

(12) CERERE DE BREVET DE INVENȚIE

(21) Nr. cerere: a 2019 00924

(22) Data de depozit: 20/06/2018

(30) Prioritate:

23/06/2017 US 62/524, 113

(41) Data publicării cererii:

30/06/2020 BOPI nr. 6/2020

(86) Cerere internațională PCT:

Nr. CA 2018/050751 20/06/2018

(87) Publicare internațională:

Nr. WO 2018/232508 27/12/2018

(71) Solicitant:

• CANDU ENERGY INC.,
2251 SPEAKMAN DRIVE, MISSISSAUGA,
L5K1B2, ONTARIO, CA

(72) Inventatori:

• DROSSIS JOHN,
C/O CANDU ENERGY INC., 2285
SPEAKMAN DRIVE, MISSISSAUGA,
L5K1B1, ONTARIO, CA;

• DI CARLO KEVIN,

65 KILDONAN CRESCENT, WATERDOWN,
ONTARIO L8B0P8, CA;

• JAMIESON ROBERT WILLIAM,
73 BIRCHVIEW CRESCENT M6P 3H9,
TORONTO, ONTARIO, CA;

• ROWE RON, C/O CANDU ENERGY INC.,
2285 SPEAKMAN DRIVE, MISSISSAUGA,
ONTARIO L5K1B1, CA;

• DEADMAN JASON, 4968 TRAFALGAR
ROAD, GEORGETOWN, ONTARIO,
L7G 4S4, CA

(74) Mandatar:

ROMINVENT S.A.,
STR. ERMIL PANGRATTI NR.35,
SECTOR 1, BUCUREȘTI

(54) INSTRUMENT ȘI METODĂ DE INSPECTARE
PENTRU UN ANSAMBLU DE CANALE DE COMBUSTIBIL
AL UNUI REACTOR NUCLEAR

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un sistem și metodă de inspectare a unei suprafețe interioare a unui element dintr-un reactor nuclear. Sistemul, conform invenției, cuprinde un instrument de inspectare incluzând o cameră pentru captarea datelor de imagine ale suprafeței interioare a elementului, un sistem de control al instrumentului, care comunică cu instrumentul de inspectare, pentru poziționarea camerei, și o stație de lucru configurată să recepționeze date de imagine capturate cu camera, să detecteze cel puțin un defect în cadrul datelor de imagine, și să genereze și să furnizeze un raport de inspecție care include datele de imagine recepționate și datele referitoare la cel puțin un defect.

Revendicări: 34

Figuri: 14

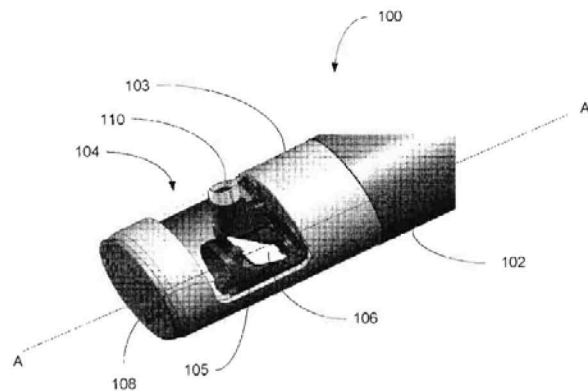


Fig. 3

Cu începere de la data publicării cererii de brevet, cererea asigură, în mod provizoriu, solicitantului, protecția conferită potrivit dispozițiilor art.32 din Legea nr.64/1991, cu excepția cazurilor în care cererea de brevet de invenție a fost respinsă, retrasă sau considerată ca fiind retrasă. Întinderea protecției conferite de cererea de brevet de invenție este determinată de revendicările conținute în cererea publicată în conformitate cu art.23 alin.(1) - (3).



129

OFICIUL DE STAT PENTRU INVENȚII ȘI MĂRCI
Cerere de brevet de invenție
Nr. a 2019 00 924
Data depozit 20.06.2018

INSTRUMENT ȘI METODĂ DE INSPECTARE PENTRU UN ANSAMBLU DE CANALE DE COMBUSTIBIL AL UNUI REACTOR NUCLEAR

REFERIRE LA CERERI ASOCIATE

[0001] Această cerere revendică toate avantajele, inclusiv prioritatea cererii de brevet provizorie US 62/524,113 înregistrată la 23 iunie 2017 și intitulată „INSTRUMENT ȘI METODĂ DE INSPECTARE PENTRU UN ANSAMBLU DE CANALE DE COMBUSTIBIL AL UNUI REACTOR NUCLEAR”, a cărei integralitate este încorporată aici prin citare.

DOMENIAL INVENȚIEI

[0002] Exemplele de realizare descrise aici se referă la metode și sisteme de inspectare a unei componente inelare, cum ar fi o gaură a unei plăci de tuburi calandria sau o porție de burduf a unui ansamblu de canale de combustibil al reactorului nuclear.

CONTEXTUL INVENȚIEI

[0003] Un reactor nuclear are o durată de funcționare limitată. De exemplu, reactoarele de tip CANDU™ („CANada Deuterium Uranium”) din a doua generație sunt proiectate să funcționeze aproximativ 25-30 de ani. După acest timp, canalele de combustibil existente pot fi eliminate și pot fi instalate noi canale de combustibil. Efectuarea acestui proces de „re-tubare” poate prelungi semnificativ viața unui reactor, ca o alternativă la dezafectarea reactorului. Procesele de re-tubare a reactorului nuclear includ îndepărtarea unui număr mare de componente ale reactorului și includ diferite alte activități, cum ar fi oprirea reactorului, pregătirea bolții și instalarea echipamentelor de manipulare a materialelor și a diferitelor platforme și suporturi de echipamente. Procesul de îndepărtare poate include, de asemenea, scoaterea dopurilor de închidere și poziționarea ansamblurilor de armături, deconectarea ansamblurilor de alimentare, tăierea burdufurilor, îndepărtarea fittingurilor de capăt, eliberarea și îndepărtarea inserțiilor tuburilor calandria, și tăierea și îndepărtarea tuburilor sub presiune și a tuburilor calandria.

[0004] După ce procesul de îndepărtare este complet, se efectuează de obicei un proces de inspectare și instalare. De exemplu, plăcile de tuburi poziționate la fiecare capăt al reactorului pot include o multitudine de găuri, fiecare dintre acestea susținând un ansamblu de canale de combustibil care se întinde între plăcile de tuburi. Atunci când un ansamblu de canale de combustibil este îndepărtat, fiecare gaură de placă de tuburi este inspectată pentru a se asigura că îndepărtarea ansamblului de canale de combustibil nu a deteriorat gaura plăcii de tuburi și că gaura plăcii de tuburi este gata pentru instalarea unui nou ansamblu de canale de combustibil.

REZUMAT

[0005] O gaură de placă de tuburi poate fi inspectată manual (vizual), dar acest proces consumă timp, este subiectiv și poate duce la sub-inspectarea sau supra-inspectarea unei găuri particulare. De exemplu, întrucât un reactor nuclear poate genera aproximativ 1 milion până la 2 milioane de dolari pe zi atunci când este operațional, orice întârzieri în timpul procesului de re-tubare se pot traduce în venituri pierdute de milioane de dolari. Astfel, pentru multe reactoare (inclusiv reactoarele de tip CANDU™ descrise mai sus), un instrument avansat de inspectare capabil să efectueze inspectarea eficientă a găurii plăcii de tuburi asociată cu fiecare ansamblu de canale de combustibil, ar fi o îmbunătățire binevenită.

[0006] În consecință, exemplele de realizare descrise aici furnizează instrumente și metode de inspectare a găurilor plăcii de tuburi pentru a fluidiza și automatiza cel puțin parțial o mare parte a procesului de efectuare a inspecției vizuale a găurilor plăcii de tuburi *in situ* într-un reactor nuclear. De exemplu, un exemplu de realizare furnizează un sistem pentru inspectarea unei suprafețe interioare a unui element dintr-un reactor nuclear. Sistemul include un instrument de inspectare care include o cameră, un sistem de control al instrumentului care comunică cu instrumentul de inspectare pentru a controla o poziție rotativă a instrumentului de inspectare, și o stație de lucru. Stația de lucru poate fi configurată pentru a primi date de imagine capturate cu camera la fiecare dintr-o multitudine de poziții de rotație ale instrumentului de inspectare, generarea unei imagini panoramice bazată pe datele de imagine, detectarea automată a cel puțin unui defect în cadrul imaginii

panoramice și generarea și furnizarea unui raport de inspecție, raportul de inspecție incluzând imaginea panoramică și datele referitoare la cel puțin un defect.

[0007] În conformitate cu un aspect, este prevăzut un sistem de inspecție a unei suprafețe interioare a unui element dintr-un reactor nuclear. Sistemul include: un instrument de inspecție care include o cameră pentru capturarea datelor de imagine ale suprafeței interioare a elementului; un sistem de control al instrumentului care comunică cu instrumentul de inspecție și pentru poziționarea camerei; și o stație de lucru. Stația de lucru este configurată să: recepționeze date de imagine capturate cu camera, să detecteze cel puțin un defect din datele de imagine și să genereze și să furnizeze un raport de inspecție, raportul de inspecție incluzând datele de imagine primite și datele referitoare la acel cel puțin un defect.

[0008] În conformitate cu un alt aspect, este prevăzută o metodă de inspecție a unei suprafețe interioare a unui element dintr-un reactor nuclear. Metoda include: capturarea datelor de imagine a suprafeței interioare a elementului folosind o cameră a unui instrument de inspecție introdus în element; detectarea a cel puțin unui defect în cadrul datelor de imagine capturate; marcarea aceluși cel puțin unui defect din datele de imagine capturate; și afișarea datelor de imagine capturate cu cel puțin un defect marcat.

[0009] Alte aspecte ale invenției vor deveni evidente luând în considerare descrierea detaliată și desenele însoțitoare.

SCURTĂ DESCRIERE A DESENELOR

[0010] FIG. 1 este o vedere în perspectivă a unui reactor tip CANDU™.

[0011] FIG. 2 este o vedere secționată a unui ansamblu de canale de combustibil ale unui reactor nuclear tip CANDU™.

[0012] FIG. 3 este o vedere în perspectivă a unui instrument de inspecție conform unui exemplu de realizare.

[0013] FIG. 4 este o vedere în perspectivă a carcusei de oglindă inclusă în instrumentul de inspecție din FIG. 3.

[0014] FIG. 5 ilustrează schematic un sistem de inspecție incluzând instrumentul de inspecție din FIG. 3 conform unui exemplu de realizare.

[0015] FIG. 6 este o diagramă care ilustrează o metodă de inspecție a găurii unei plăci de tuburi realizată de sistemul din FIG. 5, conform unui exemplu de realizare.

[0016] FIG. 7 ilustrează exemple de date de imagine colectate de o cameră inclusă în instrumentul de inspectare din FIG. 3.

[0017] FIG. 8 ilustrează un exemplu de vedere panoramică generată de sistemul din FIG. 5 pe baza datelor de imagine colectate de camera inclusă în instrumentul de inspectare din FIG. 3.

[0018] FIG. 9 ilustrează exemple de date de imagine colectate de o cameră inclusă într-un instrument de inspectare utilizat pentru inspectarea burdufului unui reactor nuclear.

[0019] FIG. 10 ilustrează un exemplu de regiune de interes identificată în imaginea din FIG. 9, și o bandă dreptunghiulară plană reprezentând o regiune inelară de interes identificată în imaginea din FIG. 10.

[0020] FIG. 11 ilustrează un exemplu de imagine panoramică generată pentru o regiune de interes a unui burduf.

[0021] FIG. 12 ilustrează un filtru gradient aplicat imaginii panoramice din FIG. 11.

[0022] FIG. 13 ilustrează exemple de măsurători de burduf calculate din datele de imagine.

[0023] FIG. 14 ilustrează un exemplu de imagine panoramică suprapusă cu un sistem de coordonate în scopuri de raportare.

DESCRIEREA DETALIATĂ

[0024] Înainte de explicarea detaliată a oricărui exemplu de realizare a invenției, trebuie înțeles că invenția nu se limitează în aplicarea sa la detaliile construcției și la aranjamentul componentelor prezentate în descrierea următoare sau ilustrate în desene însoțitoare. Invenția este capabilă de alte exemple de realizare și de a fi practică sau de a fi realizată în diferite moduri.

