RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **224072**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **400059**

(22) Data zgłoszenia: **20.07.2012**

(51) Int.Cl.
G01N 17/02 (2006.01)
G01N 27/48 (2006.01)

(54) **Sposób badania szybkości korozji zbrojenia zwłaszcza w konstrukcjach żelbetowych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
03.02.2014 BUP 03/14

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
30.11.2016 WUP 11/16

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
ADAM ZYBURA, Piekary Śląskie, PL
MARIUSZ JAŚNIOK, Gliwice, PL
TOMASZ JAŚNIOK, Mikołów, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Katarzyna Borkowy

PL 224072 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób badania szybkości korozji zbrojenia zwłaszcza w konstrukcjach żelbetowych.

Badania szybkości korozji zbrojenia konstrukcji żelbetowych należą do najtrudniejszych zagadnień diagnostyki korozyjnej żelbetu. Precyzyjna identyfikacja intensywności procesów korozyjnych lub stanu pasywnego stali zbrojeniowej osłoniętej betonową otuliną jest możliwa metodami polaryzacyjnymi wywodzącymi się z laboratoriów elektrochemicznych. W praktyce badawczej do tego celu stosuje się metodę pomiaru oporu polaryzacji (*LPR – Linear Polarization Resistance*) oraz metodę impulsu galwanostatycznego (*GP – Galvanostatic Puls*). Znane są również nieliczne próby stosowania do tego celu metody elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (*EIS – Electrochemical Impedance Spectroscopy*), ale głównie w warunkach laboratoryjnych.

Obecnie w celu identyfikacji powierzchni polaryzacji zbrojenia stosuje się dwie techniki pomiarowe: metodę elektrody ekranującej oraz metodę zmiennej powierzchni przeciwelektrody. Pierwsza metoda polega na zastosowaniu dodatkowej elektrody pierścieniowej, która ogranicza rozkład linii pola elektrycznego do znanej powierzchni badanej. W drugiej metodzie prowadzi się serię pomiarów za pośrednictwem przeciwelektrod o różnych powierzchniach, np. mniejszej i większej, polaryzujących nieznany fragment powierzchni zbrojenia. Następnie opory polaryzacji uzyskane przy różnych powierzchniach przeciwelektrod ekstrapoluje się do wartości $R_{p\infty}$ odpowiadającej quasi nieskończonej, dużej powierzchni elektrody badanej A_∞ i obliczając iloraz $R_{p\infty}/A_\infty$ określa rzeczywisty jednostkowy opór R_p. Zgodnie z równaniem *Stern'a* i *Geary'ego*

$$i_{kor} = \frac{B}{R_p} \qquad B = \frac{b_a b_c}{2{,}303\,(b_a + b_c)}$$

opór polaryzacji R_p jest odwrotnie proporcjonalny do gęstości prądu korozyjnego i_{kor}. Parametr B w tym równaniu jest współczynnikiem proporcjonalności, zależnym od tzw. stałych *Tafela* reakcji anodowej b_a i reakcji katodowej b_c.

Z polskiego opisu zgłoszenia patentowego P-384067 znany jest sposób i urządzenie do wykonywania badań odkształceń i pełzania materiałów w środowisku o podwyższonej agresywności korozyjnej stosowane w laboratoriach badawczych wykonujących badania wytrzymałościowe i odporności korozyjnej materiałów konstrukcyjnych dla potrzeb między innymi przemysłu okrętowego. Sposób wykonywania badań polega na wyniesieniu instrumentu pomiarowego poza obszar działania czynnika korozyjnego, a odkształcenie przekazywane jest do przetwornika specjalizowanymi elementami pośredniczącymi. Urządzenie do wykonywania badań zawiera pojemnik, w którym umieszczona jest osiowo rozciągana próbka badanego materiału z zamocowanymi do niej elementami, przenoszącymi odkształcenie do przetwornika pomiarowego. Dodatkowo w pojemniku umieszczone są elektroda sterująca i siatka ze stali wysokostopowej austenitycznej, umożliwiające pomiar potencjału elektrochemicznego oraz symulowanie wymuszeń elektrochemicznych, katodowych bądź anodowych.

Z polskiego opisu patentowego nr 156402 znany jest sposób i układ do rejestracji i odczytu dwóch niezależnych napięć, zwłaszcza do badań korozyjnych, w których doprowadzone z czujników w postaci elektrody odniesienia przebiegi wzmacnia się przetwarza i rejestruje.

