



(12)

BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: **a 2010 01062**

(22) Data de depozit: **08/11/2010**

(45) Data publicării mențiunii acordării brevetului: **30/09/2016** BOPI nr. **9/2016**

(41) Data publicării cererii:
29/04/2011 BOPI nr. **4/2011**

(73) Titular:
• **INSTITUTUL NAȚIONAL DE CERCETARE
DEZVOLTARE PENTRU FIZICĂ TEHNICĂ -
IFT IAȘI,**
*BD.PROF.DR.DOC.DIMITRIE MANGERON
NR.47, IAȘI, IS, RO*

(72) Inventatori:
• **GRIMBERG RAIMOND, BD. TUTORA
NR.1, BL.V1, SC.A, ET.9, AP.40, IAȘI, IS,
RO;**
• **SAVIN ADRIANA, STR. ȘTEJAR NR.55,
BL. M1, SC.E, AP.9, IAȘI, IS, RO**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
**US 7560920 B1; JPS 5784350 A;
DE 3511768 A1**

(54) **TRADUCTOR ELECTROMAGNETIC PENTRU EVALUAREA
STRUCTURII ȘI INTEGRITĂȚII MATERIALELOR COMPOZITE
CU MATRICE POLIMERICĂ RANFORSATĂ CU FIBRE DE
CARBON**



1 Invenția se referă la un traductor electromagnetic pentru evaluarea structurii și integrității materialelor compozite cu matrice polimerică armată cu fibre de carbon.

3 Pentru evaluarea structurii și integrității materialelor compozite cu matrice polimerică armată cu fibre de carbon, se cunosc aparatul și metoda de control prin curenți turbionari de
5 scanare și detecție a crăpăturilor și a altor defecte de suprafață [Tianhe Ouyang, Yushi Sun, „*Aparatus and method for eddy current scanning at a surface to detect cracks and other defects*” Patent no. US 7.560.920 B1, Date of Patent Jul.14, 2009]. Aparatul folosește, pentru generarea câmpului electromagnetic ce induce în obiectul de examinat
7 curenți turbionari, mai multe bobine dispuse într-o arie, realizate sub formă de bobine plate pe un suport dielectric flexibil. Aceleași bobine sunt utilizate și pentru detecția câmpului mag-
9 netic generat de curenții turbionari induși, precum și modificărilor acestora, datorită neomogenităților de material care conduc la modificarea amplitudinii și fazei semnalelor induse. Metoda propusă se bazează pe o scanare electronică a bobinelor din arie, nemaifiind nevoie de deplasarea fizică a ariei de senzori.

15 Este, de asemenea, cunoscută metoda de detectare a fisurilor materialelor conduc-
toare utilizând senzori magnetorezistivi și concentratoare de flux [Russell A. Wincheski,
17 Min Namkung, John W. Simpson “*Magnetorezistive flux focusing eddy current flow detection*” Patent No. US 6.888.346 B2, Date of patent May 3, 2005]. Curenții turbionari,
19 care se induc în materialul conductor de examinat, care poate fi și multistrat, se datorează unui flux magnetic variabil în timp, creat de o bobină de excitație orientată paralel cu supra-
21 fața de examinat. Un senzor magnetorezistiv gigant detectează câmpul magnetic creat de curenții turbionari. Între bobina de excitație și senzorul de detecție se utilizează o lentilă care
23 focalizează fluxul magnetic creat cu materiale cu permeabilitate magnetică ridicată, și care separă magnetic senzorul de detecție de bobina de excitație.

25 Dezavantajele principale ale traductorilor și echipamentelor cunoscute constau în rezoluția lor spațială mică, ceea ce împiedică observarea unor corpuri conductoare electric
27 de mici dimensiuni, înglobate în matrice izolatoare electric, raport semnal/zgomot redus, ceea ce conduce la sensibilități mici și influențe puternice ale factorilor de mediu cum ar fi
29 temperatura, efecte deosebit de importante ale colțurilor și muchiilor obiectelor de examinat care perturbă, în mod esențial, examinarea în aceste regiuni.

31 Problema tehnică pe care o rezolvă invenția constă în creșterea rezoluției spațiale a traductorului, utilizând undele evanescente, și detectarea discontinuităților cu dimensiuni
33 micrometrice.

