



UKŁADY ANODOWE W OCHRONIE KATODOWEJ ZAKOPANYCH KONSTRUKCJI STALOWYCH

ANODIC SYSTEMS IN CATHODIC PROTECTION OF BURIED STEEL STRUCTURES

Jerzy Walaszkowski

Politechnika Gdańska
Katedra Technologii Zabezpieczeń Przeciwkorozyjnych

Słowa kluczowe: ochrona katodowa, materiały anodowe, zasypki węglowe, układy anoda/zasypka

Keywords: cathodic protection, anodic materials, carbon backfills, anode/backfill systems

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych ilustrujących wpływ właściwości elektrochemicznych materiałów anodowych na pracę układów anoda/zasypka. Wykazano, że rozkład prądu wypływającego z elementów układu zależy od rodzaju zastosowanej anody, rezystywności środowiska elektrolitycznego i właściwości fizykochemicznych użytej zasypki. Przy prawidłowym doborze elementów układu, anoda spełnia przede wszystkim rolę przewodnika elektronowego, zaś procesy elektrodowe ulegają przemieszczeniu na zewnętrzną powierzchnię zasypki. Uzyskanie w miarę pełnej wiedzy o cechach elektrochemicznych i użytkowych poszczególnych elementów składowych układu oraz jej praktyczne wykorzystanie stanowi podstawę zwiększenia trwałości i efektywności układów anodowych w terenowych instalacjach ochrony katodowej.

Abstract

Results of the laboratory investigations showing the influence of electrochemical anodic materials properties on the work of anode/backfill systems have been presented. A distribution of current flowing out from the individual system elements depends on the kind of anode used, resistivity of electrolytic environment and physical and chemical properties of used backfill what has been demonstrated. Having the correct system's elements the anode works as an electronic conductor whereas the electrode processes are transferred onto the outer surface of the backfill. Having the full knowledge of electrochemical parameters and properties of the each system component and its practical use is the fundamental in improving durability and effectiveness of anodic systems in CP field installations.

Wprowadzenie

W ochronie katodowej z zewnętrznym źródłem prądu układy anodowe (anody w przewodzących zasypkach) odgrywają znaczącą rolę. Mogą one mieć decydujący wpływ na długoterminową bezawaryjną pracę całego systemu ochronnego. Z tego względu w układach wykorzystuje się anody trudno roztwarzalne. W coraz szerszym zakresie stosowane są nieroztwarzalne anody na osnowie tytanu. W przypadku zasypek anodowych zalecane jest stosowanie materiałów węglowych o określonych właściwościach fizycznych [1-3].

Warto zwrócić uwagę na fakt, że w innych technologiach elektrochemii technicznej, np. produkcji chloru, elektrody stanowią czynne elementy obwodu elektrycznego, od których zależy jakość otrzymanych produktów i efektywność danej technologii; z tej przyczyny materiały elektrodowe są starannie dobierane i stale doskonalone [4-6]. Natomiast w ochronie katodowej rola anody została ograniczona do doprowadzenia prądu polaryzującego do środowiska, a następnie do katodowo chronionej powierzchni stykającej się z tym środowiskiem. Przy doborze anody zwykle zwraca się uwagę na jej obciążalność prądową i zużycie w wyniku przepływu jednostkowego ładunku elektrycznego, rzadziej - na małą polaryzację [1-3].

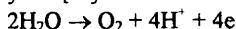
Celem pracy jest przedstawienie wybranych rezultatów pomiarów laboratoryjnych ilustrujących wpływ właściwości elektrochemicznych materiałów anodowych na pracę układów anoda/zasypka i na tym tle - zwrócenie uwagi na możliwość zwiększenia trwałości i efektywności układów anodowych w terenowych instalacjach ochrony katodowej poprzez prawidłowy dobór anod i zasypek węglowych.