[0025] FIG. 1 este o perspectivă a unui miez al reactorului unui reactor tip CANDU™ 6. Miezul reactorului este conținut în mod tipic într-o boltă care este sigilată cu un blocaj de aer pentru controlul și protecția radiațiilor. Miezul reactorului este conținut în mod tipic într-o boltă care este sigilată cu un blocaj de aer pentru controlul și protecția radiațiilor. Deși aspectele instrumentului de inspectare sunt descrise cu referire specială la reactorul de tip CANDU™ 6 pentru comoditate, instrumentul de inspectare nu se limitează la reactoarele de tip CANDU™ și poate fi util în afara acestui domeniu particular. Revenind la FIG. 1, un vas în general cilindric, cunoscut

sub numele de calandria 10 al reactorului tip CANDU™ 6, conține un moderator de apă grea. Calandria 10 are o carcasă inelară 14 și o placă de tuburi 18 la un prim capăt 22 și la un al doilea capăt 24. Plăcile de tuburi 18 includ o multitudine de deschideri (denumite aici "găuri") care acceptă fiecare un ansamblu de canale de combustibil 28. Așa cum se arată în FIG. 1, un număr de ansambluri de canale de combustibil 28 trece prin plăcile de tuburi 18 ale calandria 10 de la primul capăt 22 la al doilea capăt 24.

[0026] La fel ca în exemplul de realizare ilustrat, în unele exemple de realizare, miezul reactorului este prevăzut cu doi pereți la fiecare capăt 22, 24 al miezului de reactor: un perete interior definit de placa de tuburi 18 la fiecare capăt 22, 24 al miezului reactorului și un peretele exterior 64 (denumit adesea "scut de capăt") amplasat la o distanță în exteriorul de placa de tuburi 18 la fiecare capăt 22, 24 al miezului reactorului. Un tub de grătar 65 se extinde pe distanța dintre placa de tuburi 18 și scutul de capăt 64 la fiecare pereche de găuri (adică în placa de tuburi 18 și respectiv scutul de capăt 64).

[0027] FIG. 2 este o vedere secționată a unui ansamblu de canale de combustibil 28 al miezului de reactor ilustrat în Figura 1. Așa cum este ilustrat în Figura 2, fiecare ansamblu de canale de combustibil 28 include un tub calandria ("CT") 32 care înconjoară alte componente ale ansamblului de canale de combustibil 28. Tuburile CT 32 acoperă fiecare distanța dintre plăcile de tuburi 18. De asemenea, capetele opuse ale fiecărui CT 32 sunt primite în interior și sigilate la nivelul deschiderilor respective din plăcile de tuburi 18. În unele exemple de realizare, se folosește o inserție de îmbinare laminată la CT 34 pentru a fixa CT 32 la placa de tuburi 18 în interiorul găurilor. Un tub de presiune ("PT") 36 formează un perete interior al ansamblului de canale de combustibil 28. PT 36 asigură o conductă pentru agentul de răcire al reactorului și fasciculele sau ansamblurile de combustibil 40. PT 36, de exemplu, susține în general două sau mai multe ansambluri de combustibil 40 și acționează ca o conductă pentru agentul de răcire al reactorului care trece prin fiecare ansamblu de combustibil 40. Un spațiu inelar 44 este definit de un gol între fiecare PT 36 și CT 32 corespunzător. Spațiul inelar 44 este umplut în mod normal cu un gaz circulant, cum ar fi dioxid de carbon uscat, heliu, azot, aer sau amestecuri ale acestora. Unul sau mai multe distanțiere inelare sau arcuri cu manșetă 48 sunt dispuse între CT 32 și PT 36. Distanțierele inelare 48 mențin golul dintre PT 36 și CT

32 corespunzător, permițând în același timp trecerea gazului inelare prin și în jurul distanțierelor inelare 48.

[0028] Așa cum se arată și în FIG. 2, fiecare capăt al fiecărui ansamblu de canale de combustibil 28 este prevăzut cu un fitting de capăt 50 situat în afara plăcii de tuburi 18 corespunzătoare. La capătul terminal al fiecărui fitting de capăt 50, este prevăzut un dop de închidere 52. Fiecare fitting de capăt 50 include de asemenea un ansamblu de alimentare 54. Ansamblurile de alimentare 54 alimentează agentul de răcire al reactorului în sau îndepărtează agentul de răcire al reactorului din tuburile PT 36 prin intermediul tuburilor de alimentare 59 (FIG. 1). În particular, pentru un singur ansamblu de canale de combustibil 28, ansamblul de alimentare 54 de la un capăt al ansamblului de canale de combustibil 28 acționează ca un alimentator de intrare, iar ansamblul de alimentare 54 de la capătul opus al ansamblului de canale de combustibil 28 acționează ca un alimentator de ieșire. Așa cum se arată în FIG. 2, ansamblurile de alimentare 54 pot fi atașate la fittingurile de capăt 50 folosind un ansamblu de cuplare 56 care include un număr de șuruburi, șaibe, garnituri și/sau alte tipuri de conectori. Tubul de grătar 65 (descriș mai sus) înglobează conexiunea dintre fittingul de capăt 50 și PT 36 care conține ansamblurile de combustibil 40. Rulmenții cu bile de protecție 66 și apa de răcire înconjoară exteriorul tuburilor de grătar 65, ceea ce oferă o protecție suplimentară împotriva radiațiilor.

[0029] Revenind la FIG. 2, un ansamblu armătură de poziționare 60 și burduf 62 sunt de asemenea cuplate la fiecare fitting de capăt 50. Burduful 62 lasă ansamblurile de canale de combustibil 28 să se miște axial - o capacitate care poate fi importantă atunci când ansamblurile de canale de combustibil 28 suferă modificări de lungime în timp, ceea ce este frecvent în multe reactoare. Ansamblurile de armături de poziționare 60 pot fi utilizate pentru a seta un capăt al unui ansamblu de canale de combustibil 28, fie într-o configurație blocată care fixează poziția axială, fie într-o configurație deblocată. Ansamblurile de armături de poziționare 60 sunt de asemenea cuplate la scutul de capăt 64. Ansamblurile de armături de poziționare 60 ilustrate includ fiecare o tijă având un capăt care este primit într-o gaură a scutului de capăt 64. În unele exemple de realizare, capătul tijei și gaura din scutul de capăt 64 sunt filetate. Din nou, trebuie înțeles că, deși un reactor tip CANDU™ este ilustrat în Figurile 1-2, instrumentul de inspectare se poate aplica și altor tipuri de reactoare, inclusiv reactoarelor care au componente similare cu cele ilustrate în FIG. 1-2.

[0030] FIG. 3 și 4 ilustrează un instrument de inspectare 100 conform unui exemplu de realizare. Instrumentul de inspectare 100 include un suport 102 și un capac de capăt 103. Consola 102 (sau alte componente ale instrumentului 100) poate include o clemă de sprijin sau o altă interfață pentru instalarea instrumentului de inspectare 100 adiacent calandria 10 a reactorului nuclear, cum ar fi pe o masă de lucru mobilă. Masa de lucru sau o altă suprafață de sprijin care susține instrumentul de inspectare 100 poartă și sprijină instrumentul de inspectare 100 de la locație de grătar la locație de grătar (poziții pe fiecare parte a reactorului 6 definite de locațiile ansamblurilor de canale de combustibil 28 descrise mai sus) pe față calandria 10. În unele exemple de realizare, masa de lucru este mobilă lateral pe o direcție x (de exemplu, pe șine, pe un cărucior și altele asemenea), mobilă axial spre și depărtat de fața reactorului într-o direcție y, mobilă vertical într-o direcție z sau o combinație a acestora. Direcțiile x, y și z sunt marcate în FIG. 1. În unele exemple de realizare, consola 102 (sau alte componente ale instrumentului 100) interacționează, de asemenea, cu un sistem de control al instrumentului care include motoare sau alte acționatoare pentru controlul unei poziții a instrumentului de inspectare 100, cum ar fi rotația instrumentului 100 (mișcare radială), mișcarea axială a instrumentului 100 sau o combinație a acestora.

În unele exemple de realizare, sistemul de control al instrumentului poate cuprinde motoare sau alte acționatoare pentru controlul unei poziții a camerei 112 a instrumentului 100, cum ar fi rotația sau poziția de rotație a camerei 112 (mișcare radială), poziția axială sau mișcarea axială a camerei 112 sau o combinație a acestora. Sistemul de control al instrumentului poate controla poziția radială a camerei 112 sau a instrumentului 100 în raport cu o axă a unui element (de exemplu, rotirea camerei 112 sau a instrumentului 100 în raport cu o axă longitudinală a unui element către poziția de rotație dorită) a reactorul nuclear 6 care poate fi inspectat. Sistemul de control al instrumentului poate controla poziția axială a camerei 112 sau a instrumentului 100 în raport cu un element (de exemplu, deplasarea camerei 112 sau a instrumentului 100 de-a lungul unei axe longitudinale a unui element în poziția axială dorită) a reactorului nuclear 6 care poate fi inspectat.

[0031] Instrumentul 100 și metodele asociate descrise aici pot fi utilizate ca parte a unei proceduri de re-tubare a reactorului nuclear. În funcție de rezultatele inspecției și de componenta inspectată, componenta inspectată poate fi îndepărtată și înlocuită ca parte a procedurii de re-tubare, sau una sau mai multe operații pot fi efectuate pe

componentă *in situ* ca parte a procesului de re-tubare. Instrumentul de inspectare 100 și metodele asociate pot fi, de asemenea, utilizate în timpul altor procese, inclusiv în timpul fabricării, instalării sau întreținerii reactorului 6, indiferent dacă este realizată o re-tubare. De dragul discuției, discuția rămasă se referă la inspecția unei găuri a unei plăci de tuburi 18, dar aspectele instrumentului 100 și metodele de inspectare asociate nu se limitează la placa de tuburi 18. De exemplu, instrumentul 100 poate fi utilizat în mod similar pentru a inspecta un alt element al reactorului nuclear 6, cum ar fi o suprafață interioară a unui tub de grătar 65, un burduf 62, o gaură de protecție de capăt 64 și alte suprafețe interioare ale reactorului nuclear 6 care, altfel, pot fi dificil de inspectat.

[0032] După cum este ilustrat în FIG. 3 și 4, consola 102 și capacul de capăt 103 pot fi configurate cilindric pentru a fi poziționate într-o gaură de formă cilindrică a plăcii de tuburi. Cu toate acestea, în alte exemple de realizare, consola 102, capacul de capăt 103 sau ambele pot avea alte forme sau configurații. Capacul de capăt 103 ilustrat include un locaș 104. O carcasă de oglindă 105 este montată în locașul 104 și include o oglindă 106. Oglinda 106 poate avea o orientare înclinată în raport cu o axă longitudinală A, care se extinde de-a lungul lungimii consolai 102 și a capacului de capăt 103, cum ar fi aproximativ un unghi de 45 de grade față de axa A. Oglinda 106 poate fi menținută pe poziție de o consolă 108. În unele exemple de realizare, carcasa oglinzii 105 include, de asemenea, un mecanism alimentat de un motor (neprezentat) pentru a regla poziția (înclinarea sau pivotarea) oglinzii 106 în raport cu axa A. În acest exemplu de realizare, carcasa oglinzii 105 și/sau consola 108 poate include un mecanism de blocare, cum ar fi o blocare mecanică, pentru a împiedica mișcarea oglinzii 106. Alternativ, în unele exemple de realizare, oglinda 106 este fixată în carcasa 105 la un unghi fix.

[0033] După cum este ilustrat în FIG. 3 și 4, carcasa oglinzii 105 include o deschidere pentru a permite luminii care intră în locașul 104 să ajungă la oglinda 106. Deși nu este ilustrat în FIG. 3 sau 4, în unele exemple de realizare, o fereastră transparentă (formată din sticlă, acril, plastic sau alt material transparent) este poziționată pe capacul de capăt 103 pentru a închide cel puțin parțial locașul 104. Fereastra poate proteja carcasa oglinzii 105 de resturi și deteriorare în timpul utilizării instrumentului 100, lăsând totuși lumina să ajungă la oglinda 106. Locașul 104 poate include de asemenea alte componente, cum ar fi un tub de vid 110, care poate fi utilizat pentru a îndepărta praful sau alte resturi în timpul procesului de

inspectare. Tubul de vid 110 se poate extinde prin sau în jurul oricărei inchinte sau ferestre de pe locașul 104 pentru a stabili o comunicație de fluid între interiorul tubului de vid 110 și mediul exterior din jurul instrumentului 100. Locașul 104 poate include, de asemenea, cel puțin o sursă de lumină (care nu este prezentată; de exemplu, o sursă de lumină colimată, bec(uri), diode emițătoare de lumină și altele asemenea) configurate pentru a emite lumină vizibilă. În unele exemple de realizare, sursa de lumină este poziționată pentru a ilumina direct în afara locașului 104. LUMIna emisă de sursa de lumină poate fi reflectată de oglinda 106 pentru a direcționa lumina din locașul 104.

