

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **219986**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **391633**

(51) Int.Cl.
G01N 27/20 (2006.01)
G01B 7/16 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **26.06.2010**

(54) **Sposób wykrywania pęknięć i rozwarstwień w elementach konstrukcji
i układ elektryczny do wykrywania pęknięć i rozwarstwień w elementach konstrukcji**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
02.01.2012 BUP 01/12

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.08.2015 WUP 08/15

(73) Uprawniony z patentu:

**ADAPTRONICA SPÓŁKA Z OGRANICZONĄ
ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ, Łomianki, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

ANITA ORŁOWSKA, Milejowice, PL
PRZEMYSŁAW KOŁAKOWSKI, Nieporęt, PL
JAN HOLNICKI-SZULC, Warszawa, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Anna Bełz

PL 219986 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wykrywania pęknięć i rozwarstwień w elementach konstrukcji i układ elektryczny do wykrywania pęknięć i rozwarstwień w elementach konstrukcji.

Znany jest z opublikowanego opisu Stanów Zjednoczonych nr US0059699260A system, który ocenia stan elementu kompozytowego na podstawie pomiaru ciągłości elektrycznej przewodów elektrycznych zintegrowanych z tym elementem. Podczas propagacji delaminacji lub innego rodzaju pęknięcia w strukturze kompozytowej wyposażonej w odpowiednio dobrane elementy przewodzące prąd elektryczny następuje przerwanie fragmentów obwodu należących do strefy propagacji uszkodzenia. Nieciągłość elementów zintegrowanego obwodu elektrycznego wykrywana jest za pomocą układu elektrycznego składającego się z elementu zasilającego tenże obwód oraz układu detekcji. Stan ciągłości elementu przewodzącego określany jest na podstawie pomiaru potencjału elektrycznego w określonych punktach obwodu. Układ detekcji wraz z transponderem umożliwiającym zdalną komunikację z urządzeniem odbiorczym może być wbudowany w badaną strukturę lub pracować jedynie w trakcie przeglądów okresowych.

Innym opublikowanym opisem układu do wykrywania delaminacji jest opis DP 1005.1112 (A1). Przedstawiony w opisie układ do wykrywania delaminacji składa się z transmitera promieniowania mikrofalowego oraz kamery termowizyjnej. Promieniowanie mikrofalowe jest emitowane w kierunku badanego elementu, jednocześnie rejestrowany jest obraz termowizyjny powierzchni próbki. Identyfikacja delaminacji jest oparta na analizie czasowo-przestrzennej emisji ciepła przez badany element.

Monitorowanie uszkodzeń (w tym delaminacji) opisane jest także w opublikowanym opisie polskiego zgłoszenia wynalazku nr P.390139. Istota przedstawionego w opisie rozwiązania polega na zintegrowaniu z elementem konstrukcyjnym obwodu elektrycznego zawierającego elementy rezystancyjne o budowie nietrwałej (tak dobrane aby propagacja pęknięcia powodowała ich uszkodzenie) oraz elementy pojemnościowe. Układ ten pobudzany jest zmiennym sygnałem testowym, a zarejestrowane odpowiedzi wykorzystywane są do budowy tzw. macierzy wpływu, stanowiącej podstawę algorytmu obliczeniowego umożliwiającego identyfikację uszkodzonego elementu rezystancyjnego. W trakcie eksploatacji elementu konstrukcyjnego dokonuje się pobudzeń testowych oraz pomiaru odpowiedzi układu. Następnie, wykorzystując informacje o stanie początkowym układu (m.in. wspomnianą powyżej macierz wpływu) i odpowiedzi na pobudzenia testowe rozwiązuje się zadanie odwrotne, co umożliwia lokalizację uszkodzonych elementów układu elektrycznego a tym samym defektu.