Materiały anodowe

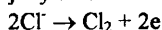
Podczas pracy anod na ich powierzchni zachodzą określone procesy elektrodowe. W przypadku anod trudno roztwarzalnych następuje częściowe utlenianie materiału:



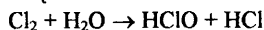
Zasadniczymi procesami elektrodowymi zachodzącymi na powierzchni anod trudno roztwarzalnych oraz nieroztwarzalnych są wydzielanie tlenu:



i chloru w środowiskach zawierających jony chlorkowe:



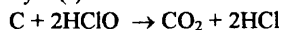
Wydzielający się chlor reaguje z wodą:



W przypadku zastosowania trudno roztwarzalnych anod grafitowych i zasypek węglowych zachodzi proces spalania węgla:



W nieruchomych środowiskach zawierających jony chlorkowe może zachodzić reakcja węgla z gromadzącym się kwasem chlorowym (I):



Powyższe proste reakcje przytaczane są w licznych źródłach literaturowych. W tym miejscu podano je dla podkreślenia trudnych warunków pracy anod. W każdym przypadku zachodzące procesy elektrodowe powodują zakwaszenie środowiska przyanodowego. Stąd wymagana jest m.in. odporność materiałów anodowych na oddziaływanie utleniających, zakwaszonych środowisk korozyjnych.

Ogólnie, w instalacjach ochrony katodowej zakopanych konstrukcji metalowych stosuje się przede wszystkim anody:

- trudno roztwarzalne, m.in. grafitowe, z przewodzących kompozytów i żeliwa wysokokrzemowego z dodatkiem chromu, oraz

- nieroztwieralne na osnowie metali chemicznie odpornych, takich jak tytan lub niob (tytan platynowany, tytan pokryty warstewką aktywnych tlenków metali grupy platynowców).

W krajowych instalacjach w początkowym okresie wdrażania ochrony katodowej były stosowane anody grafitowe. Od połowy lat 60-tych następowało powolne ich wypieranie przez anody z żeliwa wysokokrzemowego zawierającego chrom. Główną przyczyną była mniejsza awaryjność anod żeliwnych. Anody grafitowe ulegały częstym uszkodzeniom, zwłaszcza w miejscach doprowadzenia przewodu elektrycznego (tzw. głowica anody).

Od ponad dziesięciu lat w instalacjach ochrony katodowej podziemnych obiektów w rejonie zakładów przemysłowych z rozbudowaną infrastrukturą wykorzystywane są półgłębokie lub głębokie układy z anodami na osnowie tytanu [7-9].

W połowie lat 90-tych zastosowano nowe rozwiązanie połączenia przewodu elektrycznego w anodach grafitowych. Obecnie produkowane elektrody grafitowe nieimpregnowane oraz impregnowane żywicą fenolowo-formaldehydową rozszerzają asortyment krajowych trudno roztwarzalnych anod, stanowiąc konkurencyjny materiał dla żeliwa wysokokrzemowego [10]. W ostatnich latach podejmowane są próby zastosowania polimerowych anod kablowych [11]. W tabeli 1 zestawiono właściwości użytkowe najważniejszych materiałów anodowych stosowanych w ochronie katodowej konstrukcji podziemnych.

Tabela 1. Robocza obciążalność prądowa i jednostkowe zużycie anod eksploatowanych w zasypkach węglowych

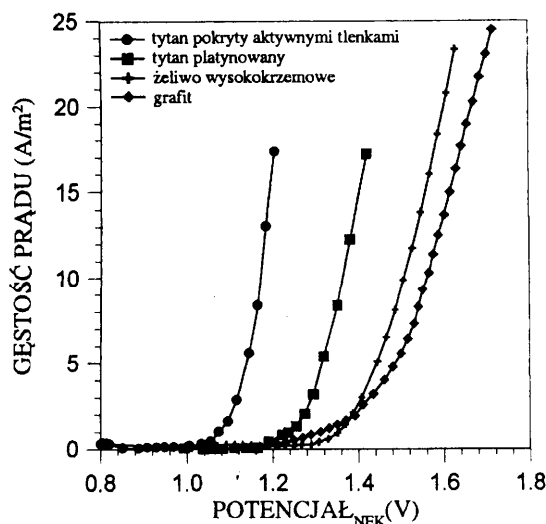
Materiał anodowy	Obciążalność prądowa, A/m²	Zużycie na A-rok ^{*)}
Grafit (Gr)	10	50-300 g
Żeliwo wysokokrzemowe z dodatkiem chromu (FeSi)	10	200-500 g
Tytan platynowany (Ti/Pt)	100	poniżej 5 mg
Tytan z warstewką aktywnych tlenków (Ti/AkT)	100	poniżej 5 mg
Przewodzący kompozyt	1,5	ok. 300 g