[0034] Instrumentul 100 cuprinde o cameră 112 care este poziționată în interiorul sau alăturat carcasei de oglindă 105, cum ar fi în interiorul capacului de capăt 103 sau al suportului 102 (a se vedea, de exemplu, FIG. 4). Camera 112 poate captura date de imagine ale suprafeței interioare a găurii. Camera 112 este poziționată spre interior față de oglinda 106 de-a lungul axei A. Camera 112 este orientată să captureze imagini de-a lungul axei A către un capăt axial al capacului de capăt 103 care, în timpul utilizării, este introdus într-o gaură a unei plăci de tuburi 18 sau o altă componentă a reactorului nuclear care este inspectată. Camera 112 poate fi o cameră digitală funcțională pentru a colecta imagini statice, imagini video continue sau o combinație a acestora printr-un senzor optic. Camera 112 poate fi o cameră color, o cameră alb-negru, o cameră cu infraroșu sau un alt tip de cameră adecvat. Camera 112 stochează imaginile colectate pe un dispozitiv electronic de stocare a datelor, cum ar fi o placă de memorie detașabilă sau o memorie internă a camerei 112. Imaginile colectate pot fi transmise și prin intermediul unei rețele către un dispozitiv de stocare extern. Una sau mai multe lentile pot fi poziționate în fața camerei 112 pentru a focaliza sau manipula lumina care ajunge la camera 112. Camera 112 poate ajusta de asemenea expunerea, cum ar fi printr-un iris sau diafragmă controlată automat sau manual. Această deschidere poate fi controlată și de software-ul de vizualizare al mașinii (descriș mai jos). În unele exemple de realizare, camera 112 include, de asemenea, cel puțin o sursă de lumină configurată pentru a emite lumină în afara locașului 104. Această sursă de lumină poate fi utilizată în locul sau în plus față de o sursă de lumină separată poziționată în locașul 104, descriș mai sus. Mai mult, în unele exemple de realizare, instrumentul de inspectare 100 include una sau mai multe lumini în alte poziții, cum ar fi pe o

suprafață exterioară a capacului de capăt 103, suportul 102 sau o combinație a acestora.

[0035] În unele exemple de realizare, camera 112 este orientată să captureze imagini de-a lungul unei axe care nu este paralelă cu axa A. De exemplu, camera 112 este orientată să captureze imagini de-a lungul unei axe care este, în general, perpendiculară în raport cu axa A. Într-un astfel de exemplu, camera 112 poate fi orientată să captureze imagini printr-o deschidere definită de instrumentul de inspectare 100, cum ar fi o deschidere definită în capacul de capăt 103. Sistemul de control al instrumentului poate cuprinde motoare sau alte acționatoare pentru controlul unei poziții a camerei 112, cum ar fi rotația sau poziția de rotație a camerei 112 (mișcare radială), poziția axială sau mișcarea axială a camerei 112 sau o combinație a acestora. Sistemul de control al instrumentului poate controla poziția radială a camerei 112 în raport cu o axă a unui element (de exemplu, rotirea camerei 112 în raport cu o axă longitudinală a unui element până la poziția de rotație dorită) al reactorului nuclear 6 care poate fi inspectat. Sistemul de control al instrumentului poate controla poziția axială a camerei 112 în raport cu un element (de exemplu, deplasarea camerei 112 de-a lungul unei axe longitudinale a unui element în poziția axială dorită) al reactorului nuclear 6 care poate fi inspectat. Camera 112 poate captura date de imagine într-o primă poziție, poziția camerei 112 poate fi schimbată axial sau rotativ de la prima poziție la a doua poziție, iar camera 112 poate captura date de imagine în a doua poziție.

[0036] Oglinda 106 din varianta de realizare ilustrată este poziționată pentru a reflecta lumina spre camera 112. De exemplu, cu camera 112 orientată să captureze imagini de-a lungul axei A, așa cum este descris mai sus, oglinda 106 poate fi poziționată la 45 de grade față de axa A pentru a oferi camerei 112 o vedere aproximativ în dreapta a unei găuri a plăcii de tuburi atunci când capacul de capăt 103 este poziționat în interiorul găurii. În unele exemple de realizare, instrumentul 100 poate să nu cuprindă o oglindă 106 atunci când camera 112 poate fi orientată să captureze imagini printr-o deschidere definită de instrumentul de inspectare 100.

[0037] După cum s-a menționat mai sus, instrumentul de inspectare 100 poate interfața cu un sistem de control al instrumentului, care poate controla mișcarea și poziționarea camerei 112 sau a instrumentului de inspectare 100. De exemplu, FIG. 5 ilustrează schematic un sistem de inspectare 200 conform unui exemplu de realizare. Sistemul ilustrat 200 include instrumentul de inspectare 100, un sistem de

control al instrumentului 202 și o stație de lucru 203. Instrumentul de inspectare 100 și sistemul de control al instrumentului 202 pot comunica fără fir sau printr-o conexiune cu fir. De exemplu, în unele exemple de realizare, instrumentul de inspectare 100 comunică cu sistemul de control al instrumentului 202 printr-o rețea de control și achiziție a datelor (SCADA) 204 asociată cu reactorul nuclear 6. După cum este ilustrat în FIG. 5, sistemul de control al instrumentului 202 poate include un procesor electronic, cum ar fi un controler logic programabil (PLC), un microprocesor, un circuit integrat specific aplicației (ASIC), un dispozitiv logic programabil (de exemplu, o tabelă de porți programabile pe câmpuri), sau un alt dispozitiv electronic adecvat configurat pentru a primi date de intrare, date de procesare (inclusiv intrarea primită) și date de ieșire. Sistemul de control al instrumentului 202 poate include și alte componente, cum ar fi un mediu netranzitoriu care poate fi citit de calculator, care stochează instrucțiuni executabile sau alte date sau una sau mai multe interfețe de comunicație pentru comunicația cu una sau mai multe rețele sau date sau linii sau magistrale de control. De exemplu, în unele exemple de realizare, sistemul de control al instrumentului 202 include un card interfață de rețea (NIC) pentru comunicația cu rețeaua SCADA 204. În unele exemple de realizare, sistemul de control al instrumentului 202 poate include, de asemenea, una sau mai multe interfețe om-mașină (HMI) pentru primirea unei intrări de la sau furnizarea unei ieșiri la un utilizator, cum ar fi o tastatură, o tastatură numerică, un buton, o manetă, ecran tactil, difuzor, afișaj, și altele asemenea.

[0038] După cum este ilustrat în FIG. 5, sistemul de control al instrumentului 202 comunică cu un controler local al instrumentului 206 inclus în instrumentul de inspectare 100. Controlerul local al instrumentului 206 acționează ca o interfață între sistemul de control al instrumentului 202 și unul sau mai multe motoare, acționatoare sau alte componente configurate pentru a schimba poziția camerei 112 sau a instrumentului de inspectare 100. De exemplu, așa cum este ilustrat în FIG. 5, instrumentul de inspectare 100 poate include un motor radial 208. Motorul radial 208 controlează o poziție radială (de rotație) a camerei 112 sau a instrumentului de inspectare 100 (de exemplu, cu creșteri de 1 grad). Deși motorul radial 208 este ilustrat în FIG. 5 ca fiind inclus în instrumentul de inspectare 100, în unele exemple de realizare, motorul radial 208 este extern instrumentului de inspectare 100. În unele exemple de realizare, instrumentul de inspectare 100 include sau folosește alte motoare, incluzând, de exemplu, un motor axial. Controlerul local al

instrumentului 206 poate oferi, de asemenea, feedback sistemului de control al instrumentului 202, cum ar fi poziția axială curentă sau poziția de rotație a camerei 112 sau a instrumentului de inspectare 100. De exemplu, motorul radial 208 poate fi asociat cu un codificator (axial sau rotativ) care detectează o poziție a motorului axial sau a motorului radial 208 și transformă poziția detectată într-un semnal electronic. Controlerul local al instrumentului 206 poate primi acest semnal de la codificator și poate transmite acest semnal către sistemul de control al instrumentului 202. După cum este descris mai detaliat mai jos, sistemul de control al instrumentului 202 poate trimite semnalul codificatorului la stația de lucru 203. Deși nu este ilustrat în FIG. 5, controlerul local al instrumentului 206 poate include un procesor electronic, un mediu netranzitoriu citibil de calculator, o interfață de comunicație sau o combinație a acestora, similară cu sistemul de control al instrumentului 202.

[0039] Stația de lucru 203 poate include un dispozitiv de calcul, cum ar fi calculator personal, laptop, calculator, terminal de calculator sau alt dispozitiv electronic. De exemplu, așa cum este ilustrat în FIG. 5, stația de lucru 203 include un procesor electronic 210 (de exemplu, un PLC, un microprocesor, un ASIC, un dispozitiv logic programabil sau un alt dispozitiv electronic adecvat configurat pentru a procesa date), un dispozitiv de stocare 212 și o interfață de comunicație 214. În unele exemple de realizare, stația de lucru 203 include și o HMI 216. Procesorul electronic 210, dispozitivul de stocare 212, interfața de comunicație 214 și HMI 216 sunt cuplate comunicativ pe una sau mai multe linii sau magistrale de comunicație, fără fir, sau combinații ale acestora. Trebuie înțeles că în alte construcții, stația de lucru 203 include componente suplimentare, mai puține sau diferite față de cele ilustrate în FIG. 5, cum ar fi mai multe dispozitive de stocare 212 sau mai multe HMI 216.

[0040] Dispozitivul de stocare 212 poate include un mediu de stocare citibil de calculator, netranzitoriu care stochează instrucțiuni și date despre program. Procesorul electronic 210 este configurat pentru a prelua instrucțiuni de la dispozitivul de stocare 212 și pentru a executa instrucțiunile pentru a efectua un set de funcții, inclusiv metodele descrise aici. HMI 216 primește o intrare de la și furnizează o ieșire la utilizatori, cum ar fi operatori sau alt personal care gestionează procesul de re-tubare pentru reactorul 6. HMI 216 poate include o tastatură, o tastatură numerică, un microfon, o cameră, un dispozitiv de control al cursorului (de exemplu, un mouse, un joystick, o bilă de urmărire, o tastatură tactilă și altele

asemenea), un afișaj (de exemplu, un afișaj cu cristale lichide (LCD), un afișaj cu diodă emițătoare de lumină (LED), un ecran tactil), un difuzor și altele asemenea.

[0041] Stația de lucru 203 comunică cu sistemul de control al instrumentului 202 (de exemplu, prin rețeaua SCADA 204) prin interfața de comunicație 214. În unele exemple de realizare, interfața de comunicație 214 include un dispozitiv de emisie-recepție fără fir pentru comunicația fără fir cu sistemul de control al instrumentului 202, cum ar fi dispozitivul de emisie-recepție cu frecvență radio (RF) pentru comunicația printr-o rețea de comunicații (de exemplu, Internet, o rețea cu arie locală, Wi-Fi, Bluetooth sau o combinație a acestora). În mod alternativ sau în plus, interfața de comunicație 214 poate include un port pentru primirea unui cablu, cum ar fi un cablu Ethernet, pentru comunicația cu sistemul de control al instrumentului 202 (printr-o conexiune cu fir dedicată sau printr-o rețea de comunicații). După cum este descris mai detaliat mai jos, stația de lucru 203 poate comunica cu sistemul de control al instrumentului 202 (de exemplu, prin rețeaua SCADA 204) pentru a emite instrucțiuni (semnale) pentru schimbarea poziției camerei 112 sau a instrumentului de inspectare 100. Sistemul de control al instrumentului 202 transmite aceste instrucțiuni la controlerul local al instrumentului 206 descris mai sus. Stația de lucru 203 poate comunica și cu sistemul de control al instrumentului 202 prin rețeaua SCADA 204 pentru a primi poziția axială sau poziția de rotație a camerei 112 sau a instrumentului de inspectare 100, care poate include un semnal de la un codificator, așa cum este descris mai sus. În unele exemple de realizare, stația de lucru 203 se autentifică cu sistemul de control al instrumentului 202 printr-un algoritm de înțelegere în scopuri de securitate și control.