Istota wynalazku polega na tym, że sporządza się obwód elektryczny w postaci siatki złożonej z dwóch rodzajów przewodników prądu elektrycznego o różnej rezystancji i wytrzymałości oraz o korzystnie prostokątnej konfiguracji, którą integruje się z elementem konstrukcyjnym podlegającym ocenie w zakresie występowania pęknięć lub rozwarstwień. Siatkę umieszcza się w badanym fragmencie konstrukcji w ten sposób, aby elementy siatki o małej wytrzymałości były ułożone prostopadle do kierunku przewidywanej propagacji pęknięć, bądź rozwarstwień. Następnie podłącza się do końcówek obwodu elektrycznego zasilanie o regulowanej wielkości napięcia, po czym określa się kamerą termowizyjną obszary o zróżnicowanej, w stosunku do pozostałej powierzchni, temperaturze.

Podstawą identyfikacji uszkodzenia jest identyfikacja obszaru, o zaburzonym wskutek uszkodzenia elementu przewodzącego rozkładzie temperatury, zlokalizowanego w miejscu, w którym nastąpiło uszkodzenie badanego fragmentu konstrukcji.

Przedmiotem wynalazku jest także przestrzenny układ elektryczny, tworzący regularną siatkę, zestawiony z dwóch rodzajów elementów przewodzących i zespolony z fragmentem konstrukcji, który ma być oceniany pod względem jego pęknięć lub rozwarstwień. Jeden rodzaj elementów przewodzących wykonany z materiału charakteryzującego się niską rezystywnością, zaś drugi rodzaj elementów przewodzących ma co najmniej dwu i półkrotnie większą rezystancję od rezystancji elementów przewodzących pierwszego rodzaju. Elementy przewodzące są usytuowane we fragmencie konstrukcyjnym w trzech grupach, Jedna grupa przewodników ma elementy przewodzące ustawione w płaszczyźnie przekroju poprzecznego detalu, prostopadle do zewnętrznych płaszczyzn i przechodzące na wskroś materiału, druga grupa elementów przewodzących jest rozmieszczona korzystnie równolegle do zewnętrznej powierzchni fragmentu konstrukcji i w pobliżu tej zewnętrznej powierzchni, a trzecia grupa znajduje się przy drugiej zewnętrznej powierzchni fragmentu konstrukcji. Jedna z tych trzech grup elementów przewodzących ma na tyle niską wytrzymałość mechaniczną, że elementy tej grupy nie przenoszą naprężeń powodujących pęknięcie lub rozwarstwianie materiału, z którego wykonano fragment konstrukcji. Elementy przewodzące o małej wytrzymałości umieszczone są w płaszczyźnie

prostopadłej do kierunku przewidywanej propagacji uszkodzenia. W szczególnym wariantcie elementy przewodzące o dużej rezystancji umieszczone na powierzchni fragmentu konstrukcji są wykonane z materiału elektrochromowego.

Układ według wynalazku pozwala na precyzyjne ustalenie miejsca powstania nawet niewielkiego uszkodzenia elementu konstrukcyjnego. W przypadku wykonania elementów przewodzących o dużej rezystancji z materiału elektrochromowego i umieszczeniu ich na powierzchni konstrukcji, wystąpienie uszkodzeń wewnątrz konstrukcji możliwe jest w sposób wizualny.

Przedmiot wynalazku jest opisany dokładniej w przykładzie i dodatkowo objaśniony rysunkiem, na którym fig. 1 przedstawia przekrój poprzeczny konstrukcji z widokiem obwodu elektrycznego, którego elementy o małej rezystancji są umieszczone w pobliżu wewnętrznej powierzchni tej konstrukcji. Fig. 2 obwód elektryczny utworzony z elementów rezystancyjnych połączonych równolegle za pomocą niskooporowych elementów przewodzących, a fig. 3 przekrój poprzeczny fragmentu konstrukcji z innym obwodem elektrycznym

P r z y k ł a d.