^{*)} Uzależnione od zasypki węglowej

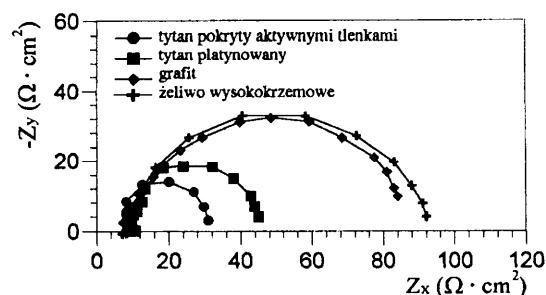
Na rys. 1 przedstawiono anodowe krzywe polaryzacyjne różnych materiałów anodowych otrzymane w roztworze wodnym zawierającym jony chlorkowe; rezystywność środowiska wynosiła ok. 2 Ω m. Wydzielanie produktów gazowych na powierzchni anod następuje po przekroczeniu odpowiedniej wartości potencjału, zależnej od rodzaju anody. Przykładowo dla tytanu pokrytego aktywną warstewką tlenkową potencjał wydzielania wynosi ok. 1,12V wzgl. NEK, zaś dla grafitu - ok. 1,45 V. Niska wartość potencjału wydzielania produktów gazowych w pierwszym przypadku jest efektem elektrokatalitycznego oddziaływania dwutlenku rutenu wchodzącego w skład aktywnej warstewki tlenkowej.

Na rys. 2 porównano widma impedancyjne wybranych polaryzowanych materiałów anodowych. Cięciwa półokręgu, pokrywająca się z osią rzeczywistą, wyznacza rezystancję procesu anodowego. Określa ona szybkość reakcji procesu anodowego; im niższa jest wartość tej rezystancji, tym wyższa jest szybkość procesu anodowego. Z porównania widm poszczególnych elektrod wynika, że najniższą rezystancją procesu anodowego wydzielania produktów gazowych charakteryzuje się tytan pokryty aktywną warstewką tlenkową.

Pomiary potencjodynamiczne i impedancyjne mogą być źródłem istotnych informacji o elektrochemicznych właściwościach materiałów anodowych i ułatwić prawidłowy ich dobór dla różnych warunków prądowych i środowiskowych.



Rys. 1. Potencjodynamiczne krzywe polaryzacyjne materiałów anodowych; $\rho_{\text{rod}} = 2 \Omega m$



Rys. 2. Widma impedancyjne materiałów anodowych polaryzowanych prądem o gęstości $10 A/m^2$; $\rho_{\text{rod}} = 2 \Omega m$

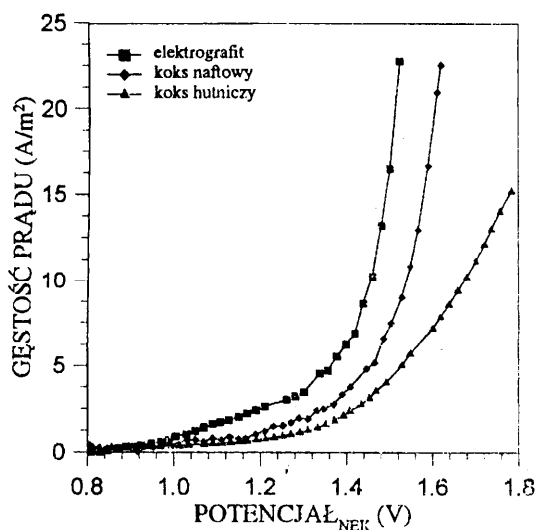
Zasyпки anodowe

Zasyпки (wypełnienia) bezpośrednio otaczające anody eksploatowane w gruntach oparte są wyłącznie na rozdrobnionych materiałach węglowych. Zadaniem zasyпки jest przede wszystkim obniżenie rezystancji rozptyłu prądu z anody do gruntu, zwiększenie żywotności anody i stałe odprowadzanie gazowych produktów reakcji anodowych.

W praktyce wykorzystuje się różne materiały węglowe, m.in. koksy hutnicze, kalcynowane koksy naftowe, rozdrobniony elektrografit oraz wióry węglowe (pochodzące z produkcji elektrod węglowych).