[0042] După cum este ilustrat în FIG. 5, stația de lucru ilustrată 203 comunică, de asemenea, cu instrumentul de inspectare 100. În unele exemple de realizare, stația de lucru 203 comunică cu instrumentul de inspectare 100 prin aceeași interfață de comunicație 214 folosită pentru a comunica cu sistemul de control al instrumentului 202. În alte exemple de realizare, stația de lucru 203 include o interfață de comunicație separată pentru comunicația cu instrumentul de inspectare 100. De exemplu, stația de lucru 203 poate comunica cu instrumentul de inspectare 100 printr-o rețea sistem de observare video (VOS) 220 și, prin urmare, poate include un NIC dedicat pentru comunicația prin acest tip de rețea.

[0043] În realizarea ilustrată, stația de lucru 203 comunică cu instrumentul de inspectare 100 prin rețeaua VOS 220 pentru a obține date de imagine colectate de

camera 112 incluse în instrumentul 100. De exemplu, așa cum este ilustrat în FIG. 5, instrumentul de inspectare 100 poate include un controler local 222 al camerei care acționează ca o interfață între camera 112 și rețeaua VOS 220. Deși nu este ilustrat în FIG. 5, controlerul local al camerei 222 poate include un procesor electronic, un mediu citibil de calculator, netranzitoriu, o interfață de comunicație sau o combinație a acestora similară cu sistemul de control al instrumentului 202. După cum este descris mai detaliat mai jos, în unele exemple de realizare, stația de lucru 203 comunică, de asemenea, cu controlerul local al camerei 222 pentru a emite instrucțiuni (semnale) pentru controlul camerei 112, cum ar fi schimbarea poziției axiale sau a poziției de rotație a camerei 112, pornirea sau oprirea camerei 112 sau modificarea setărilor camerei 112, cum ar fi expunerea.

[0044] FIG. 6 ilustrează o metodă 300 de inspectare a unei găuri a plăcii de tuburi folosind sistemul 200. Metoda 300 include introducerea instrumentului de inspectare 100 într-o gaură de placă de tuburi (la blocul 302). Acest proces poate fi realizat folosind una sau mai multe platforme automate, mese de lucru sau o combinație a acestora care poziționează instrumentul de inspectare 100 în fața unei plăci de tuburi 18 și extinde axial instrumentul de inspectare 100 astfel încât capacul de capăt 103 (locașul 104) este poziționat în interiorul găurii plăcii de tuburi.

[0045] După ce instrumentul de inspectare 100 este poziționat corect în interiorul găurii, camera 112 este poziționată și colectează date de imagine ale suprafeței interioare a găurii într-o poziție curentă (de exemplu, poziția axială și poziția de rotație curente) a instrumentului de inspectare 100 (la blocul 304). În unele exemple de realizare, poziția de pornire a instrumentului 100 poate fi poziția instrumentului 100 atunci când instrumentul 100 este introdus inițial în gaură (care poate fi setată înainte de introducere). În alte realizări, stația de lucru 203 poate poziționa instrumentul de inspectare 100 (prin sistemul de control al instrumentului 202) într-o poziție de pornire predeterminată (de exemplu, poziție axială și poziția de rotație de pornire predeterminate) înainte sau după ce instrumentul 100 este introdus în gaură. În unele exemple de realizare, camera 112 poate fi poziționată într-o poziție axială sau de rotație pentru a capta datele de imagine ale suprafeței interioare a găurii.

[0046] Stația de lucru 203 primește datele de imagine colectate de camera 112 (de exemplu, prin rețeaua VOS 220) (la blocul 306). FIG. 7 ilustrează un exemplu de date de imagine 307 colectate de camera 112. Stația de lucru 203 asociază datele de imagine primite cu o poziție a camerei 112 sau a instrumentului de inspectare

100, cum ar fi poziția axială sau poziția de rotație a camerei 112 sau instrumentului de inspectare 100 (la blocul 308). De exemplu, așa cum s-a descris mai sus, stația de lucru 203 poate primi o poziție de rotație a camerei 112 sau a instrumentului de inspectare 100 de la sistemul de control al instrumentului 202, pe care stația de lucru 203 o asociază cu datele de imagine colectate de camera 112 în timp ce camera 112 sau instrumentul de inspectare 100 rămâne în această poziție. În particular, stația de lucru 203 poate stoca datele de imagine într-un tabel de mapare sau de date împreună cu poziția axială sau poziția de rotație sau poate adăuga poziția axială sau poziția de rotație la metadatele datelor imaginii. Stația de lucru 203 poate fi configurată pentru a asocia date de imagine cu datele codificatorului primite sau cu o rotație axială sau poziție de rotație reprezentată de datele codificatorului. De exemplu, stația de lucru 203 poate fi configurată pentru a translata datele codificatorului recepționate într-o poziție axială sau poziție de rotație a camerei 112 sau a instrumentului de inspectare 100 dintr-o poziție de pornire predeterminată. În alte exemple de realizare, în mod alternativ sau pe lângă asocierea unei poziții axiale sau de rotație (definite de datele codificatorului) cu datele de imagine recepționate, stația de lucru 203 poate asocia o poziție axială sau de rotație preconizată cu datele de imagine primite. De exemplu, urmărind instrucțiunile de mișcare furnizate (de exemplu, instrucțiuni de mișcare axială sau instrucțiuni de rotație) transmise sistemului de control al instrumentului 202, stația de lucru 203 poate determina o poziție axială sau rotativă actuală preconizată a instrumentului de inspectare 100 dintr-o poziție de pornire cunoscută. În aceste cazuri, stația de lucru 203 poate totuși să recepționeze datele codificatorului pentru a verifica mișcarea axială sau mișcarea de rotație a instrumentului 100.

[0047] Înainte sau după asocierea datelor de imagine primite cu o poziție axială sau poziție de rotație a instrumentului 100, stația de lucru 203 prelucrează datele de imagine primite (la blocul 310). În unele exemple de realizare, stația de lucru 203 (procesorul electronic 210) execută software de vizualizare al mașinii (stocat în dispozitivul de stocare 212) pentru a procesa datele de imagine pe măsură ce instrumentul 100 este deplasat (de exemplu, deplasat axial sau rotit) pentru a urmări mișcarea instrumentul 100 și verifică distanța parcursă (distanța axială sau distanța circumferențială parcursă). Aceste informații pot fi utilizate pentru a regla instrucțiunea de deplasare (de exemplu, instrucțiunea de mișcare axială sau instrucțiunea de rotație) transmisă sistemului de control al instrumentului 202 pentru

o mișcare ulterioară. De exemplu, stația de lucru 203 poate compara mișcarea caracteristicilor incluse în imagine pe ecranul camerei pe măsură ce camera 112 sau instrumentul de inspectare 100 se rotește cu unghiul mișcat, așa cum este indicat de un codificator. În funcție de această comparație, stația de lucru 203 poate controla camera 112 sau instrumentul de inspectare 100 pentru a-l roti cu un număr mai mare sau mic de grade într-o mișcare ulterioară pentru a menține lățimea de scanare a imaginii și pentru a ajuta la îmbinarea sau compunerea imaginilor, așa cum este descris mai jos.

[0048] În unele exemple de realizare, camera 112 transmite o singură imagine către stația de lucru 203 pentru o poziție curentă (de exemplu, poziția de rotație curentă) a camerei 112 sau a instrumentului 100. În alte exemple de realizare, camera 112 transmite o multitudine de imagini la stația de lucru 203 pentru poziția curentă (de exemplu, poziția de rotație curentă) a camerei 112 sau a instrumentului 100. Când camera 112 transmite mai multe imagini, stația de lucru 203 poate pondera datele de imagine pentru a genera o singură imagine ponderată. Ponderarea imaginilor poate include găsirea valorii medii a pixelilor pe numărul de imagini (capturate într-o serie). Ponderarea poate ajuta la reducerea zgomotului din imagini. Alternativ sau în plus, stația de lucru 203 poate selecta una din multitudinea de imagini ca imagine reprezentativă bazată pe calitatea fiecărei imagini (de exemplu, luminozitatea, contrastul, zgomotul, artefacte, distorsiunea, strălucirea și altele asemenea).

[0049] Indiferent dacă respectiva camera 112 transmite una sau mai multe imagini, stația de lucru 203 poate procesa, de asemenea, datele de imagine primite pentru a detecta și respinge imaginile care suferă de una sau mai multe probleme de calitate (la blocul 314). De exemplu, stația de lucru 203 poate determina dacă datele de imagine primite au un format sau un model preconizat pentru a se asigura că respectiva cameră 112 colectează imagini ale suprafeței interioare a găurii, în loc de alte componente ale plăcii de tuburi sau alte porțiuni ale reactorului 6. Stația de lucru 203 poate respinge o imagine atunci când o imagine nu a reușit să capteze date referitoare la componenta specifică luată în considerare. Stația de lucru 203 poate evalua, de asemenea, dacă o imagine are o expunere adecvată și poate respinge imaginile care nu sunt expuse corect. În mod similar, stația de lucru 203 poate procesa imagini primite pentru a detecta și respinge imagini incomplete, imagini corupte, imagini cu valori ale pixelilor lipsă sau imagini cu alte artefacte sau zgomot. Atunci când stația de lucru 203 respinge o imagine primită, stația de lucru 203 poate

instrui camera 112 să colecteze date suplimentare de imagine pentru poziția curentă (de exemplu, poziția de rotație) a camerei 112 sau a instrumentului 100. În unele exemple de realizare, stația de lucru 203 poate întreprinde de asemenea una sau mai multe acțiuni pentru îmbunătățirea calității imaginilor ulterioare colectate de camera 112. De exemplu, stația de lucru 203 poate trimite instrucțiuni (semnale) controlerului local al camerei 222 pentru a schimba o setare a camerei 112 (poziție, expunere, focalizare și similar), o sursă de lumină inclusă în instrumentul de inspectare 100 sau o combinație a acestora. Cu toate acestea, în alte exemple de realizare, setările camerei pot fi blocate atunci când metoda de inspectare 300 este pornită pentru a preveni variațiile între datele de imagine care ar putea fi identificate în mod fals ca defecte ale găurii.

[0050] În unele exemple de realizare, după prelucrarea datelor de imagine primite pentru a detecta defectele și în timp ce camera 112 sau instrumentul de inspectare 100 nu a fost poziționat pentru a captura date suplimentare de imagine, de exemplu, în timp ce camera 112 sau instrumentul de inspectare 100 nu a fost rotit cu un număr predeterminat de grade (de exemplu, 360 de grade) (la blocul 318), stația de lucru 203 trimite instrucțiuni (semnale) către sistemul de control al instrumentului 202 pentru a poziționa camera 112 sau instrumentul 100 într-o altă poziție, cum ar fi să se rotească camera 112 sau instrumentul de inspectare 100 de la o primă poziție de rotație la o a doua poziție de rotație (la blocul 316). Datele de imagine ale suprafeței interioare a găurii pot fi capturate cu camera 112 în prima poziție, camera 112 poate fi rotită într-o a doua poziție, iar datele de imagine ale suprafeței interioare a găurii pot fi capturate cu camera 112 în a doua poziție. De exemplu, stația de lucru 203 poate roti instrumentul de inspectare 100 în trepte predeterminate (de exemplu, 1 grad până la 10 grade) până când datele de imagine sunt colectate pentru 360 de grade ale suprafeței interioare a unei găuri sau, în alte exemple de realizare, pentru un anumit subset dorit al valorii de 360 grade a suprafeței interioare a găurii. În alte realizări, stația de lucru 203 poate roti instrumentul de inspectare 100 printr-o mișcare constantă. După cum este ilustrat în FIG. 6, la fiecare poziție de rotație, stația de lucru 203 procesează datele de imagine așa cum a fost descris mai sus. Camera 112 poate captura date de imagine dintr-o multitudine de poziții (de exemplu, o multitudine de poziții de rotație), iar stația de lucru 203 poate fi configurată pentru a primi date de imagine capturate cu camera 112 dintr-o multitudine de poziții (de exemplu, o multitudine de poziții de rotație).