Obwód elektryczny w postaci siatki tworzącej pierścień, jak to pokazano na fig. 1, która zestawiona jest z dwóch rodzajów elementów przewodzących, o różnej wytrzymałości, umieszczono wewnątrz konstrukcji betonowego kręgu 4 w kształcie wydrążonego walca. Elementy przewodzące mają różną rezystancję, a mianowicie elementy 7 przewodzące 1 i 3 mają rezystancję 5Ω , natomiast element przewodzący 2 mający rezystancję 1Ω i wytrzymałość 3.5 MPa jest przewodem, który umieszczono koncentrycznie przy wewnętrznej powierzchni kręgu 4. Pomiędzy równymi odcinkami przewodu, które to odcinki stanowią poszczególne elementy przewodzące 2 są przyłączone pętle utworzone z elementów przewodzących 1 i 3. W trakcie eksploatacji, do wyprowadzonych na zewnątrz kręgu 4 końcówek 5 podłączano okresowo zasilanie prądem elektrycznym, o napięciu 13.3 V w czasie 18 sekund, a następnie badano, za pomocą kamery termowizyjnej, rozkład temperatur na powierzchni kręgu. Nie stwierdzono różnic w rozkładzie temperatur. Dokonano celowego przerwania jednego elementu przewodzącego 2. Po podłączeniu uszkodzonej siatki do źródła prądu i wyregulowaniu za pomocą rezystora 6 napięcia do wartości 18.1 V , stwierdzono po upływie 18 sekund wzrost temperatury obszaru powierzchni zewnętrznej, położonego naprzeciwko uszkodzonego elementu przewodzącego 2 o 3°C .

Obwód elektryczny w postaci siatki przedstawiony na fig. 2 tworzą trzy grupy elementów przewodzących 1, 2 i 3. rozmieszczonych równomiernie w jednej płaszczyźnie. Jedna grupa elementów przewodzących 1, wykonana z aluchromu, o rezystancji 10 , jest rozmieszczona w regularnych odstępach i usytuowana prostopadle do dwóch grup elementów przewodzących 2 i 3. Elementy przewodzące 1 są włączone równolegle w obwodzie elektrycznym. Wytrzymałość elementów przewodzących 1 jest mniejsza niż naprężenia rozwarstwiające materiał, z którego wykonany jest. mający podlegać badaniom element konstrukcyjny. Przerwanie elementów przewodzących 1 powoduje, że po podłączeniu napięcia do końcówek prąd będzie płynął jedynie przez nieuszkodzone elementy przewodzące 1 powodując ich ogrzewanie. Integrując taki obwód elektryczny z elementem konstrukcji okazałoby się, że w miejscach przerwania elementów przewodzących 1 wzrost temperatury będzie powolniejszy, a zatem powierzchnia konstrukcji w okolicy uszkodzonych elementów przewodzących 1 miałaby niższą temperaturę, co stanowiłoby wyróżnik, w stosunku do temperatury pozostałej powierzchni badanego fragmentu konstrukcji fig. 3 przedstawia przekrój poprzeczny części konstrukcji 4 jaką jest płat laminatu, w którym jest wprowadzony obwód elektryczny w postaci siatki zestawionej z elementów przewodzących 1, 2 i 3. Elementy przewodzące 2, wykonane z kanthalu. każdy o rezystancji $0,5 \Omega$ tworzą jednolity przewód, umieszczony równolegle do powierzchni zewnętrznej części konstrukcji 4, przy czym końce 5 tego przewodu są wyprowadzone na zewnątrz. Do odcinków tego przewodu są przyłączone parami, w równych odstępach, elementy przewodnikowe 1 połączone w pobliżu drugiej powierzchni, zewnętrznej fragmentu konstrukcji 4, z elementami przewodzącymi 3. Elementy przewodzące 1 i 3 są wykonane z materiału, którego wytrzymałość wynosi 90 Mpa . W przypadku powstania delaminacji fragmentu konstrukcji 4 nastąpi przerwanie elementów przewodzących 1, na skutek czego, po przyłożeniu napięcia prąd, w tym fragmencie siatki, popłynie przez elementy przewodzące 2, ogrzewając je, a tym samym powodując miejscowe podniesienie temperatury konstrukcji 4.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wykrywania pęknięć lub rozwarstwień fragmentu konstrukcji polegający na umieszczeniu układu elektrycznego wewnątrz fragmentu konstrukcji i wykrywaniu uszkodzeń przy użyciu metod wizyjnych, **znamienny tym**, że obwód elektryczny w postaci siatki zestawia się z elementów przewodzących o różnej rezystancji i wytrzymałości mechanicznej, przy czym elementy przewodzące o niskiej wytrzymałości mechanicznej umieszcza się poprzecznie do przewidywanego kierunku powstawania rozwarstwień lub pęknięć.