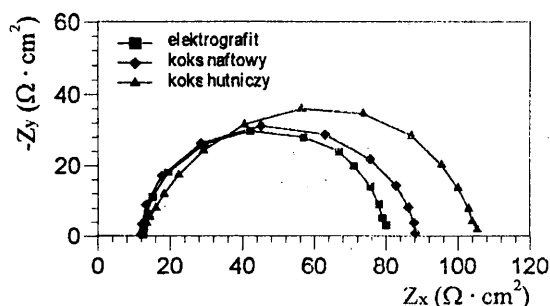
Dobre materiały powinny wykazywać odpowiednie cechy fizyczne i elektryczne, w tym wysoką zawartość węgla i niską rezystywność. Przy odpowiedniej ziarnistości i dobrym zagęszczeniu zasyпки można uzyskać wysoki stopień elektronowego jej przewodzenia [1-3,12]. Przypadkowo dobierane w krajowej praktyce koksy hutnicze i pogazowe na ogół nie spełniają współczesnych wymagań stawianych zasyпkom anodowym.

Ważną rolę odgrywają elektrochemiczne właściwości zasypek. Na rys. 3 przytoczono anodowe krzywe polaryzacyjne różnych zasypek w środowisku wodnym o rezystywności $1,5 \Omega m$, w którym zasadniczym produktem gazowym po przekroczeniu potencjału wydzielania jest tlen. Najłatwiej polaryzuje się koks hutniczy, a najtrudniej - grafit. Jednocześnie grafit wykazuje najniższy potencjał wydzielania tlenu.



Rys. 3. Potencjodynamiczne krzywe polaryzacyjne zasypek węglowych; $\rho_{\text{środ}} = 1,5 \Omega\text{m}$

Na rys. 4 porównano widma impedancyjne polaryzowanych zasypek węglowych w tym samym środowisku elektrolitycznym. Najniższą rezystancją procesu anodowego charakteryzuje się grafit i kalcynowany koks naftowy. Z punktu widzenia praktyki ochrony katodowej wskazana jest mała polaryzacja anodowa i podwyższona aktywność elektrokatalityczna materiału zasypki.



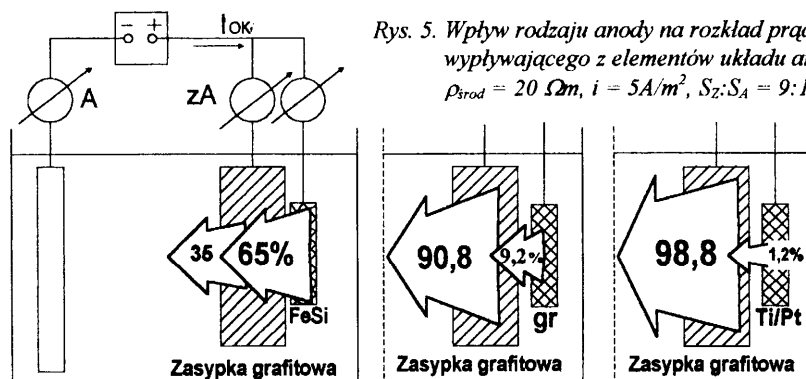
Rys. 4. Widma impedancyjne zasypek węglowych polaryzowanych prądem o gęstości 10 A/m^2 ; $\rho_{\text{środ}} = 1,5 \Omega\text{m}$

Teoretyczne zużycie materiału węglowego wynosi 1960 g/A-rok dla procesu spalania węgla z tworzeniem CO lub 980 g/A-rok w przypadku powstawania CO_2 . Uwzględniając zachodzenie obu reakcji, można przyjąć średnie teoretyczne zużycie ok. 1500 g/A-rok . Jednakże podczas pracy układu anodowego oprócz spalania węgla zachodzą procesy wydzielania tlenu i/lub chloru. Im większy będzie ich udział, tym większa będzie trwałość materiału węglowego. Z uwagi na niski potencjał wydzielania produktów gazowych i małą polaryzację anodową najmniejszym zużyciem charakteryzują się zasypki grafitowe.

Układy anoda/zasypka węglowa

W układach anoda/zasypka procesy elektrodowe zachodzą jednocześnie na powierzchni obu ich elementów składowych. Rozkład prądu wypływającego z elementów układu zależy od wielu czynników, m.in. rodzaju zastosowanej anody, rezystywności środowiska elektrolitycznego oraz właściwości użytej zasypki węglowej. Dla zilustrowania roli poszczególnych czynników przeprowadzono laboratoryjne pomiary rozkładu prądu z wykorzystaniem typowego obwodu ochrony katodowej, przy czym anoda i zasypka (w formie scalonej za pomocą żywicy fenolowo-formaldehydowej), oddalone od siebie o ok. 1 mm, były zwarte poprzez zeroamperomierze (zA), co umożliwiało odczytywanie rzeczywistej wartości prądu płynącego w zwartym układzie [13].