35 Traductorul electromagnetic pentru evaluarea structurii și integrității materialelor com-
pозite, conform invenției, este constituit dintr-o parte de emisie și una de recepție, în care
37 partea de emisie este realizată dintr-o bobină de emisie care creează câmpul electromag-
netic incident, și un concentrator de flux magnetic alternativ, realizat cu un metamaterial tron-
39 conic ce concentrează fluxul magnetic al câmpului, precum și partea de recepție, care este formată dintr-o bobină de recepție și o lentilă electromagnetică realizată din două meta-
41 materiale tronconice, cu bazele mari față în față, la distanță mică, ce focalizează undele electromagnetice evanescente difractate de fibrele de carbon din materialul compozit de exa-
43 minat, și care induce în bobina de recepție o tensiune electromotoare alternativă, detectată în amplitudine și fază, dependente de tipul și structura armării.

Prin aplicarea invenției se obțin următoarele avantaje:

45 - traductorul electromagnetic poate fi utilizat pentru manipularea undelor evanescente care apar în spațiile dintre fibrele de carbon, conducând la o îmbunătățire a rezoluției
47 spațiale (care reprezintă distanța dintre două puncte distinct vizibile), putându-se pune în evidență defecte cu dimensiuni microscopice;

RO 126245 B1

- lipsa adezivului din realizarea traductorului asigură o tangentă de pierderi foarte mică în radiofrecvență;	1
- geometria metamaterialului, sub formă de trunchi de con, conduce la o concentrare puternică a fluxului magnetic emis.	3
Se dă în continuare un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figurile ce reprezintă:	5
- fig. 1, schema traductorului;	7
- fig. 2, schema de conexiune a traductorului.	
Traductorul electromagnetic pentru evaluarea structurii și integrității materialelor compozite, conform invenției, este de tip emisie-recepție absolut, funcționând în radiofrecvență.	9
Traductorul, în cazul de față, utilizează metamateriale atât în partea de emisie, cât și în cea de recepție. Metamaterialul utilizat în realizarea traductorului se obține prin înfășurarea cu pas constant a unei secțiuni de coroană circulară realizată dintr-o folie de cupru laminată simultan cu o folie de poliimidă, fără adezivi între ele, pe un suport tronconic, pentru a obține un număr n de spire. Lipsa adezivului asigură o tangentă de pierderi foarte mică în radiofrecvență. Partea de emisie este formată dintr-o bobină de emisie conectată la un generator de radiofrecvență funcționând între zeci și sute de MHz. Aceasta creează un flux magnetic alternativ, care este concentrat cu ajutorul metamaterialului realizat dintr-un număr n de straturi de spire conductoare izolate, înfășurate pe un suport tronconic [Wiltshire Michael, Charles Keogh, " <i>Structures with magnetic properties</i> ", patent no. WO 03/032438 A1, International Publication Date 17 April 2003] ce diferă de forma clasică, cilindrică. Pentru anumite frecvențe, în gama sus precizată, acest tip de metamaterial prezintă o permeabilitate magnetică relativă efectivă de ordinul zecilor, ceea ce, împreună cu geometria acestuia sub formă de trunchi de con, conduce la o concentrare puternică a fluxului magnetic emis. Partea de recepție este formată dintr-o bobină de recepție plasată la partea superioară a unei lentile realizată cu astfel de metamateriale având bazele mari dispuse față în față, la distanță mică. Metamaterialul obținut prezintă permeabilitatea magnetică efectivă maximă la frecvențe apropiate de cea la care funcționează concentratorul de flux magnetic. Traductorul este plasat pe un suport fix, obiectul de examinat putând fi deplasat cu viteză relativ constantă, baleind astfel întreaga suprafață de examinat, pasul de baleiere fiind mai mic decât diametrul regiunii unde este concentrat fluxul magnetic alternativ, creat de bobina de emisie. Fibrele de carbon ce alcătuiesc armarea materialului compozit de examinat se comportă ca o structură de conductoare electrice rectilinii, care sunt supuse acțiunii unui flux magnetic alternativ concentrat. Acestea vor difracta acest flux și, în apropiere de suprafața compozitului, vor apărea unde electromagnetice evanescente, care se atenuează extrem de rapid odată cu creșterea distanței față de suprafața compozitului examinat. Lentila realizată din două metamateriale tronconice permite trecerea undelor evanescente cu atenuare foarte mică, pe care le concentrează pe suprafața bobinei de recepție. La bornele bobinei de recepție se va obține un semnal electric alternativ de aceeași frecvență cu cel utilizat la crearea fluxului de emisie, și care va avea o periodicitate spațială care poate furniza informații asupra distribuției fibrelor de carbon din compozit.	11
	13
	15
	17
	19
	21
	23
	25
	27
	29
	31
	33
	35
	37
	39
	41
Semnalul electric furnizat de bobina de recepție poate fi detectat în amplitudine și fază.	43
Așadar, traductorul electromagnetic, conform invenției, conține o parte de emisie formată dintr-o bobină E_m și un concentrator A de flux magnetic alternativ cu metamateriale tronconic. Concentratorul A de flux este realizat prin înfășurarea unui număr precizat de straturi, pe un suport tronconic, a unei secțiuni de coroană circulară realizată dintr-o folie de material conductor laminată împreună cu o folie dielectrică. După bobinare și fixarea straturilor, suportul este extras. Frecvența la care capacitatea de concentrare a fluxului magnetic	45
	47
	49