[0051] După ce camera 112 sau instrumentul de inspectare 100 a fost deplasat într-o multitudine de poziții (de exemplu, rotește un număr predeterminat de grade, cum ar fi 360 de grade (la blocul 318), stația de lucru 203 cumulează sau compune împreună datele de imagine primite pentru a genera o imagine procesată, care poate corespunde suprafeței interioare a elementului (de exemplu, gaura) din reactorul nuclear. În unele exemple de realizare, stația de lucru 203 cumulează sau compune datele din mai multe imagini capturate cu camera 112 pentru a genera datele de imagine procesate, care pot corespunde suprafeței interioare a găurii. În unele exemple de realizare, stația de lucru 203 cumulează sau compune datele de imagine primite pentru fiecare poziție a camerei 112 sau a instrumentului 100 (de exemplu, fiecare poziție de rotație a camerei 112 sau instrumentului 100) pentru a genera date de imagine procesate, cum ar fi o imagine panoramică (la blocul 320). Acest proces poate include utilizarea informațiilor de poziție (de exemplu, informații axiale sau de rotație) stocate cu datele de imagine recepționate pentru a cumula sau compune datele de imagine, în timp ce contabilizarea câmpurilor de vizualizare suprapuse din cadrul datelor de imagine primite. În unele realizări, stația de lucru 203 generează imaginea procesată, care poate corespunde suprafeței interioare a găurii (de exemplu, imaginea panoramică) numai după ce datele de imagine sunt primite pentru fiecare poziție a camerei 112 sau a instrumentului 100 (de exemplu, după o rotire completă a instrumentului de inspectare 100). Cu toate acestea, în alte realizări, stația de lucru 203 generează și continuă să genereze sau să extindă imaginea procesată (de exemplu, imaginea panoramică) ca sau după ce datele de imagine sunt primite pentru fiecare poziție a camerei 112 sau a instrumentului 100, astfel încât imaginea procesată (de exemplu, imaginea panoramică) este disponibilă pentru afișare (și detectare, marcare și urmărirea defectelor) în diverse poziții ale camerei 112 sau ale instrumentului 100.

[0052] După primirea datelor de imagine de la camera 112, cum ar fi o imagine capturată de camera 112 sau după cumularea sau compunerea datelor din mai multe imagini și generarea imaginii procesate, care poate corespunde suprafeței interioare a găurii, stația de lucru 203 detectează automat unul sau mai multe defecte ale găurii pe baza imaginii procesate (cum ar fi defectul 312 reprezentat în datele de imagine 307 ilustrate în FIG. 7) la blocul 322 din FIG. 6. În unele exemple de realizare, stația de lucru 203 este configurată pentru a genera imaginea procesată dintr-o multitudine de imagini, fiecare din multitudinea de imagini fiind

dintr-o regiune respectivă a suprafeței interioare a găurii și pentru a detecta cel puțin un defect în cel puțin una dintre regiuni. În unele exemple de realizare, stația de lucru 203 este configurată pentru a genera imaginea procesată dintr-o multitudine de imagini, fiecare din multitudinea de imagini fiind dintr-o regiune respectivă a suprafeței interioare a găurii și capturată cu camera 112 într-o multitudine de poziții de rotație și pentru a detecta cel puțin un defect în cel puțin una dintre regiuni. De exemplu, FIG. 8 ilustrează o imagine panoramică 330 incluzând defectele detectate 332, 334 și 336. Stația de lucru 203 poate detecta cel puțin un defect în imaginea procesată. Stația de lucru 203 poate detecta defecte în diverse moduri. Ca un exemplu, stația de lucru 203 poate compara datele de imagine primite cu datele de imagine reprezentând suprafața interioară a unei găuri fără defecte, în care diferențele dintre datele de imagine (linii adăugate sau lipsă sau variații ale valorilor de pixeli) sunt identificate ca defecte.

[0053] Sub forma unui alt exemplu, stația de lucru 203 poate aplica unul sau mai multe filtre la datele de imagine capturate de camera 112 pentru a detecta defectele. De exemplu, stația de lucru 203 poate aplica un filtru de gradient la datele de imagine primite (într-una sau mai multe direcții diferite) pentru a genera o imagine binară și a evidenția potențialele defecte. Un filtru de gradient determină o magnitudine a schimbării între valorile pixelilor într-o direcție predeterminată. În consecință, imaginea binară generată prin aplicarea unui filtru de gradient identifică regiunile (ca regiuni întunecate (negre) sau luminoase (albe) în care s-au modificat valorile pixelilor, ceea ce poate indica un defect în suprafața interioară a găurii, care poate fi compus dintr-un material uniform. În particular, un filtru de gradient baleiează o imagine cu un filtru sensibil direcțional (de exemplu, un filtru direcțional est-vest) pentru a îndepărta fundalul și a evidenția defectele (de exemplu, defecte care se întind pe verticală).

[0054] Stația de lucru 203 poate stoca coordonatele defectelor detectate. De exemplu, stația de lucru 203 poate fi configurată pentru a translata pixelii reprezentând un defect detectat în datele de imagine primite în coordonate în suprafața interioară a găurii folosind o scală predeterminată între dimensiunile pixelilor și dimensiunile găurii. În unele exemple de realizare, stația de lucru 203 afișează, de asemenea, datele de imagine primite sau imaginea procesată, cum ar fi imaginea panoramică (prin HMI 216) și poate marca defecte detectate în datele de imagine primite sau în imaginea procesată (a se vedea, de exemplu, FIG. 8). Stația

de lucru 203 poate fi configurată pentru a detecta sau marca defecte care satisfac sau depășesc unul sau mai multe praguri configurabile, care pot avea legătură cu dimensiunea, adâncimea, locația și altele asemenea. De exemplu, stația de lucru 203 poate fi configurată pentru a detecta doar defecte mai mari de 0,010 inch (în orice dimensiune). În consecință, stația de lucru 203 poate fi configurată pentru a ignora defecte mici sau ne semnificative.

[0055] În unele exemple de realizare, stația de lucru 203 poate fi configurată pentru a detecta defectele din datele de imagine primite folosind un proces de detectare similar, așa cum a fost descris mai sus, înainte de a cumula date de imagini din mai multe imagini capturate cu camera 112 sau înainte de a genera imaginea procesată (de exemplu, imaginea panoramică). În consecință, în timpul metodei de inspectare 300, stația de lucru 203 poate oferi utilizatorului o afișare în timp real sau aproape în timp real a rezultatelor inspectării disponibile, inclusiv orice defecte detectate. Mai mult, în unele exemple de realizare, stația de lucru 203 poate fi configurată pentru a cumula date de la mai multe imagini pentru a genera imaginea procesată care poate corespunde suprafeței interioare a găurii, în timp ce datele de imagine sunt primite, în comparație cu așteptarea până la primirea tuturor datelor de imagine (de exemplu, în comparație cu așteptarea până la primirea pe toate cele 360 de grade a datelor despre imagine). Din nou, această procesare permite utilizatorului să primească rezultatele inspectării așa cum acestea sunt disponibile.

[0056] Pe baza datelor procesate, care pot corespunde suprafeței interioare a găurii (de exemplu, imaginea panoramică) sau a datelor de imagine recepționate individual, stația de lucru 203 poate fi de asemenea configurată pentru a lua una sau mai multe măsurători, cum ar fi, înălțimea, lățimea sau diametrul unei găuri a unei plăci de tuburi, o circumferință a unei găuri a unei plăci de tuburi și altele asemenea. Stația de lucru 203 poate calcula aceste măsurători prin numărarea unui număr de pixeli și înmulțirea numărului de pixeli cu un factor de conversie pentru a determina o mărime reală în unități tehnice. Stația de lucru 203 poate determina, de asemenea, alte caracteristici ale unei găuri a plăcii de tuburi, cum ar fi culoarea suprafeței, textura, materialul și altele asemenea. Stația de lucru 203 poate salva aceste informații (pentru includerea într-un raport descris mai jos), pentru afișarea în cadrul unei imagini, în orice combinație dorită de informații.

[0057] După generarea imaginii procesate care poate corespunde suprafeței interioare a găurii (de exemplu, imaginea panoramică) (la blocul 320) și detectarea

oricăror defecte din datele de imagine primite sau din imaginea procesată (la blocul 322), stația de lucru 203 generează unul sau mai multe rapoarte de inspecție (la blocul 338). Raportul de inspecție generat poate include datele de imagine primite (cu toate defectele detectate marcate), cum ar fi datele de imagine individuale pentru una sau mai multe poziții ale camerei 112 sau ale instrumentului 100, datele procesate, care pot corespunde suprafeței interioare a găurii, generate prin cumularea datelor din mai multe imagini capturate de camera 112 sau o combinație a acestora. De exemplu, în unele exemple de realizare, raportul de inspecție include date de imagine asociate cu fiecare defect detectat. În unele exemple de realizare, raportul include, de asemenea, detalii suplimentare despre defectele detectate, cum ar fi locația (coordonatele), dimensiunea, forma, adâncimea, orientarea (verticală sau orizontală), unghiul, clasa sau tipul și altele asemenea. Orice măsurători efectuate ale găurii plăcii de tub pot fi, de asemenea, incluse în raportul de inspecție. Raportul de inspecție poate furniza suplimentar unul sau mai multe rezumate, cum ar fi numărul posibilelor defecte detectate pentru fiecare locație de grătar. Raportul de inspecție poate include, de asemenea, date de inspecție, cum ar fi ora de început, ora de sfârșit, timpul scurs și altele asemenea. De asemenea, în unele exemple de realizare, un sistem de coordonate este adăugat la o imagine pentru a mapa pozițiile (pozițiile orare sau pozițiile unghiulare) ale imaginii. Acest sistem de coordonate poate fi apoi utilizat pentru a raporta locațiile defectelor.

[0058] În unele exemple de realizare, raportul poate include, de asemenea, un rezultat al inspecției, cum ar fi "trecut" sau "picat". De exemplu, în funcție de numărul, dimensiunea, tipul sau alte aspecte similare ale defectelor detectate, stația de lucru 203 poate fi configurată pentru a „trece” sau „pica” automat o gaură pentru re-tubare. Acest tip de clasificare automată reduce sau elimină necesitatea revizuirii manuale în unele situații. De exemplu, în unele exemple de realizare, doar inspecțiile „picate” pot fi supuse revizuirii manuale.

[0059] Rapoartele de inspecție generate de stația de lucru 203 pot fi stocate local pe stația de lucru 203 (dispozitivul de stocare 212) și pot fi emise pe HMI 216, cum ar fi printr-un afișaj, o imprimantă și altele asemenea. În mod alternativ sau în plus, stația de lucru 203 poate transmite rapoartele de inspecție într-o locație de stocare externă care poate fi accesată de unul sau mai multe dispozitive, cum ar fi stațiile de vizualizare de la distanță care furnizează revizuirea offline și auditul inspecțiilor. Metoda de inspectare 300 de mai sus poate fi repetată pentru fiecare sau un subset

de găuri ale plăcii de tuburi, un astfel de raport de inspecție generat pentru găurile de pe o singură parte a unui tub calandria sau într-un cadran sau un inel de gaură a unei plăci de tuburi 18. În unele exemple de realizare, rezultatele inspecției de la una sau mai multe găuri (de la una sau mai multe plăci de tuburi 18) pot fi, de asemenea, combinate într-un singur raport.

[0060] Astfel, exemplele de realizare descrise aici furnizează o metodă de inspecție automată care permite atât analiza în timp real a componentelor reactorului nuclear, cum ar fi găurile dintr-o placă de tuburi 18, cât și analiza off-line folosind, de exemplu, software de vizualizare de mașină. Natura automată a inspecției permite ca inspecția să se efectueze mai eficient (reducând timpul de traseu critic) și cu mai puține erori sau inconsistențe.

[0061] Așa cum s-a menționat mai sus, procesele și/sau instrumentele de inspecție descrise în prezenta cerere nu se limitează la inspecția găurilor plăcilor de tuburi, ci pot fi utilizate pentru a inspecta alte suprafețe interioare ale unui reactor nuclear. De exemplu, o cameră poate fi folosită pentru a colecta imagini ale suprafețelor interioare ale burdufului 62, care pot fi cumulate sau compuse și prelucrate așa cum este descris mai sus pentru a detecta defectele din burduful 62. Mai mult, în situațiile în care o cameră nu poate captura date de imagine care se întind pe o întregă lățime a unei suprafețe interioare, camera 112 sau instrumentul de inspecție 100 care susține camera 112 poate fi rotit așa cum a fost descris mai sus și axial extins și retras pentru a colecta date de imagine pentru o multitudine de intervale ale suprafeței interioare, care pot fi cumulate sau compuse împreună (de exemplu, compuse axial împreună) și prelucrate în consecință.