W żadnej z obecnie stosowanych metod badania szybkości korozji zbrojenia nie uwzględniono jej dużej zmienności w czasie – *CR (t)*. Zmienność gęstości prądu korozyjnego i_{kor} zależy przede wszystkim od zmian wilgotności powietrza wpływającego na stan zawilgocenia otuliny betonowej oraz zmian temperatury otoczenia konstrukcji nagrzewającej lub ochładzającej beton. Jak wiadomo oba te parametry (wilgotność *RH* i temperatura *T*) mają bezpośredni wpływ na intensyfikację lub spowolnienie procesów korozyjnych zachodzących na powierzchni stali zbrojeniowej w betonie. Należy podkreślić, że dotychczas realizowane badania bezpośrednio na konstrukcjach żelbetowych odzwierciedlają jedynie stan korozyjny zbrojenia przy występującej podczas pomiarów wilgotności i temperatury powietrza. Nie ujmują tym samym szerokiego zakresu zmian gęstości prądu korozyjnego w okresie użytkowania konstrukcji. Ponadto reprezentują jedynie chwilowy stan elektrochemiczny stali w betonie, co może prowadzić do błędów związanych z zaniżeniem rzeczywistej szybkości korozji.

Sposób według wynalazku polega na tym, że pobrane z konstrukcji rdzenie umieszcza się w komorze klimatyczno-korozyjnej i przeprowadza się pomiary polaryzacyjne stali zbrojeniowej w rdzeniach metodą pomiaru oporu polaryzacji (LPR) i elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (EIS) w temperaturze $T = 0 \div 100°C$ i wilgotności $RH = 10 \div 99{,}9\%$, wyznaczając maksymalny i minimal-

ny przedział wartości gęstości prądu korozyjnego i_{kor} odniesiony do pomierzonej powierzchni polaryzacji, na wyjętych ze rdzeni fragmentach zbrojenia.

Dotychczasowe metody pomiaru szybkości korozji zbrojenia w betonie umożliwiały otrzymanie wartości gęstości prądu korozyjnego przy występującej w trakcie badań wilgotności i temperatury powietrza. Ponadto otrzymana w ten sposób chwilowa wartość gęstości prądu korozyjnego była wyznaczona na podstawie oszacowanej z trudnym do określenia błędem (metoda elektrody ekranującej i metoda zmiennej powierzchni przeciwelektrody) powierzchni polaryzacji zbrojenia.

Sposób według wynalazku umożliwia wyznaczenie pełnego zakresu zmian gęstości prądu korozyjnego, otrzymanego dzięki symulacji w komorze klimatyczno-korozyjnej ekstremalnych dla danej konstrukcji warunków termiczno-wilgotnościowych (sprzyjających i niesprzyjających postępowi korozji zbrojenia). Ponadto wyznaczony w ten sposób maksymalny i minimalny przedział wartości gęstości prądu korozyjnego i_{kor} określa się w odniesieniu do precyzyjnie pomierzonej powierzchni polaryzacji, na wyjętych ze rdzeni fragmentach zbrojenia. Problemów związanych z brakiem identyfikacji zakresu zmian gęstości prądu korozyjnego w funkcji wilgotności i temperatury oraz z ustalaniem polaryzowanej powierzchni zbrojenia można uniknąć przeprowadzając badania polaryzacyjne na wyciętych z konstrukcji żelbetowej walcowych rdzeniach betonowych zawierających fragment zbrojenia.

Przedmiot wynalazku przedstawiono w poniższym przykładzie na rysunku, który przedstawia schemat stanowiska do badań polaryzacyjnych zbrojenia w wyciętych rdzeniach betonowych.

