



**OCHRONA KATODOWA ZBROJENIA BETONU
ZA POMOCĄ WARSTWOWEJ ANODY CYNKOWEJ**

**CATHODIC PROTECTION OF STEEL REINFORCEMENT
WITH THE USE OF LAYER ZINC ANODE**

Władysław Bohdanowicz
Politechnika Gdańska, Wydział Chemiczny
Katedra Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych

Słowa kluczowe: żelbet, ochrona katodowa, warstwowa anoda cynkowa
Keywords: reinforced concrete, cathodic protection, layer zinc anode

Streszczenie

Dla żelbetu skażonego chlorkami skuteczną metodą ochrony przed korozją stalowego zbrojenia jest ochrona katodowa.

Na stosowanych w instalacjach ochrony katodowej anodach nieroztworzalnych (tytan platynowany lub pokryty przewodzącymi tlenkami) zachodzą reakcje wydzielania tlenu i chloru oraz – niekorzystne dla betonu – zakwaszanie środowiska przyanodowego.

W pracy przedstawiono wyniki wstępnych badań ochrony katodowej zbrojenia z wykorzystaniem rozpuszczalnej warstewkowej anody cynkowej.

Summary

Cathodic protection is an efficient method of steel reinforcement corrosion protection in chlorides contaminated reinforced concrete.

In cathodic protection systems insoluble anodes are used (platinized titanium or titanium covered with conducting oxides). On these anodes processes of oxygen and chlorine evolution occur and also, unfavourable to concrete processes of medium acidification near the anodes.

In the paper the results of preliminary examination of reinforcement cathodic protection with the use of soluble, layer zinc anode are presented.

Wprowadzenie

Konstrukcje żelbetowe stanowią bardzo znaczącą pozycję wśród budowli hydrotechnicznych, przemysłowych, drogowych i komunalnych. Ze względu na swą wysoką wytrzymałość mechaniczną i odporność korozyjną podczas długoletniej eksploatacji – żelbet jest dobrym tworzywem do budowy tam, pirsów, kanałów, falochronów, mostów, wiaduktów, rozjazdów, estakad, obiektów przemysłowych oraz budynków mieszkalnych.

Skażenie środowiska naturalnego sprawiło, że odporność korozyjna żelbetu w ostatnich latach uległa znacznemu obniżeniu; w literaturze fachowej coraz częściej pojawiają się doniesienia o przedwczesnych awariach korozyjnych obiektów przeznaczonych do co najmniej kilkudziesięcioletniej eksploatacji [1]. Największe nasilenie awarii i katastrofalnych zniszczeń konstrukcji żelbetowych obserwuje się w krajach wysoko rozwiniętych; straty z tego tytułu w odniesieniu do budowli drogowych w Stanach Zjednoczonych przekraczają 125 mld USD rocznie [2]. W Polsce brakuje dokładnych danych dotyczących wysokości strat korozyjnych spowodowanych korozją żelbetu, ale z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że sięgają one kilku procent PKB.

Czynnikiem najbardziej agresywnym korozyjnie w stosunku do żelbetu są chlorki [3]. Ich destrukcyjne działanie jest wspomagane czynnikami mechanicznymi, karbonizacją oraz kwaśnymi deszczami. Połączone działania wymienionych czynników prowadzą do korozji betonu i stalowego zbrojenia, czego rezultatem jest uszkodzenie (zniszczenie) konstrukcji.

W celu zapobieżenia katastrofalnym zniszczeniom konstrukcji żelbetowych niezbędne jest zastosowanie odpowiednich zabezpieczeń przeciwkorozyjnych. W praktyce stosuje się zabezpieczanie prętów zbrojeniowych, modyfikację i uszczelnianie betonu oraz ochronę katodową zbrojenia [4-10]. W przodujących gospodarczo krajach coraz szersze zastosowanie znajduje ochrona katodowa, przykładowo ochroną katodową objętych jest w Stanach Zjednoczonych ponad 350 tys. m² konstrukcji żelbetowych, zaś we Włoszech i Wielkiej Brytanii – 100 tys. m². W naszym kraju ta nowoczesna metoda zabezpieczenia przed korozją konstrukcji żelbetowych jeszcze nie doczekała się realizacji.

Anody w ochronie katodowej zbrojenia betonu

Realizacja ochrony katodowej wymaga doprowadzenia prądu ochronnego do zainstalowanych (najczęściej pod powierzchnią konstrukcji) specjalnych anod, na których będzie przebiegała reakcja utleniania.