[0062] De exemplu, pentru o inspecție a burdufului, o cameră poate fi utilizată pentru a obține date de imagine la fiecare din mai multe poziții axiale ale axei z. FIG. 9 ilustrează o imagine de probă 400 a suprafețelor interioare ale unui burduf luate într-o poziție axială cu ajutorul camerei 112. În situațiile în care stația de lucru 203 primește mai multe imagini dintr-o anumită poziție axială, stația de lucru 203 poate pondera imaginile descrise mai sus pentru a genera o singură imagine ponderată. Stația de lucru 203 „desface” imaginea pentru fiecare poziție axială pentru a defini cel puțin o regiune de interes. De exemplu, stația de lucru 203 poate defini un diametru exterior al unui burduf și un diametru interior al unui burduf. Fiecare regiune poate fi definită de un diametru minim, un diametru maxim, un unghi de pornire, un unghi de capăt și un punct central din cadrul unei imagini. De exemplu, FIG. 10

ilustrează un diametru exterior 402 al unui burduf 62 definit de un diametru maxim 403 și un diametru minim 404. După definirea uneia sau a mai multor regiuni de interes, stația de lucru 203 poate utiliza o funcție polară pentru a profila orice regiune de interes definită și pentru a reconstrui orice regiune inelară de interes ca o bandă dreptunghiulară plană. De exemplu, FIG. 10 ilustrează o bandă dreptunghiulară plană 406 reprezentând diametrul interior 402 al burdufului 62.

[0063] După ce stația de lucru 203 primește date de imagine din fiecare poziție axială, stația de lucru poate compune benzi dreptunghiulare (luate din diferite poziții axiale) împreună de la capăt la capăt pentru a genera o imagine procesată care poate fi o reprezentare completă (de exemplu, imaginea panoramică) a burdufului 62. De exemplu, FIG. 11 ilustrează un exemplu de imagine panoramică 408 cu lungimea diametrului interior al burdufului 62. Stația de lucru 203 detectează defecte ale imaginii procesate generate prin cumularea datelor din mai multe imagini capturate de camera 112, așa cum este descris mai sus, cum ar fi prin aplicarea unuia sau mai multor filtre de gradient. FIG. 12 ilustrează imaginea panoramică 408 înainte (410) și după (412) ce se aplică un filtru de gradient (un filtru est-vest). După cum este ilustrat în FIG. 12, regiunile albe din imaginea filtrată pot reprezenta posibile defecte. Stația de lucru 203 poate calcula, de asemenea, diverse măsurători ale burdufului, cum ar fi zona unei flanșe și o lungime totală (a se vedea FIG. 13). Toate aceste informații pot fi incluse într-un raport de inspecție descris mai sus. De exemplu, FIG. 14 ilustrează o imagine panoramică 420 a unui burduf 62 suprapus cu un sistem de coordonate definit de pozițiile axiale și orare (radiale) ale imaginii panoramice.

[0064] De asemenea, trebuie remarcat faptul că exemplele de realizare descrise mai sus și ilustrate în figurile însoțitoare sunt prezentate doar ca exemplu, și nu sunt destinate ca o limitare a conceptelor și principiilor prezentei invenții. Ca atare, va fi apreciat de către o persoană cu pregătire medie în domeniu că diverse modificări ale elementelor și configurația și aranjamentul lor sunt posibile fără a se îndepărta de spiritul și scopul prezentei invenții, așa cum sunt prezentate în revendicările anexate.

REVEDICĂRI

1. Sistem de inspectare a unei suprafețe interioare a unui element dintr-un reactor nuclear, sistemul cuprinzând:

un instrument de inspectare care include o cameră pentru captarea datelor de imagine ale suprafeței interioare a elementului;

un sistem de control al instrumentului care comunică cu instrumentul de inspectare și pentru poziționarea camerei;

și o stație de lucru, stația de lucru fiind configurată să:

recepționeze date de imagine capturate cu camera,

să detecteze cel puțin un defect în cadrul datelor de imagine, și

să genereze și să furnizeze un raport de inspecție, raportul de inspecție incluzând datele de imagine recepționate și datele referitoare la acel cel puțin un defect.

2. Sistem conform revendicării 1, în care stația de lucru este configurată pentru a cumula date din mai multe imagini capturate cu camera pentru a genera o imagine procesată și pentru a detecta cel puțin un defect în cadrul imaginii procesate.

3. Sistem conform revendicării 1, în care sistemul de control al instrumentului controlează o poziție de rotație a camerei în raport cu o axă a elementului.

4. Sistem conform revendicării 1, în care sistemul de control al instrumentului controlează o poziție axială a camerei în raport cu elementul.

5. Sistem conform revendicării 2, în care stația de lucru este configurată pentru a genera imaginea procesată dintr-o multitudine de imagini, fiecare dintr-o regiune asociată a suprafeței interioare a elementului și pentru a detecta cel puțin un defect în cel puțin una dintre regiuni.

6. Sistem conform revendicării 5, în care stația de lucru este configurată pentru a genera imaginea procesată dintr-o multitudine de imagini, fiecare dintr-o regiune asociată a suprafeței interioare a elementului, și capturată cu camera într-o

multitudine de poziții de rotație și pentru a detecta cel puțin un defect în cel puțin una dintre regiuni.

7. Sistem conform revendicării 1, în care datele referitoare la acel cel puțin un defect includ o poziție a acelu cel puțin unui defect de-a lungul suprafeței interioare.

8. Sistem conform revendicării 1, în care datele referitoare la acel cel puțin un defect includ o dimensiune a acelu cel puțin unui defect bazat pe o scală între o dimensiune de pixeli inclusă în datele de imagine și dimensiunile suprafeței interioare.

9. Sistem conform revendicării 1, în care stația de lucru este configurată suplimentar pentru a marca acel cel puțin un defect din datele de imagine primite.

10. Sistem conform revendicării 1, în care stația de lucru este configurată suplimentar pentru a marca acel cel puțin un defect din datele de imagine primite atunci când o dimensiune a acelu cel puțin unui defect depășește un prag de dimensiune configurabil.

11. Sistem conform revendicării 1, în care stația de lucru este configurată suplimentar pentru a clasifica inspecția elementului pe baza a acelu cel puțin un defect.

12. Sistem conform revendicării 1, în care elementul este o gaură a unei plăci de tuburi.

13. Sistemul din revendicarea 1, în care stația de lucru este configurată suplimentar pentru a procesa datele de imagine primite capturate de cameră pentru a determina dacă să respingă datele de imagine primite.

14. Sistem conform revendicării 13, în care stația de lucru este configurată suplimentar pentru a instrui camera să captureze date de imagine suplimentare atunci când stația de lucru respinge datele de imagine primite.

15. Sistem conform revendicării 13, în care stația de lucru este configurată suplimentar pentru a instrui sistemul de control al instrumentului să rotească camera într-o poziție de rotație următoare atunci când stația de lucru nu respinge datele de imagine primite.

16. Sistem conform revendicării 1, în care stația de lucru este configurată suplimentar pentru a determina o poziție de rotație a camerei și pentru a asocia poziția de rotație cu datele de imagine capturate în timp ce camera este poziționată în poziția de rotație.

17. Sistem conform revendicării 3, în care stația de lucru este configurată pentru a determina poziția de rotație a camerei pe baza semnalelor de la un codificator care detectează o poziție fizică a unui motor radial asociat cu camera.

18. Sistemul conform revendicării 6, în care stația de lucru este configurată să pondereze imaginile capturate de cameră pentru una din multitudinea de poziții de rotație atunci când camera captează mai mult de o imagine pentru acea una din multitudinea de poziții de rotație.

19. Sistem conform revendicării 6, în care stația de lucru este configurată suplimentar pentru a procesa datele de imagine capturate de cameră în multitudinea de poziții de rotație ale camerei pentru a detecta acel cel puțin un defect.

20. Sistem conform revendicării 1, în care stația de lucru este configurată pentru a detecta acel cel puțin un defect în datele de imagine primite prin aplicarea unui filtru de gradient la datele de imagine.

21. Sistem conform revendicării 6, în care stația de lucru este configurată suplimentar pentru a furniza date de imagine pentru cel puțin una din multitudinea de poziții de rotație ale instrumentului de inspectare pe un afișaj în timp real.

22. Sistem conform revendicării 21, în care stația de lucru este configurată suplimentar pentru a marca defectele detectate în datele de imagine furnizate pe afișaj.

23. Sistem conform revendicării 3, în care stația de lucru este configurată pentru a detecta mișcarea caracteristicilor de-a lungul datelor de imagine primite pe măsură ce camera se rotește.

24. Metodă de inspectare a unei suprafețe interioare a unui element dintr-un reactor nuclear, metoda cuprinzând:

capturarea de date de imagine a suprafeței interioare a elementului folosind o cameră a unui instrument de inspectare introdus în element;

detectarea a cel puțin unui defect în datele de imagine capturate;

marcarea aceluși cel puțin unui defect din cadrul datelor de imagine capturate;

și

furnizarea datelor de imagine capturate cu cel puțin un defect marcat.

25. Metodă conform revendicării 24, cuprinzând cumularea datelor din mai multe imagini capturate cu camera pentru a genera o imagine procesată a suprafeței interioare a elementului din reactorul nuclear și pentru a detecta cel puțin un defect în imaginea procesată.

26. Metodă conform revendicării 24, care cuprinde rotirea camerei în jurul unei axe longitudinale a elementului până la o poziție de rotație dorită.

27. Metodă conform revendicării 24, care cuprinde deplasarea camerei de-a lungul unei axe longitudinale a elementului într-o poziție axială dorită a camerei.

28. Metodă conform revendicării 24, cuprinzând generarea imaginii procesate dintr-o multitudine de imagini, fiecare dintr-o regiune asociată a suprafeței interioare a elementului și detectarea a cel puțin unui defect în cel puțin una dintre regiuni.

29. Metodă conform revendicării 28, cuprinzând generarea imaginii procesate dintr-o multitudine de imagini, fiecare dintr-o regiune asociată a suprafeței interioare a elementului și capturată cu camera dintr-o multitudine de poziții de rotație și detectarea a cel puțin unui defect în cel puțin una dintre regiuni.

30. Metodă conform revendicării 24, cuprinzând capturarea de date de imagine a suprafeței interioare a elementului cu camera într-o multitudine de poziții.

31. Metodă conform revendicării 24, cuprinzând capturarea datelor de imagine a suprafeței interioare a elementului cu camera într-o multitudine de poziții de rotație.