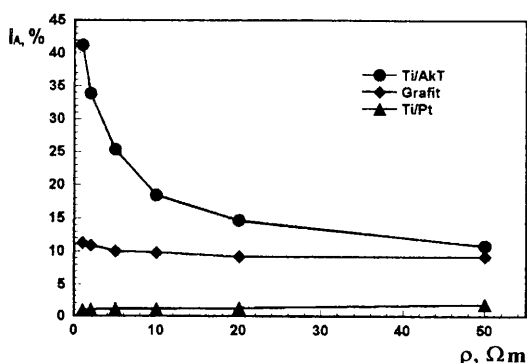
Na rys. 5 porównano rozkłady prądu wypływającego z układów anodowych zawierających różne anody i jednakowy materiał zasypki podczas galwanostaticznej polaryzacji prądem o gęstości 5 A/m^2 (w odniesieniu do powierzchni całego układu) w środowisku wodnym o rezystywności $20 \text{ }\Omega\text{m}$. Powierzchnia robocza anody stanowiła w każdym przypadku 10 % powierzchni geometrycznej całego układu.



Rys. 5. Wpływ rodzaju anody na rozkład prądu wypływającego z elementów układu anodowego;
 $\rho_{\text{środ}} = 20 \text{ }\Omega\text{m}$, $i = 5 \text{ A/m}^2$, $S_Z:S_A = 9:1$

W układzie anoda grafitowa/zasypka grafitowa oba materiały wykazują zbliżone właściwości elektrochemiczne, co powoduje wypływ prądu z anody o wartości bliskiej jej udziałowi procentowemu w ogólnej powierzchni układu. Zastosowanie żeliwa wysokokrzemowego wpływa na ponad sześciokrotnie wyższe obciążenie prądowe anody. Natomiast użycie nieroztwarzalnej anody z platynowanego tytanu, charakteryzującej się małą aktywnością elektrokatalityczną, wpływa na zdecydowane obniżenie jej obciążenia prądowego.

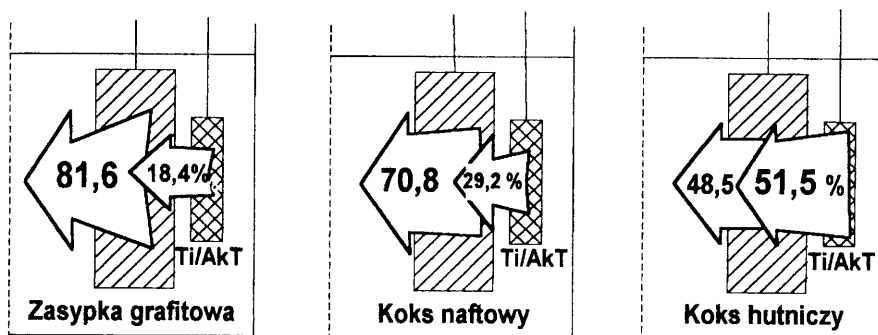
Na rys. 6 przedstawiono procentowe zmiany wielkości prądu wypływającego z różnych anod współpracujących z zasypką grafitową w funkcji rezystywności środowiska elektrolitycznego. Układy polaryzowano prądem o gęstości 5 A/m^2 . Zastosowanie anody grafitowej powoduje w każdym przypadku wypływ prądu o wartości odpowiadającej w przybliżeniu wielkości jej udziału w ogólnej powierzchni układu. W przypadku platynowanego tytanu udział prądu przewodzonego jonowo jest niewielki niezależnie od rezystywności środowiska. Dla elektrokatalitycznie aktywnej anody na osnowie tytanu udział jonowo przewodzonego prądu jest wysoki w środowiskach o niskiej rezystywności. W miarę wzrostu rezystywności środowiska udział ten maleje, dążąc do wartości odpowiadającej powierzchni roboczej anody (10 %).