2. Układ do wykrywania pęknięć i rozwarstwień fragmentu konstrukcji, w postaci obwodu elektrycznego i umieszczonego wewnątrz fragmentu konstrukcji, posiadający wyjścia do zewnętrznego zasilania prądem elektrycznym, **znamienny tym**, że obwód elektryczny ma postać regularnej siatki, która składa się z elementów przewodzących (1) usytuowanych w płaszczyźnie przekroju poprzecznego fragmentu konstrukcji (4) i przechodzących na wskroś oraz z elementów przewodzących (2) i (3) znajdujących się w płaszczyznach równoległych do powierzchni zewnętrznych fragmentu konstrukcji (4), przy czym między elementami przewodzącymi (1) a (2) i (3), lub (2) a (1) i (3) występują różnice w rezystancji.

3. Układ według zastrz. 2, **znamienny tym**, że elementy przewodzące (1) mają co najmniej dwu i pół krotnie większą rezystancję niż elementy przewodzące (2) i (3), przy czym elementy przewodzące (1) mają wytrzymałość mechaniczną na zerwanie mniejszą niż naprężenia powodujące propagację szczeliny we fragmencie konstrukcji (4).

4. Układ według zastrz. 2, **znamienny tym**, że elementy przewodzące (2) umieszczone równolegle przy jednej płaszczyźnie zewnętrznej fragmentu konstrukcji (4) mają rezystancję co najmniej dwu i półkrotnie większą niż elementy przewodzące (1) i (3), a ponadto końce każdego elementu przewodzącego (2) są połączone pętlą utworzoną z elementów (1) i (3), przy czym elementy przewodzące (1) i (3) mają mniejszą wytrzymałość niż naprężenia powodujące propagację szczeliny detalu (4).

5. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że elementy przewodzące (2) mają rezystancję co najmniej dwu i półkrotnie mniejszą niż elementy przewodzące (1) i (3), a ponadto końce każdego elementu przewodzącego (2) są połączone pętlą utworzoną z elementów (1) i (3), przy czym elementy przewodzące (2) mają mniejszą wytrzymałość niż naprężenia powodujące propagację szczeliny fragmentu konstrukcji (4).

6. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że elementy przewodzące (2) są wykonane z materiału elektrochromowego.