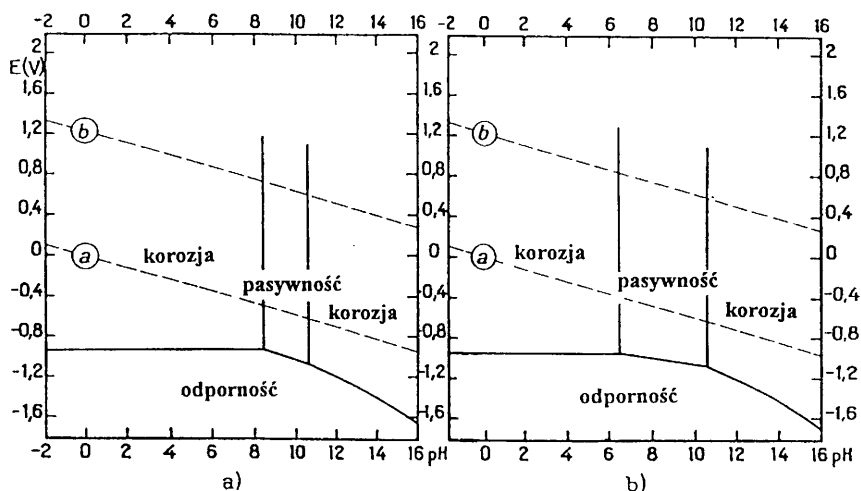
W ochronie katodowej zbrojenia betonu mogą być stosowane następujące materiały anodowe:

- druty platynowe oraz z tytanu lub niobu pokrytego warstwą platyny ($2 \div 3 \mu\text{m}$), umieszczane w wyciętych w betonie rowkach wypełnionych przewodzącą masą węglową lub bitumiczną,
- anody linowe, wykonane z przewodzącego polimeru osadzonego na żyłce miedzianej, rozpinane w formie wijącej się wstęgi na powierzchni konstrukcji i pokrywane warstwą $2 \div 3$ cm betonu,
- anody płytkowe z niestechiometrycznych tlenków tytanu (Ebonex Technologies Inc. – USA), przykręcane na zewnętrznej powierzchni konstrukcji w rozstawie 15×15 cm,

- anody siatkowe, wykonane z siatki tytanowej pokrytej przewodzącą warstwą tlenkową: RuO_2 (Eltech's Elgard System – USA), IrO_2 (Marston Palmer Tec Mesh – UK) lub Co_3O_4 (Oronzio de Nora – Szwajcaria), rozpinane na powierzchni konstrukcji i pokrywane warstwą natryskiwanego betonu lub instalowane wewnątrz konstrukcji w trakcie jej wykonywania.

Najnowszą propozycją w zakresie anod do ochrony katodowej zbrojenia betonu są warstwowe anody cynkowe [11]. Ze względu na wysoki elektroujemny potencjał cynk i jego stopy od szeregu lat stosuje się do wytwarzania powłok ochronnych na stali oraz jako materiał na anody galwaniczne.

Cynk, ze względu na duże nad napięcie wydzielania wodoru oraz zdolność do pasywowania, charakteryzuje się na ogół małą szybkością korozji. W przypadku pokrycia się powierzchni cynku warstwą $\varepsilon\text{-Zn(OH)}_2$ – możliwa jest pasywacja przy $\text{pH } 9 \div 11$, natomiast przy obecności w wodzie dwutlenku węgla (tworzenie się trudno rozpuszczalnych osadów ZnCO_3 lub $\text{ZnCO}_3 \cdot 3\text{Zn(OH)}_2$) pasywacja jest możliwa do $\text{pH } 6 \div 7$. Obszary termodynamicznej trwałości cynku ilustruje Rys. 1 [12].

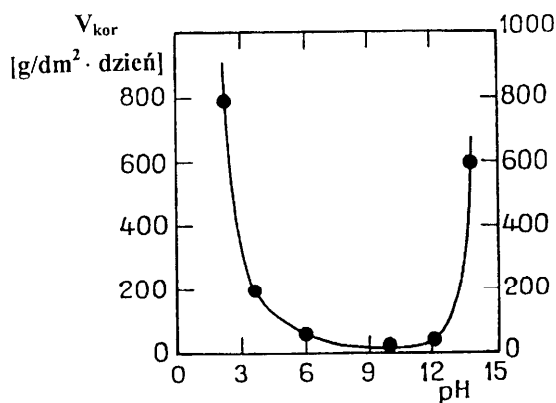


Rys. 1. Teoretyczne warunki korozji, odporności i pasywacji cynku w temp. 25°C:
a – przy braku CO_2 , b – w obecności $1 \text{ mol/dm}^3 \text{ CO}_2$

Tworzenie się na powierzchni cynku warstewek ochronnych sprawia, że w środowiskach wodnych o pH w granicach od 6 do 12 jednostek szybkość korozji cynku jest mała (Rys. 2).