Rys. 6. Wpływ rezystywności środowiska na zmiany wielkości prądu wypływającego z różnych anod współpracujących z zasypką grafitową; $i = 5 \text{ A/m}^2$

W środowiskach o niskiej rezystywności szczególnie wysoki jest udział prądu wypływającego z anody żeliwnej. W skrajnym przypadku ($\rho = 1 \text{ } \Omega m$) przekracza on wielkość zewnętrznego prądu polaryzującego. Żeliwo wysokokrzemowe jest materiałem aktywnym, który z zasypką tworzy ogniwo galwaniczne żeliwo/grafit. Autorzy kanadyjscy [14] wykazali na podstawie długoterminowych badań grawimetrycznych, że w zależności od rodzaju materiału zasypki 75-98 % prądu na granicy żeliwna anoda/zasypka przepływa drogą jonową.

Istotny wpływ na pracę układów anodowych wywiera rodzaj użytej zasypki węglowej. Na rys. 7 porównano rozkłady prądu wypływającego z układów zawierających anody tytanowe z aktywną warstewką tlenkową współpracujące z różnymi zasypkami podczas galwanostatycznej polaryzacji prądem o gęstości 5 A/m^2 w środowisku o rezystywności $10 \text{ } \Omega m$.



Rys. 7. Wpływ rodzaju zasypki węglowej na rozkład prądu wypływającego z elementów układu anodowego; $\rho_{\text{rod}} = 10 \text{ } \Omega m$, $i = 5 \text{ A/m}^2$, $S_z:S_A = 9:1$

Użycie zasypki o korzystnych cechach fizykochemicznych (grafit) ogranicza udział prądu wypływającego z anody, pomimo obecności na jej powierzchni warstewki o wysokiej aktywności elektrokatalitycznej. Zastosowanie gorszej zasypki z koksu hutniczego wpływa na blisko trzykrotnie wyższe obciążenie anody.

W tabeli 2 przedstawiono rezultaty badań grawimetrycznych elektrod grafitowych ($\phi 40 \times 250 \text{ mm}$) umieszczonych w różnych zasypkach i polaryzowanych prądem o gęstości 30 A/m^2 (w odniesieniu do powierzchni anody) w gruntach o różnej rezystywności (ρ). W każdym przypadku zastosowanie zasypki wpływa na obniżenie zużycia anod grafitowych.

Jest ono szczególnie znaczące dla anod umieszczonych w zasypce grafitowej lub z koksu naftowego.

Tabela 2. Wpływ rodzaju zasypki na zużycie elektrod grafitowych

Materiał zasypki	Zużycie anody, g/A-rok	
	$\rho = 2 \Omega\text{m}$	$\rho = 30 \Omega\text{m}$
Elektrografit	40	10
Koks naftowy	50	10
Koks hutniczy	210	50

Ogólnie biorąc, na pracę układów anodowych istotny wpływ wywierają takie czynniki jak rodzaj anody, właściwości fizykochemiczne materiału zasypki oraz rezystywność otaczającego środowiska. W skrajnych przypadkach (nieroztwarzalna anoda o wysokiej aktywności elektrokatalitycznej umieszczona w zasypce z koksu hutniczego lub trudno rozpuszczalna anoda z żeliwa wysokokrzemowego, eksploatowane w środowiskach o niskiej rezystywności) ze stosunkowo niewielkiej powierzchni anody (10 % powierzchni układu) może wypływać drogą jonową od 50 do 100 % ogólnego prądu polaryzującego. Z drugiej strony, przy prawidłowym doborze elementów układu (nieroztwarzalna anoda o niskiej aktywności elektrokatalitycznej umieszczona w zasypce grafitowej) udział prądu jonowego wpływającego z anody może nawet nie przekroczyć 1 %. W tym przypadku anoda spełnia przede wszystkim rolę przewodnika elektronowego, zaś procesy elektrodowe ulegają przemieszczeniu na zewnętrzną powierzchnię zasypki.

Przedstawione rezultaty wyjaśniają zarówno przypadki niestabilnej pracy głębokich układów z anodami tytanowymi z aktywną warstwą tlenkową [15], jak i dobrą pracę układów zawierających platynowany tytan w instalacjach ochrony katodowej konstrukcji podziemnych [1-3].