32. Metodă conform revendicării 31, cuprinzând:

capturarea datelor de imagine a suprafeței interioare a elementului cu camera într-o primă poziție de rotație;

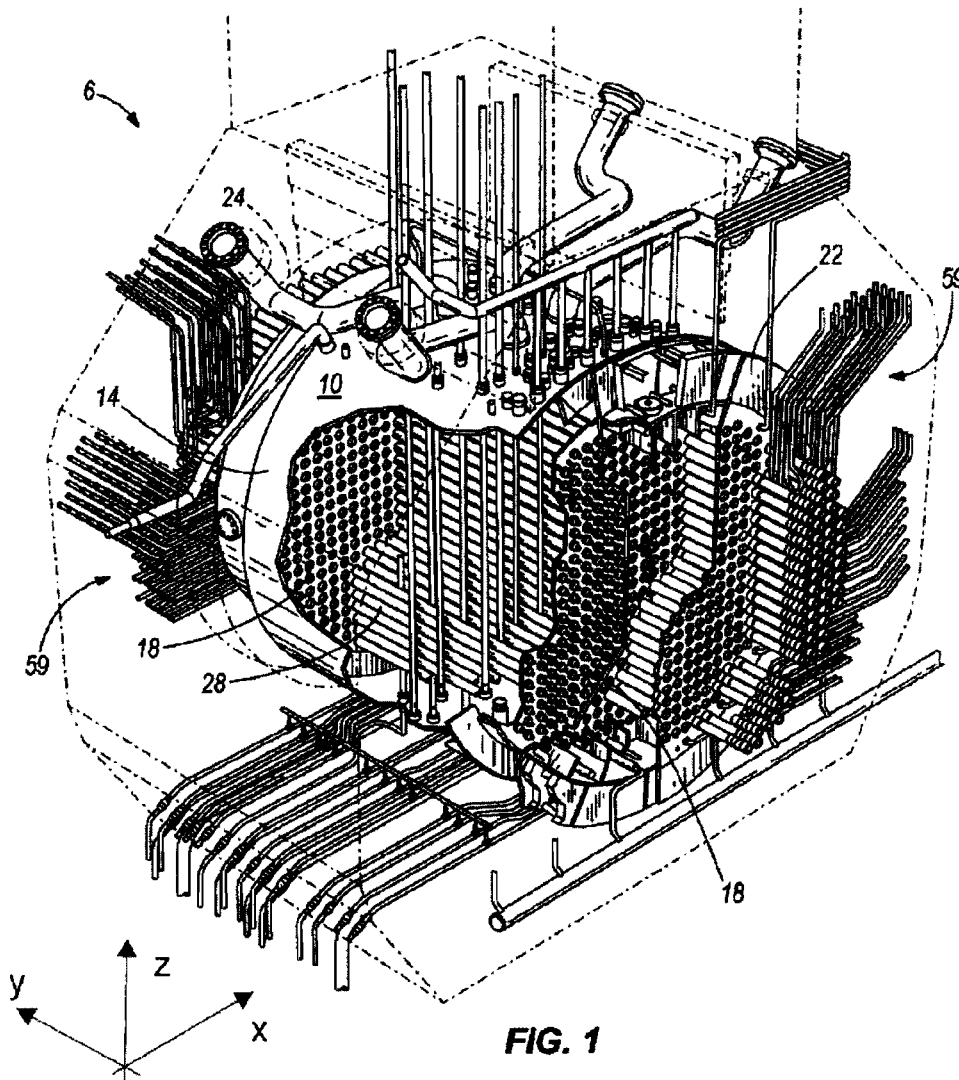
rotirea camerei către o a doua poziție de rotație; și

capturarea datelor de imagine a suprafeței interioare a elementului cu camera în a doua poziție de rotație.

33. Metodă conform revendicării 31, care cuprinde rotirea camerei cu un grad predeterminat pentru a captura date de imagine la fiecare poziție de rotație din multitudinea de poziții de rotație.

34. Metodă conform revendicării 24, care cuprinde aplicarea unui filtru de gradient la cel puțin o porțiune din datele de imagine capturate pentru a detecta cel puțin un defect în cadrul datelor de imagine capturate.