W środowisku wilgotnego betonu ulegającego naturalnemu procesowi karbonizacji są spełnione warunki zapewniające wysoką odporność korozyjną cynku. Z tego względu bardzo dobrym sposobem zabezpieczenia stalowych prętów zbrojeniowych jest ich cynkowanie.

W niniejszej pracy przedstawiono wyniki badań zastosowania jako anody w ochronie katodowej zbrojenia naniesionej natryskowo na beton powłoki cynkowej.



Rys. 2. Zależność szybkości korozji cynku od pH środowiska

Warunki badań

Badania prowadzono na wzorcach betonowych ϕ 300 x 300 mm wykonanych z betonu o w/c = 0,6, z centralnie umieszczonym prętem zbrojeniowym ϕ 6 mm o powierzchni roboczej 50 cm². Poszczególne partie wzorców do badań wykonano z dodatkiem odpowiednio: 0,1, 0,5 i 1,0 % NaCl (w stosunku do wagi cementu). Po opiaskowaniu i odpyleniu wzorców ich powierzchnię pokryto warstewką cynku (metodą metalizacji płomieniowej) o średniej grubości 100 μ m.

Wzorce żelbetowe do badań wykonane zostały w Katedrze Materiałów Budowlanych Politechniki Gdańskiej i ocynkowane przez TERMOKOR Sp. z o.o. Oddział Gdańsk.

Pomiary przeprowadzono przy całkowitym zanurzeniu wzorców w wodnym roztworze NaCl (o stężeniu odpowiednim do jego zawartości w betonie) wymienianym raz w tygodniu, w temperaturze 20 ± 2 °C. Stosowano gęstość prądu ochronnego równą 10 oraz 20 mA/m² ($I = 50$ oraz 100 μ A), co odpowiadało anodowej gęstości prądu odpowiednio około 1,7 i 3,5 mA/m². Jako źródło prądu polaryzującego stosowano zasilacz stabilizowany typu 963-4M, natomiast do pomiarów potencjałowych wykorzystano multimetr Testmate Model 335 (o rezystancji wewnętrznej 10 M Ω) i nasyconą elektrodę kalomelową (NEK) ze specjalnym kłuczem elektrolitycznym.

W trakcie pomiarów kontrolowano napięcie źródła prądu polaryzującego, potencjał zbrojenia oraz (wizualnie) stan anody cynkowej.

Wyniki badań

Uzyskane rezultaty (wynik średni dla trzech próbek) laboratoryjnych badań ochrony katodowej stalowego zbrojenia wzorców żelbetowych z wykorzystaniem warstwowych anod cynkowych dla różnych stężeń roztworu NaCl i gęstości prądu ochronnego przedstawiono w Tabelicy 1.

Tabela 1. Wyniki badań ochrony katodowej zbrojenia betonu z wykorzystaniem anody cynkowej; $j_{\text{ochr}} = 10$ i 20 mA/m^2

Czas, dni	Potencjał zbrojenia, mV wzgl. NEK w środowisku:					
	0.1 % NaCl		0.5 % NaCl		1.0 % NaCl	
	10 mA/m ²	20 mA/m ²	10 mA/m ²	20 mA/m ²	10 mA/m ²	20 mA/m ²
0, dla I = 0	-155	-105	-285	-300	-320	-350
1	-490	-550	-620	-710	-655	-700
2	-600	-665	-675	-730	-695	-745
3	-660	-685	-700	-740	-715	-790
4	-685	-700	-715	-765	-735	-870
5	-695	-710	-740	-780	-765	-970
7	-720	-745	-770	-790	-780	-1000
14	-760	-790	-800	-830	-820	-995
21	-795	-820	-830	-870	-865	-990
28	-815	-845	-850	-900	-930	-940
35	-830	-870	-850	-925	-940	-960
42	-850	-890	-860	-940	-955	-950
49	-855	-905	-865	-990	-960	-990
56	-865	-920	-870	-990	-975	-1030
105	-880	-960	-905	-1010	-990	-1035
158	-895	-990	-955	-1025	-1000	-1045
200	-920	-1005	-970	-1030	-1010	-1050

Ogłędziny wizualne po około 7. miesięcznej ekspozycji wykazały bardzo dobry stan powłokowej anody cynkowej na wszystkich badanych wzorcach. Od zewnątrz warstwa cynku uległa pasywacji w wyniku powstania dobrze przylegającego osadu $\text{Zn}(\text{OH})_2$, co spowodowało lekkie zmatowienie powłoki. Nieznaczne roztrawianie wewnętrznej części powłoki cynkowej wskutek przepływu prądu anodowego nie spowodowało odwarstwiania lub pęcherzenia powłoki.