Dobór elementów składowych układu anodowego

Dla prawidłowej i efektywnej pracy układów anodowych w ochronie katodowej konieczny jest staranny dobór poszczególnych elementów składowych układu. Kryteria ich doboru i selekcji powinny uwzględniać nie tylko rodzaj materiału, jednostkowe jego zużycie i obciążalność prądową, ale także - charakterystykę polaryzacyjną oraz warunki pracy.

Do tej pory w krajowych instalacjach ochrony katodowej stosowano głównie trudno rozpuszczalne anody z żeliwa wysokokrzemowego. W innych krajach powszechnie stosowanym materiałem anodowym jest również grafit. Anody grafitowe, przy porównywalnych cechach użytkowych, są ok. trzykrotnie lepsze od anod żeliwnych. Nie budzą zastrzeżeń służb ekologicznych, które coraz częściej sprzeciwiają się umieszczaniu anod żeliwnych w ziemi z uwagi na obecność chromu w stopie. Z przedstawionych badań wynika ponadto, że anody grafitowe zdecydowanie lepiej współpracują z zasypkami węglowymi.

Dla ważnych technologicznie obiektów (np. magistralne rurociągi przesyłowe, konstrukcje na terenie miast i zakładów przemysłowych o zagęszczonej podziemnej infrastrukturze) wskazane jest stosowanie rozwiązań zawierających nierozpuszczalne anody na osnowie chemicznie odpornych metali, np. platynowany tytan. Podstawowe właściwości użytkowe, takie jak niskie zużycie jednostkowe, długa żywotność przy wysokim obciążeniu prądowym, dobra wytrzymałość mechaniczna, małe wymiary, niska masa, łatwość instalowania i możliwość wykonania niezawodnego złącza elektrycznego, zapewniają wysoką niezawodność układów z tymi anodami. Jednakże w przypadku użycia anod pokrytych warstwą aktywnych tlenków metali, należy zwracać uwagę na właściwości elektrochemiczne tej warstewki.

W zależności od składu chemicznego może ona cechować się różną aktywnością elektrokatalityczną; dla układów anoda/zasypka aktywność ta powinna być ograniczona.

Rodzaj użytej zasypki węglowej ma zasadnicze znaczenie dla prawidłowej pracy całego układu. Rozdrobnione materiały wykorzystywane w charakterze zasypek muszą spełniać określone wymagania dotyczące m.in. wysokiej zawartości węgla i niskiej rezystywności, a także - podwyższonej aktywności elektrokatalitycznej dla procesów wydzielania tlenu i/lub chloru. Prawidłowo dobrany materiał węglowy zapewni wysoki stopień elektronowego przewodzenia prądu na granicy anoda/zasypka oraz przez zasypkę, a w konsekwencji - przeniesienie procesów elektrodowych z anody na powierzchnię graniczną zasypka/grunt. Zasypki z elektrografitu lub kalcynowanego koksu naftowego, po dobraniu składu frakcyjnego, wielkości ziaren oraz domieszkowaniu krótko- i długoterminowo działających środków powierzchniowo czynnych, zapewniają wysoki stopień elektronowego przewodzenia prądu i zdecydowaną poprawę charakterystyki eksploatacyjnej współpracujących anod wykonanych zarówno z materiałów nieroztwarzalnych jak i trudno roztwarzalnych.

W praktyce ochrony katodowej konstrukcji podziemnych dąży się do lokalizacji układów anodowych w warstwach gruntu o obniżonej rezystywności celem uzyskania niskiej rezystancji rozprywu prądu. Z drugiej strony, właściwości elektrochemiczne niektórych anod (żeliwo wysokokrzemowe, tytan z warstewką tlenków o wysokiej aktywności elektrokatalitycznej) utrudniają dobrą współpracę z zasypką w środowiskach o niskiej rezystywności; występuje podwyższony udział jonowego przewodzenia prądu na granicy anoda/zasypka. W tych warunkach środowiskowych wskazane jest użycie trudno roztwarzalnych anod grafitowych lub nieroztwarzalnych anod tytanowych z warstewką o niskiej aktywności, np. platynowanego tytanu.

Przewód anody narażony jest na stałe oddziaływanie agresywnego środowiska przyanodowego. Wymaga to stosowania specjalnych przewodów elektrycznych z pogrubioną izolacją (np. z chlorosulfonowanego polietylenu) wykazującą odpowiednie właściwości dielektryczne oraz wysoką odporność na długookresową obecność kwaśnych i utleniających środowisk chemicznych.