RO 126245 B1

1 este maximă depinde de diametrele bazei mari și a celei mici a suportului, precum și de
2 numărul de straturi și de permitivitatea dielectrică a foliei de izolator. Partea de emisie se ali-
3 mentează cu un curent alternativ de la un generator **GF** de funcții, generând un flux magnetic
4 alternativ, concentrat cu ajutorul concentratorului **A** de flux, care se reflectă pe fibrele de
5 carbon ale materialului compozit de examinat. Fluxul magnetic reflectat, precum și cel creat
6 de undele evanescente sunt concentrate cu ajutorul lentilei **B** realizată din două metamate-
7 riale tronconice, având bazele mari față în față, la o distanță mică una de cealaltă.

8 Undele evanescente create prin difracția fluxului magnetic generat de partea de
9 emisie a traductorului vor trece prin lentila cu metamateriale, practic fără a fi atenuate, fapt
10 ce conduce la îmbunătățirea substanțială a rezoluției spațiale a traductorului, inducând la
11 bornele bobinei de recepție **Re** o tensiune electromotoare alternativă ale cărei amplitudine
12 și fază depind de starea fibrelor de carbon din compozit. Această tensiune electromotoare
13 este amplificată și detectată într-un amplificator lock-in **AL**, furnizând două informații, și
14 anume, amplitudinea și, respectiv, faza tensiunii induse. Drept referință servește semnalul
15 obținut de la generatorul de funcții **GF**. Pentru examinarea întregii suprafețe a materialului
16 compozit de controlat, se utilizează un sistem de deplasare **SD** pe două direcții ortogonale,
17 care asigură mișcarea relativă în planul XY a obiectului de controlat în raport cu traductorul.
18 Pasul de deplasare pe cele două direcții ortogonale trebuie să fie mai mic decât raza zonei
19 în care este concentrat fluxul magnetic alternativ de emisie (raza mică a metamaterialului
20 tronconic utilizat în partea de emisie (**A**)). Prin intermediul unei interfețe de instrumentație
21 **II** se reglează frecvența și amplitudinea semnalului furnizat de generatorul **GF** de funcții,
22 parametrii de funcționare a amplificatorului lock-in **AL**, distanța de baleiere și pasul de
23 baleiere după cele două axe ortogonale X și Y , precum și momentele și durata de timp în
24 care se fac achiziția și salvarea datelor în calculatorul electronic **PC** care comandă întregul
25 echipament. Tot pe acest calculator pot fi prezentate, în baza unor programe adecvate,
26 rezultatele controlului.