Pomiary potencjałowe wykazały dużą skuteczność ochrony. Po wstępnym okresie polaryzacji katodowej, szczególnie prądem o gęstości 20 mA/m^2 , konieczne jest obniżenie gęstości prądu do wartości nie przekraczającej zalecanej roboczej, tzn. $2 \div 8 \text{ mA/m}^2$. W badanym zakresie stężeń roztworu chlorku sodu wszystkie badane wzorce zachowywały się podobnie.

Podsumowanie

Nanoszony metodą natrysku płomieniowego do grubości $200 \div 300 \mu\text{m}$ cynk tworzy porowatą, bardzo dobrze zakotwioną w porach betonu warstwę o estetycznym wyglądzie. Warstwę tę można wykorzystać nie tylko jako zabezpieczenie powłokowe, ale również jako anodę w ochronie katodowej.

Zastosowanie do ochrony katodowej stalowego zbrojenia betonu roztrawialnych warstewkowych anod cynkowych jest nowością. Tworzące się w wyniku reakcji anodowego roztrawiania wewnętrznej części warstwy cynku trudno rozpuszczalne tlenki i wodorotlenki cynku powodują częściowe uszczelnienie betonu oraz ograniczenie dyfuzji dwutlenku węgla.

Przeprowadzone badania wykazały, że przy zastosowanych gęstościach prądu ochronnego (10 i 20 mA/m²) w rozcieńczonych roztworach chlorku sodu osiągnięto całkowitą ochronę katodową prętów zbrojeniowych, przy czym nie stwierdzono widocznych oznak destrukcji powłoki cynkowej. Kilkukrotne zmniejszenie roboczej gęstości prądu i zwiększenie grubości powłoki cynkowej wydatnie zwiększy efektywny czas pracy anody warstewkowej.

Zastosowanie w ochronie katodowej zbrojenia betonu anody rozpuszczalnej eliminuje problemy związane z zakwaszaniem przestrzeni przyanodowej i lokalną kwasową korozją betonu (co ma miejsce w przypadku stosowania anod nierozpuszczalnych). Środowisko betonu stwarza bardzo korzystne ze względu na trwałość cynku warunki (pH = 10 ÷ 12,5, minimalna szybkość korozji).

Praca została zrealizowana w ramach badań własnych – Umowa Nr 012 846/T105

Literatura

1. A. Pourbaix, S. Cargo: Management of corrosion control of reinforced concrete in the Channel Tunnel, Proc. 12th International Corrosion Congress, Vol.5A, pp. 3314-3331, Houston, September (1993).
2. D. Miller: Economic impact of corrosion of steel in concrete, Proc. 3rd Biennial Corrosion Seminar, The Atlanta Section of NACE, Atlanta, May (1986).
3. J. Bennett: Corrosion of reinforcing steel in concrete and its prevention by cathodic protection, Anti-Corrosion, **33** (11), 12-17, (1986).
4. B.S. Wyatt, D.J. Irvine: Cathodic protection of reinforced concrete, Proc. U.K. Corrosion'86 - Cathodic Protection - Corrosion Science - Materials Selections, pp. 17-38, Birmingham, November (1986).
5. R. Juchniewicz, W. Bohdanowicz, J. Walaszkowski, W. Sokólski, J. Rozwadowski: Ochrona katodowa zbrojenia betonu, Ochrona przed Korozją, **32** (9), 197-202, (1989).
6. B.S. Wyatt: Cathodic protection of steel in concrete, Corrosion Science, **35** (5-8), 1601-1615, (1993).
7. K. Takewaka: Cathodic protection for reinforced-concrete and prestressed-concrete structures, Corrosion Science, **35** (5-8), 1617-1626 (1993).
8. W. Bohdanowicz, W. Sokólski, J. Walaszkowski: Kryteria potencjałowe w ocenie stanu korozyjnego zbrojenia betonu, Materiały IV Krajowej Konferencji Korozyjnej "Korozja'93", s. 585-588, Warszawa, czerwiec (1993).
9. W. Bohdanowicz, W. Sokólski: Ochrona elektrochemiczna żelbetowych zbiorników oczyszczalni ścieków, Prace Konferencji N-T „Eksploatacja i ochrona przed korozją wodnych instalacji komunalnych i przemysłowych”, Szklarska Poręba, listopad (1993).
10. W. Bohdanowicz: Ochrona katodowa zbrojenia betonu, Materiały X Konferencji N-T Kontra '96 „Trwałość budowli i ochrona przed korozją”, ss. 7-21, Zakopane, maj (1998).
11. R. Brousseau, M. Arnott: Laboratory performance of zinc anodes for impressed current cathodic protection of reinforcing concrete, Corrosion (NACE) **51** (8), (1995).
12. M. Pourbaix: Atlas of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions, Pergamon Press, Oxford – London (1966).