Z konstrukcji żelbetowej w znany sposób wycina się rdzenie betonowe, przy czym koniecznie zawierające jeden lub kilka fragmentów zbrojenia. Wycinanie należy poprzedzić wyznaczeniem miejsca pobrania rdzenia, np. pomiarami magnetycznymi lokalizacji zbrojenia. Następnie w warunkach laboratoryjnych przecięty pręt ***1*** rdzenia ***2*** nawierca się od czoła, aby umożliwić podłączenie do potencjostatu ***3*** (za pomocą tzw. wtyku bananowego). Pręt ***1*** w trójelektrodowym układzie pomiarowym pełni rolę elektrody badanej. Miejsce połączenia przewodu ze stalą zbrojeniową należy odizolować od wpływu wilgoci z otoczenia pokrywając cienką powłoką nieprzewodzącą, np. epidianem. Wszystkie pozostałe widoczne na powierzchni rdzenia betonowego fragmenty stalowych prętów należy w analogiczny sposób zaizolować, aby nie dopuścić w warunkach wysokiej wilgotności powietrza do korozji szczelinowej między stalą i betonem. Następnie na zewnętrznej powierzchni otuliny zbrojenia rdzenia umieszcza się lekko nawilgocony filc ***4*** lub w przypadku nierówności nawilgoconą pulpę papierową, na której układa się krążek blachy ze stali nierdzewnej ***5*** średnicy rdzenia. Blacha nierdzewna (lub siatka tytanowa pokryta cienką warstwą platyny) w układzie pomiarowym pełni rolę przeciwelektrody. W środku krążka z blachy nierdzewnej należy wykonać otwór, przez który przykłada się elektrodę referencyjną ***6*** o stałym i znanym potencjale, np. chloro-srebrową. Ta elektroda w układzie trójelektrodowym pełni rolę elektrody odniesienia. Aby zapewnić dobry kontakt elektryczny przeciwelektrody poprzez nawilgocony filc (lub pulpę papierową), na jej górną powierzchnię dodatkowo zaizolowaną elektrycznie (np. taśmą z tworzywa sztucznego) przykłada się balast ***7***. Balast wykonany np. z betonu również w kształcie walca o średnicy badanego rdzenia, powinien zapewnić odpowiedni docisk przeciwelektrody do powierzchni otuliny rdzenia (najlepiej ok. 30 g/cm^2). Przygotowane w opisany sposób rdzenie betonowe, z wyprowadzonymi przewodami elektrycznymi ze zbrojenia (elektrody badanej) oraz przewodami z przeciwelektrody i elektrody referencyjnej, umieszcza się w komorze klimatyczno-korozyjnej ***8***. Wszystkie przewody elektryczne podłącza się do potencjostatu ***3***, umożliwiającego przeprowadzenie pomiarów polaryzacyjnych stali zbrojeniowej w rdzeniach. Definiując skrajne dla badanej konstrukcji żelbetowej warunki termiczno-wilgotnościowe – niesprzyjające korozji (np. T = 10°C, RH = 40%) i sprzyjające korozji zbrojenia (np. T = 30°C, RH = 100%), przy nienaruszonym naturalnym kontakcie stali zbrojeniowej z betonem rdzenia, przeprowadza się badania polaryzacyjne. Zaleca się zastosowanie metody pomiaru oporu polaryzacji (LPR) i elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (EIS). W pierwszej kolejności należy wykonać mniej inwazyjny pomiar metodą EIS, a następnie po krótkiej obserwacji stabilności potencjału stacjonarnego pomiar metodą LPR. Zastosowanie dwóch metod polaryzacyjnych zwiększa wiarygodność otrzymanych wyników badań. Ponadto w przypadku suchego lub bardzo suchego betonu otuliny istnieje duże prawdopodobieństwo znacznych zaburzeń i nieprawidłowości wyników uzyskanych metodą stałoprądową (LPR), w przeciwieństwie do pomiarów zmienno prądowych (EIS) dających poprawne wyniki również przy słabo przewodzącym prąd betonie.

Cykle pomiarowe metodami EIS i LPR należy realizować w zróżnicowanych warunkach termiczno-wilgotnościowych tj. przy maksymalnych i minimalnych wartościach temperatury i wilgotności (T_{max}, RH_{max} i T_{min}, RH_{min}) występujących w środowisku pracy badanych elementów konstrukcji. Po zakończonych cyklach pomiarowych z komory klimatyczno-korozyjnej ***8*** wyjmuje się rdzenie, aby od-