27 Se prezintă un caz concret de realizare a traductorului conform invenției, care
28 conține:

29 - o parte de emisie formată dintr-o bobină circulară plană **Em**, care conține două spire
30 cu diametrul 16 mm, din sârmă **CuEm** (cu diametrul de 1,2 mm), și un concentrator **A** de flux
31 magnetic, realizat dintr-un număr de 3 straturi de spire conductoare, alcătuite dintr-o secțiune
32 de coroană circulară realizată dintr-o folie de cupru cu grosime de 18 μm , și o folie de
33 poliimidă cu grosimea de 12 μm (lamine simultan, fără adezivi între straturi), înfășurate pe
34 o mandrină tronconică, având unghi la vârf de 20°, înălțimea 55 mm, baza mare 20 mm și
35 baza mică 3,2 mm. Această înfășurare tronconică ce constituie concentratorul de flux repre-
36 zintă un element de metamaterial, care, datorită geometriei, realizează o concentrare puter-
37 nică de flux magnetic de radiofrecvență. Cu toate că materialul din care este confecționat
38 concentratorul de flux este un material paramagnetic, deci permeabilitatea sa magnetică în
39 accepțiunea clasică ar trebui să fie 1, într-o gamă de frecvențe foarte îngustă, permeabili-
40 tatea magnetică efectivă a acestui metamaterial este negativă (depinzând de frecvență),
41 atingând valoarea maximă 24 la frecvența de rezonanță de 105 MHz;

42 - o parte de recepție, formată din bobina **Re** de recepție, ce are o spiră cu diametrul
43 mediu de 0,1 mm, din sârmă **CuEm** (cu diametrul de 0,1 mm), plasată în focarul imagine al
44 lentilei, formată din metamaterialul tronconic, și care poate conduce fluxul magnetic de la
45 obiect (fibrele de carbon din compozit) la un detector îndepărtat (bobina de recepție).

46 Pentru o baleiere a zonei de interes a materialului compozit, sistemul de deplasare
47 pe două direcții ortogonale asigură mișcarea relativă a materialului în raport cu traductorul.

RO 126245 B1

Partea de emisie a traductorului se alimentează cu un curent alternativ cu frecvență
reglabilă de la zeci la sute de megahertzi, și care asigură un câmp magnetic alternativ, al
cărui flux este concentrat de metamaterial către obiectul de inspectat a cărui distribuție
spațială din material și din proximitatea acestuia va fi modificată în funcție de caracteristicile
sale electromagnetice (împrăștierea undelor pe fibrele de carbon din compozit include atât
undele care se propagă, cât și undele evanescente care transportă detalii de sub lungimea
de undă a obiectului), ceea ce conduce la schimbarea fluxului inducției magnetice care
traversează lentila **B** către bobina de recepție **Re**.

RO 126245 B1

Revendicare

1

3

5

7

9

11

Traductor electromagnetic pentru evaluarea structurii și integrității materialelor compozite, constituit dintr-o parte de emisie și una de recepție, **caracterizat prin aceea că** partea de emisie este realizată dintr-o bobină (**Em**) de emisie care creează câmpul electromagnetic incident, și un concentrator (**A**) de flux magnetic alternativ, realizat cu un metamaterial tronconic ce concentrează fluxul magnetic al câmpului, precum și partea de recepție, care este formată dintr-o bobină (**Re**) de recepție și o lentilă (**B**) electromagnetică, realizată din două metamateriale tronconice cu bazele mari față în față, la distanță mică, ce focalizează undele electromagnetice evanescente difractate de fibrele de carbon din materialul compozit de examinat, și care induce în bobina (**Re**) de recepție o tensiune electromotoare alternativă, detectată în amplitudine și fază, dependente de tipul și structura armării.

(51) Int.Cl.

G01R 33/3415 (2006.01),

G01N 27/82 (2006.01)