7. Układ według zastrz. 5, **znamienny tym**, że elementy przewodzące (3) są wykonane z materiału elektrochromowego.

Rysunki

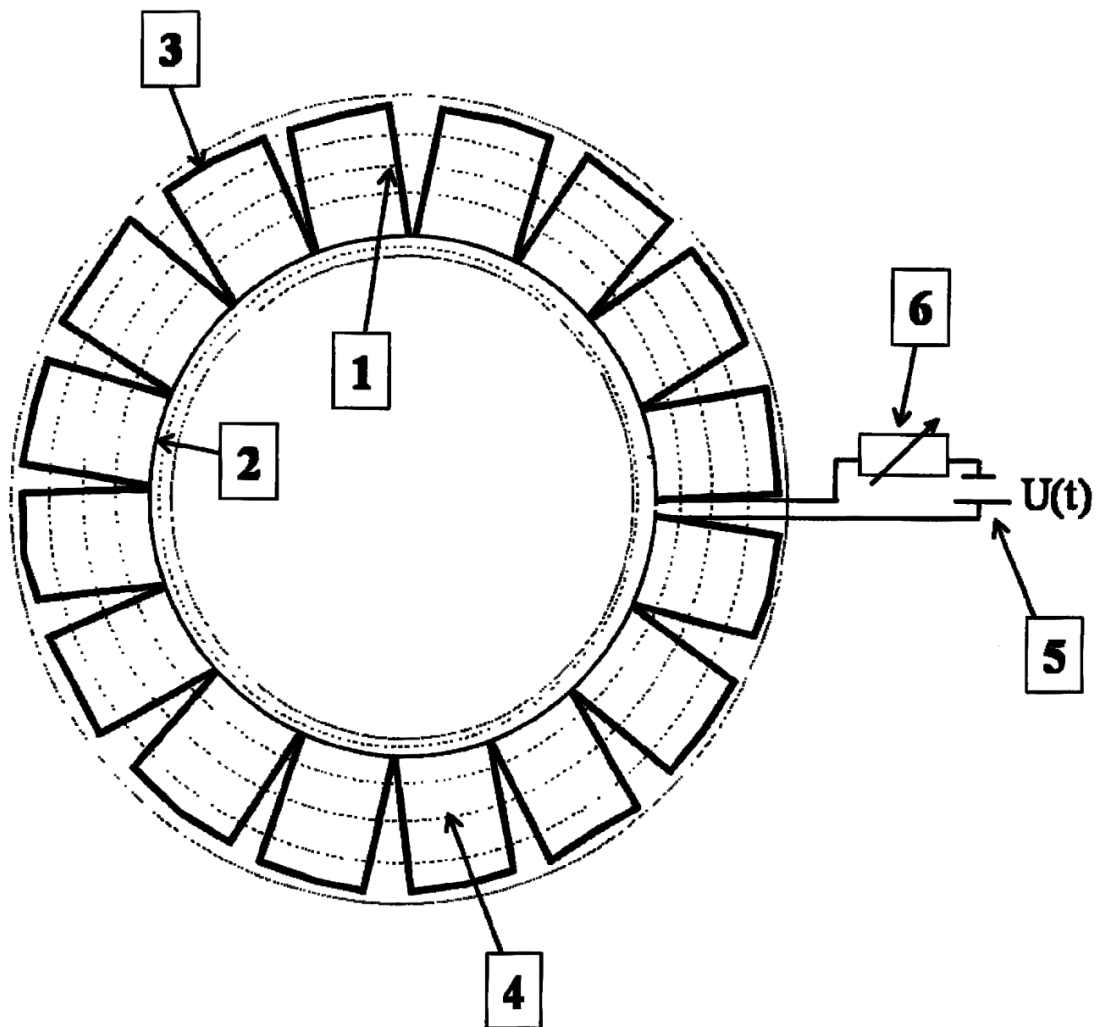


Fig. 1

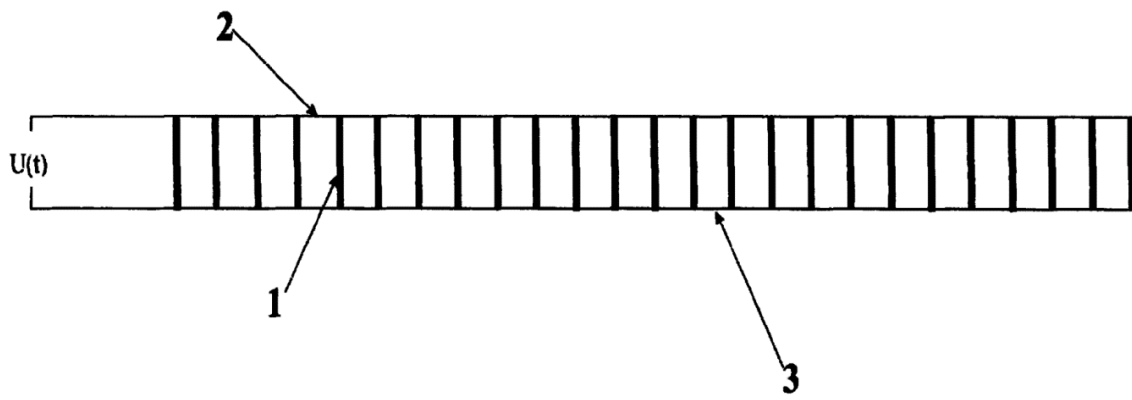


Fig. 2