją materiału czy wyrobu oferowanego przez danego producenta.

Literatura

- [1] Dobrzański L.A., Metaloznawstwo z podstawami nauki o materiałach, Wydawnictwa Naukowo Techniczne, Warszawa 1999.
- [2] Roberge P.R., Corrosion Engineering: Principles and Practice, McGraw-Hill, 2008.
- [3] Norma PN-EN ISO 17475: Korozja metali i stopów – Elektrochemiczne metody badań – Wytyczne wykonania potencjostatycznych i potencjodynamicznych pomiarów polaryzacyjnych.
- [4] Surowska B., Wybrane zagadnienia z korozji i ochrony przed korozją, Wydawnictwa Uczelniane Politechnika Lubelska, Lublin 2002.
- [5] Norma: PN-EN ISO 9227: Badania korozyjne w sztucznych atmosferach, Badania w rozpylanej solance.
- [6] GalvInfoNote 3.4, The Salt Spray Test, GalvInfo Center, Rev 1.1 Jan 2011, www.galvinfo.com

* *Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska w Gliwicach*