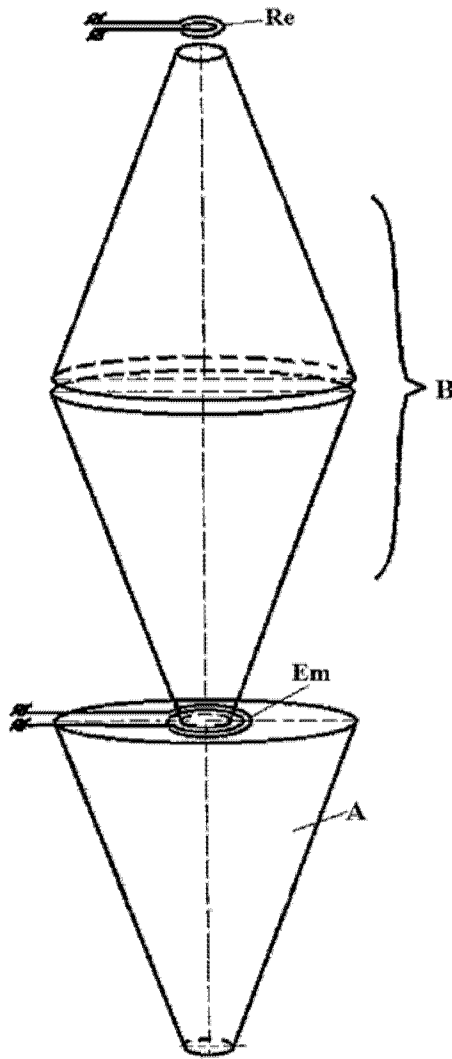


Fig. 1

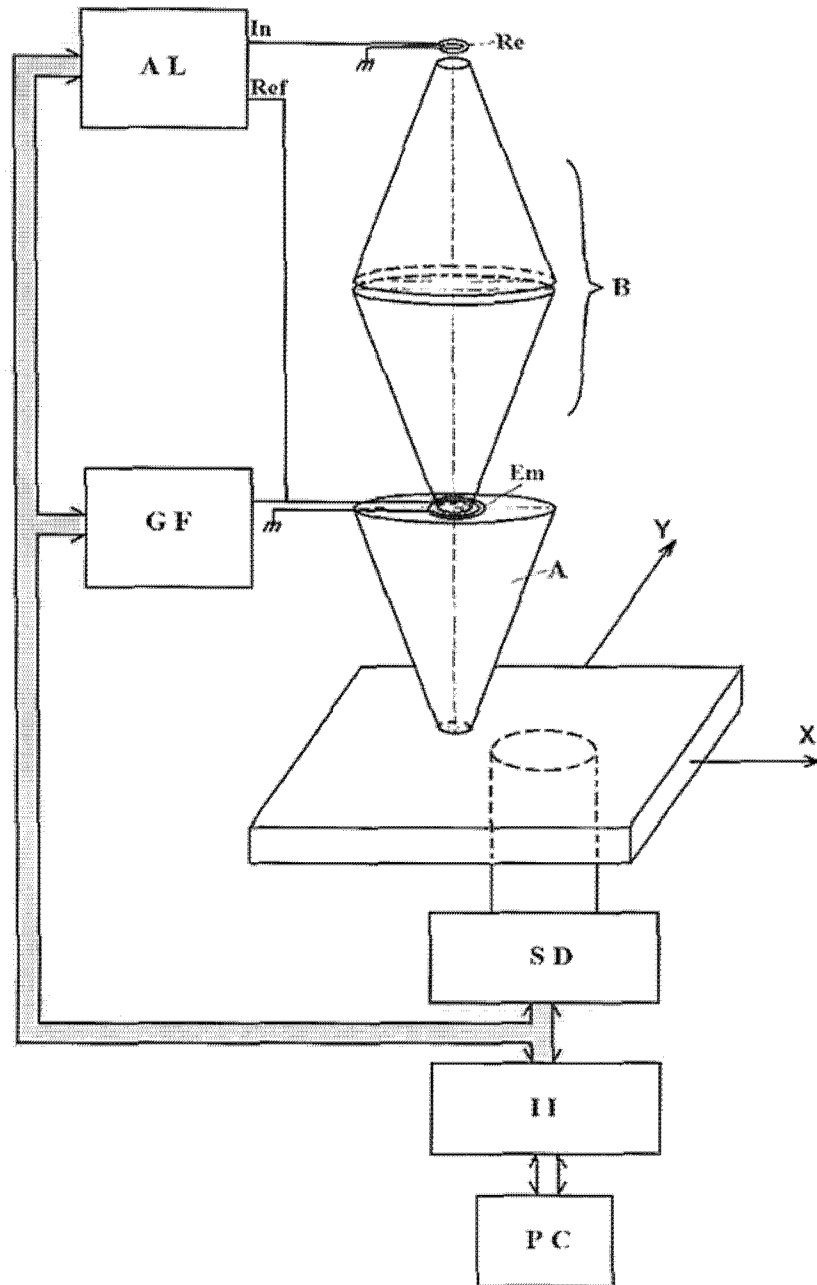


Fig. 2