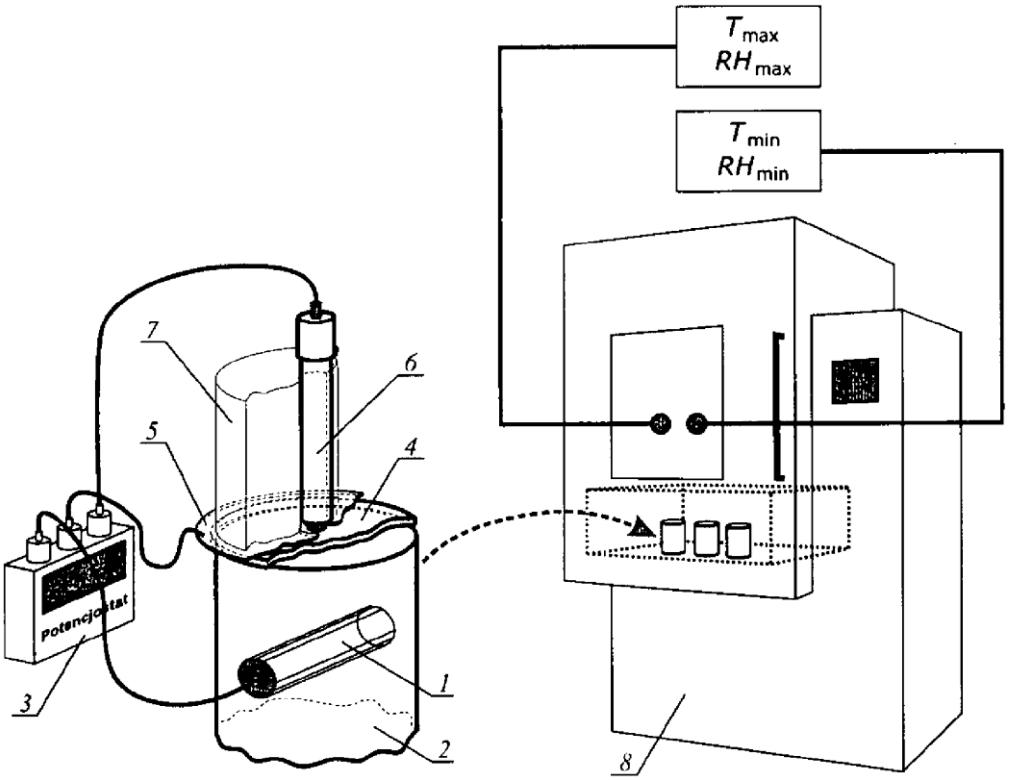
zyskać fragmenty prętów i pomierzyć rzeczywiste powierzchnie polaryzacji – badane powierzchnie zbrojenia. W tym celu miażdży się beton rdzeni i wyjmuje fragmenty badanych elektrochemicznie prętów zbrojeniowych. Po dokonaniu wizualnej oceny stanu powierzchni prętów oraz pomiarach powierzchni badanej zbrojenia, w znany sposób przeprowadza się analizę krzywych polaryzacji (metoda LPR) oraz widm impedancyjnych (metoda EIS). Dzięki bezpośrednio pomierzonym powierzchniom polaryzacji otrzymane wyniki gęstości prądu korozyjnego i_{kor}, a tym samym wskaźniki szybkości korozji *CR*, są wyznaczone w odniesieniu do precyzyjnie wyznaczonej powierzchni badanego zbrojenia. Ponadto wyniki pomiarów odpowiadają możliwemu w danej konstrukcji przedziałowi minimalnych i maksymalnych szybkości korozji zbrojenia w betonie.

Uśredniona z pomiarów metodami EIS i LPR gęstość prądu korozyjnego na zbrojeniu rdzenia przy temperaturze powietrza T = 10°C i wilgotności względnej RH = 40% wyniosła i_{kor} = 0,003 μA/cm^2, co odpowiada wskaźnikowi szybkości korozji zbrojenia CR = 0,01159 i_{kor} = 0,0003 mm/rok. Powtarzając na tym samym zbrojeniu rdzenia pomiary, ale przy wyższej temperaturze powietrza T = 30°C i wilgotności względnej RH = 100%, gęstość prądu korozyjnego wyniosła i_{kor} = 0,910 μA/cm^2, co odpowiada wskaźnikowi CR = 0,0105 mm/rok. Dzięki temu jako wynik analizy autorską metodyką badań podaje się granice przedziału ekstremalnych wartości gęstości prądu korozyjnego w badanym punkcie konstrukcji jako i_{kor} = 0,003÷0,910 μA/cm^2 i odpowiadający mu zakres zmienności wskaźnika szybkości korozji CR = 0,0003÷0,0105 mm/rok. Wykonując dla porównania trzeci pomiar na badanym zbrojeniu rdzenia w typowych dla danej konstrukcji warunkach termiczno-wilgotnościowych (np. T = 20°C, RH = 70%) otrzymano i_{kor} = 0,255 μA/cm^2 i CR = 0,0030 mm/rok. Przedstawione wyniki trzeciego pomiaru w przeciętnych warunkach termiczno-wilgotnościowych otoczenia pokazują jak poważne może być niedoszacowanie szybkości korozji w badanym punkcie konstrukcji w przypadku przeprowadzania badania bezpośrednio na obiekcie.

Zastrzeżenie patentowe

Sposób badania szybkości korozji zbrojenia zwłaszcza w konstrukcjach żelbetowych realizowany na rdzeniach wyciętych z konstrukcji, **znamienny tym**, że pobrane z konstrukcji rdzenie umieszcza się w komorze klimatyczno-korozyjnej i przeprowadza się pomiary polaryzacyjne stali zbrojeniowej w rdzeniach metodą pomiaru oporu polaryzacji (LPR) i elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (EIS) w temperaturze T = 0÷100°C i wilgotności RH = 10÷99,9%, wyznaczając maksymalny i minimalny przedział wartości gęstości prądu korozyjnego i_{kor} odniesiony do pomierzonej powierzchni polaryzacji, na wyjętych ze rdzeni fragmentach zbrojenia.

Rysunek



Departament Wydawnictw UPRP
Cena 2,46 zł (w tym 23% VAT)