Podsumowanie

Asortyment dostępnych materiałów anodowych i zasypek węglowych przeznaczonych na potrzeby ochrony katodowej konstrukcji podziemnych stwarza możliwość lepszego ich doboru dla różnych warunków prądowych oraz środowiskowych. Należy przy tym brać pod uwagę:

- rodzaj anody, jej obciążalność prądową i jednostkowe zużycie, a także - charakterystykę polaryzacyjną,
 - cechy fizyczne i elektryczne zasypki węglowej, jak również jej właściwości elektrochemiczne,
 - elektrochemiczną współpracę w układzie anoda/zasypka w danych warunkach środowiskowych,
 - planowaną żywotność układu, przy niskiej i stałej w czasie jego rezystancji rozprywu prądu.
- Zastosowanie nieroztwarzalnych anod charakteryzujących się wysokimi potencjałami wydzielania tlenu i chloru oraz umieszczenie ich w trudno polaryzujących się zasypkach węglowych, wykazujących podwyższoną aktywność elektrokatalityczną, prowadzi do zwiększenia trwałości i niezawodności całego układu. W ten sposób powstają sprzyjające warunki dla zwiększonego udziału elektronowego przewodzenia prądu na granicy anoda/zasypka i przeniesienia procesów elektrodowych na zewnętrzną powierzchnię zasypki. W najkorzystniejszym przypadku anoda będzie spełniała przede wszystkim rolę przewodnika elektronowego.

Wykorzystanie różnych technik pomiarowych (wyznaczanie charakterystyk potencjodynamicznych, zeroamperometria, grawimetria, elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna) pozwala na uzyskanie w miarę pełnej wiedzy o cechach elektrochemicznych oraz użytkowych różnych materiałów anodowych i zasypek węglowych, jak również - na dalsze ich doskonalenie.

Praca została wykonana w ramach projektu BW nr 012846/T103

Literatura

1. J. Morgan: Cathodic Protection, NACE, Houston (1987).
2. V. Ashworth, C.J.L. Booker (Ed.): Cathodic Protection Theory and Practice, Ellis Horwood Ltd, Chichester (1986).
3. L.L. Shreir, R.A. Jarman, G.T. Burstein (Ed.), Corrosion, Vol. 2 - Corrosion Control, Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford (1994).
4. S. Trasatti (Ed.): Electrodes of Conductive Metallic Oxides, Part B, Elsevier, Amsterdam (1981).
5. M. Ja. Fioszkin, M. G. Smirnowa: Elektrochimiczeskije sistemy w sintezie chemicznych produktow, Chimia, Moskwa (1985).
6. F. Hine, J. M. Fenton, B. V. Tilak, J. D. Lisius: Performance of Electrodes for Industrial Electrochemical Processes, The Electrochemical Society, Inc., Pennington (1989).
7. R. Juchniewicz, W. Sokółski: Mat. V Ogólnopolskiej Konferencji KOROZJA'96 - Teoria i praktyka, Gdańsk, wrzesień (1996), str.393-396.
8. W. Bohdanowicz: Mat. V Ogólnopolskiej Konferencji KOROZJA'96 - Teoria i praktyka, Gdańsk, wrzesień (1996), str.369-372.
9. Praca zbiorowa niepublikowana: Ochrona katodowa podziemnej infrastruktury Elektrowni Opole, Politechnika Gdańska i SPZP „Corropol” Gdańsk (1995-1997).
10. S. Golec, J. Gołąb, A. Mokrosz, J. Nowak: Mat. V Ogólnopolskiej Konferencji KOROZJA'96 - Teoria i praktyka, Gdańsk, wrzesień (1996), str.425-428.
11. J. Rozwadowski, J. Walaszkowski: Mat. XXII Konwersatorium Korozji Morskiej, Wyd. Instytutu Morskiego, Jurata, wrzesień (1997), str. 277-282.
12. T. H. Lewis: 3R International, **24**(8),474 (1985).
13. J. Walaszkowski: Mat. V Ogólnopolskiej Konferencji KOROZJA'96 - Teoria i praktyka, Gdańsk, wrzesień (1996), str.345-348.
14. J. A. Jakobs, A. Wozniowski: Materials Performance, **28**(7), 14(1989).
15. J. T. Reding: Corrosion'87, NACE (1987), Paper 9.