1/14



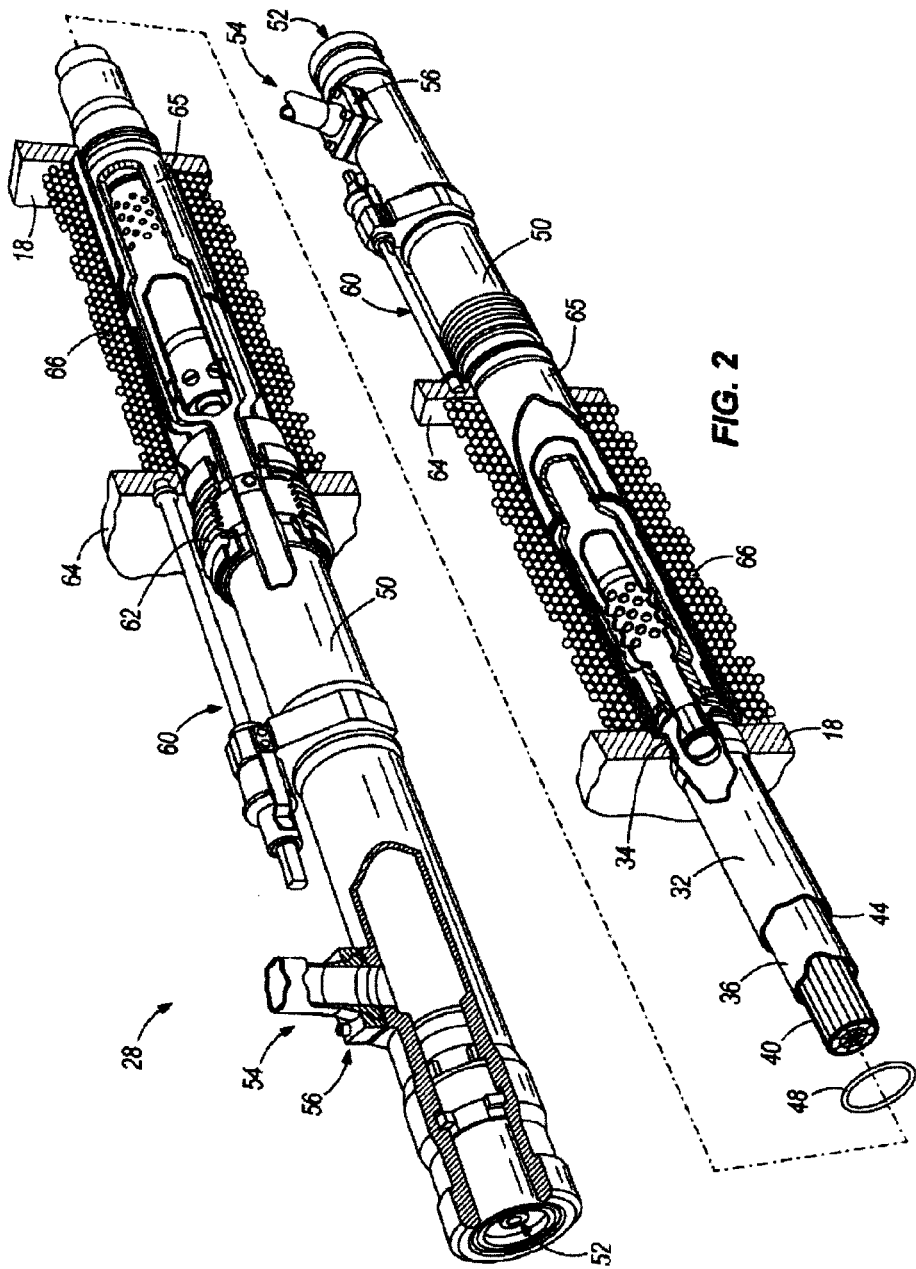


FIG. 2

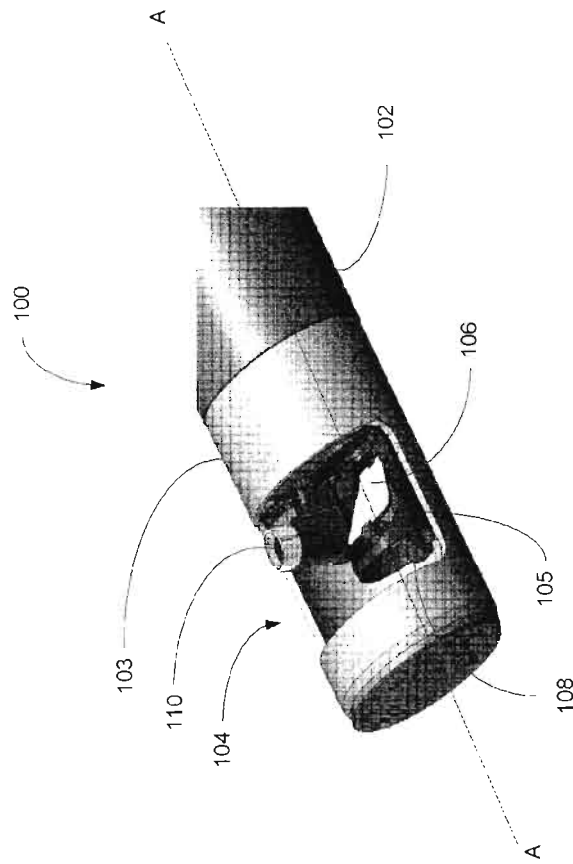


FIG. 3

4/14

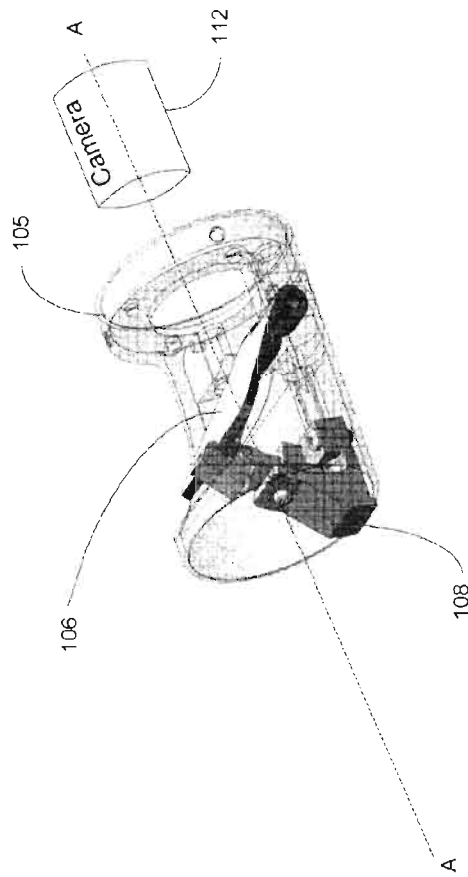


FIG. 4

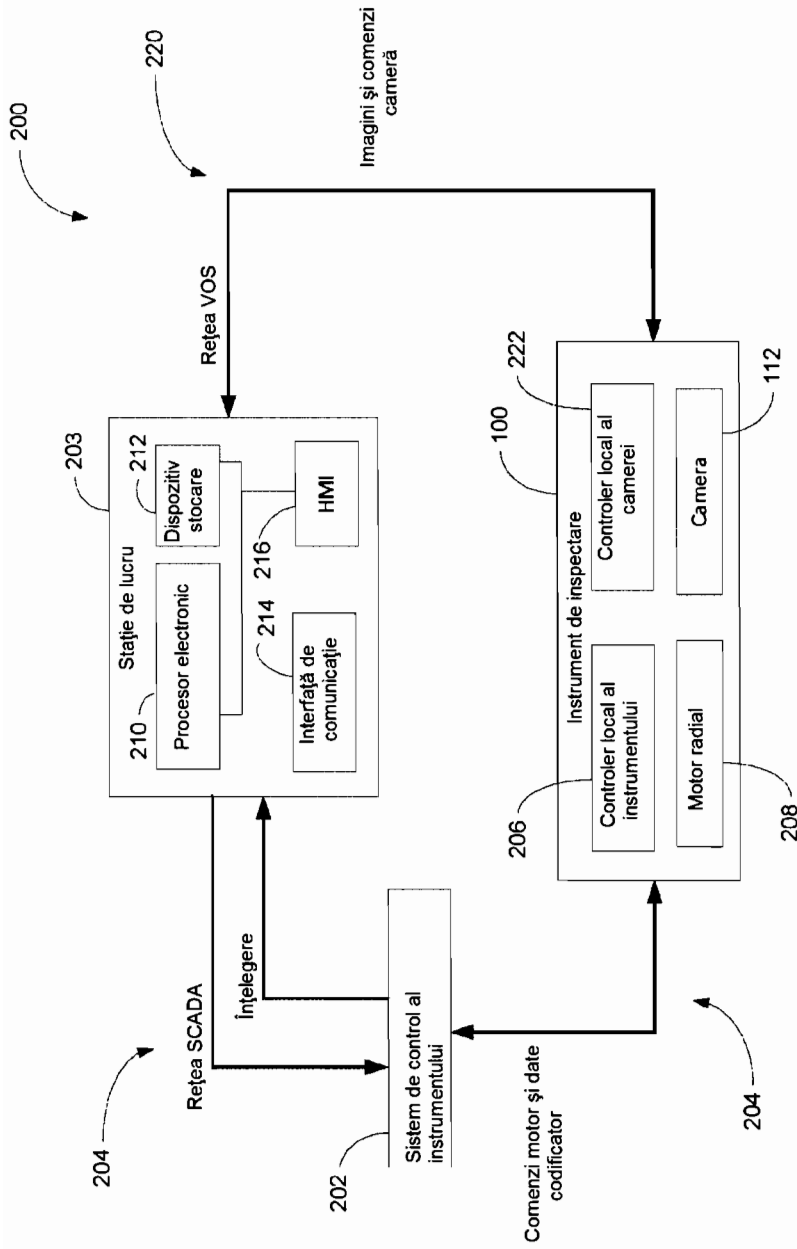


FIG. 5

6/14

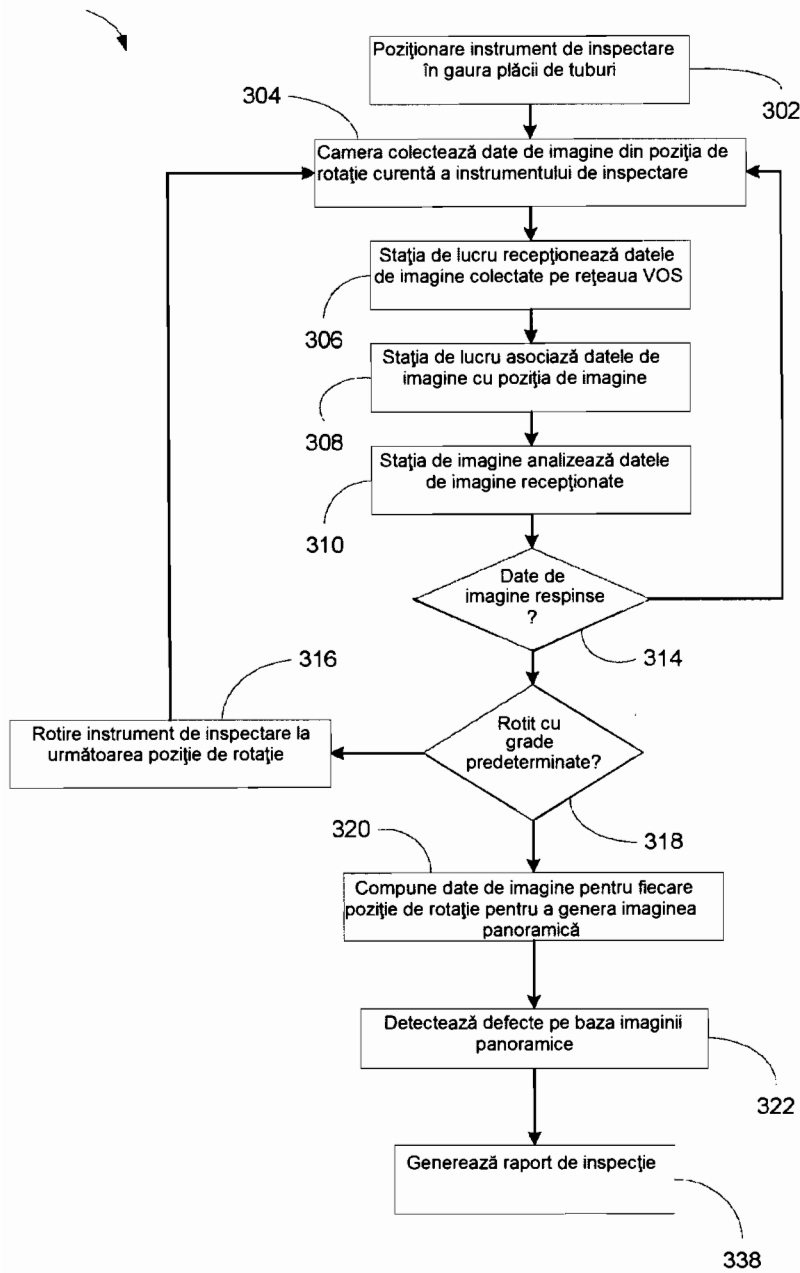


FIG. 6

7/14

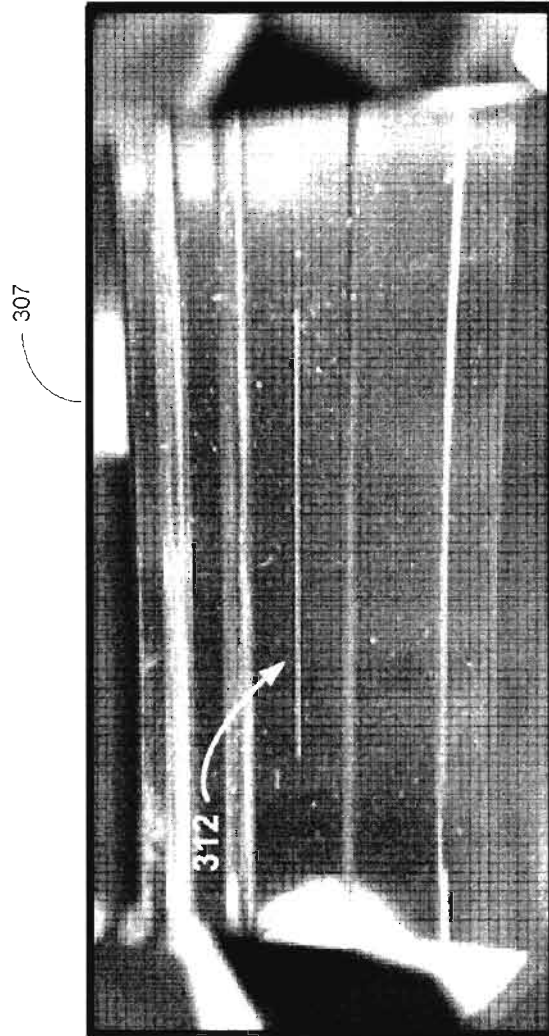


FIG. 7

8/14



FIG. 8

9/14

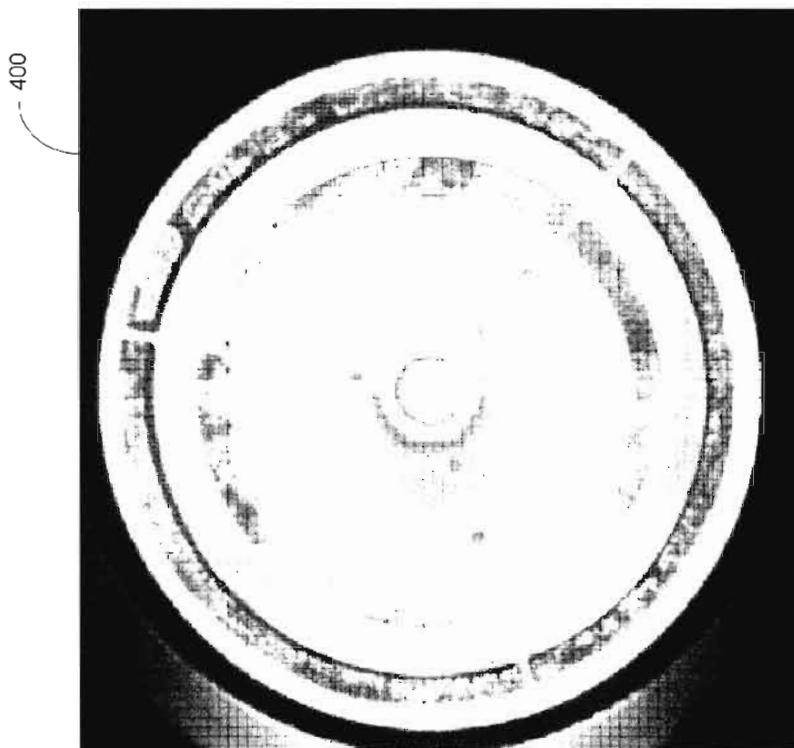


FIG. 9

10/14

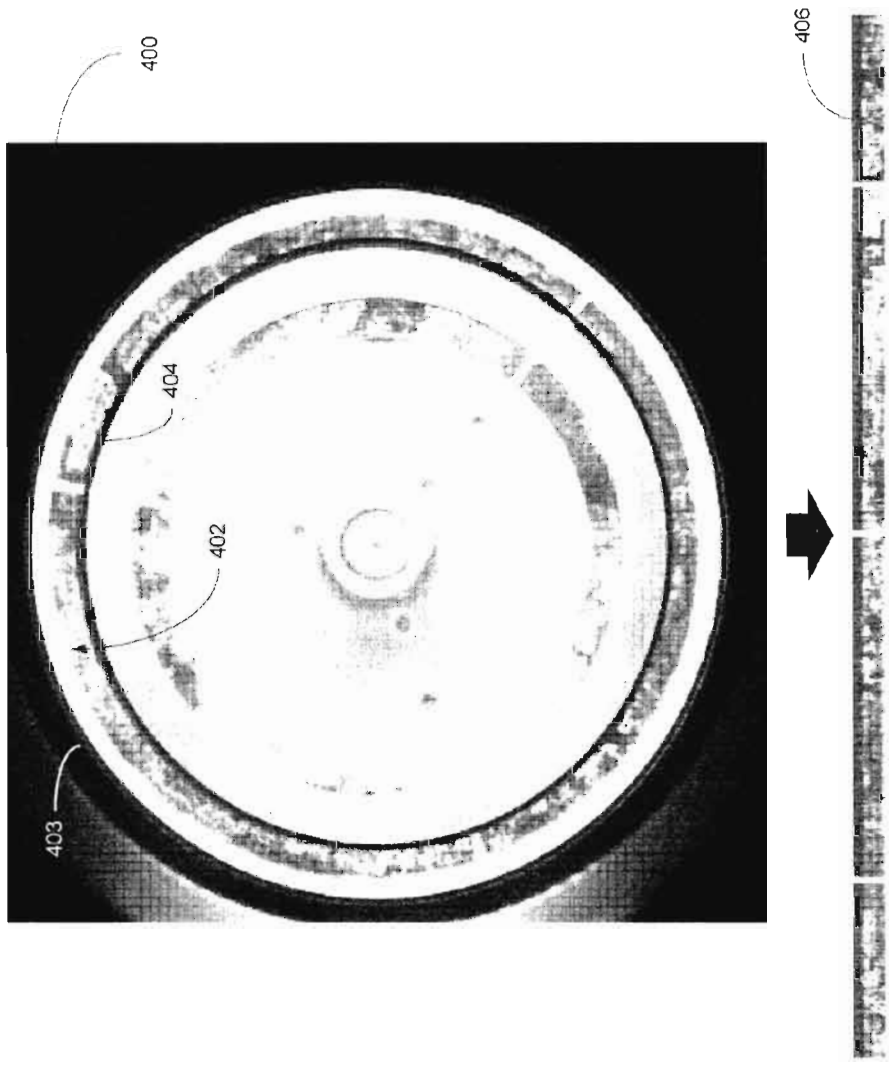


FIG. 10

11/14

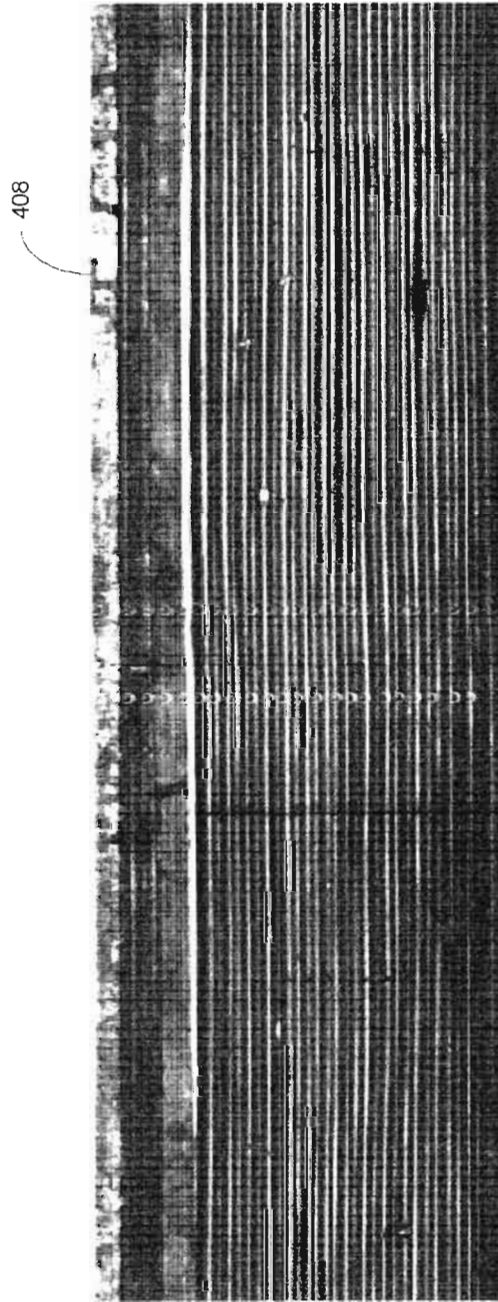


FIG. 11

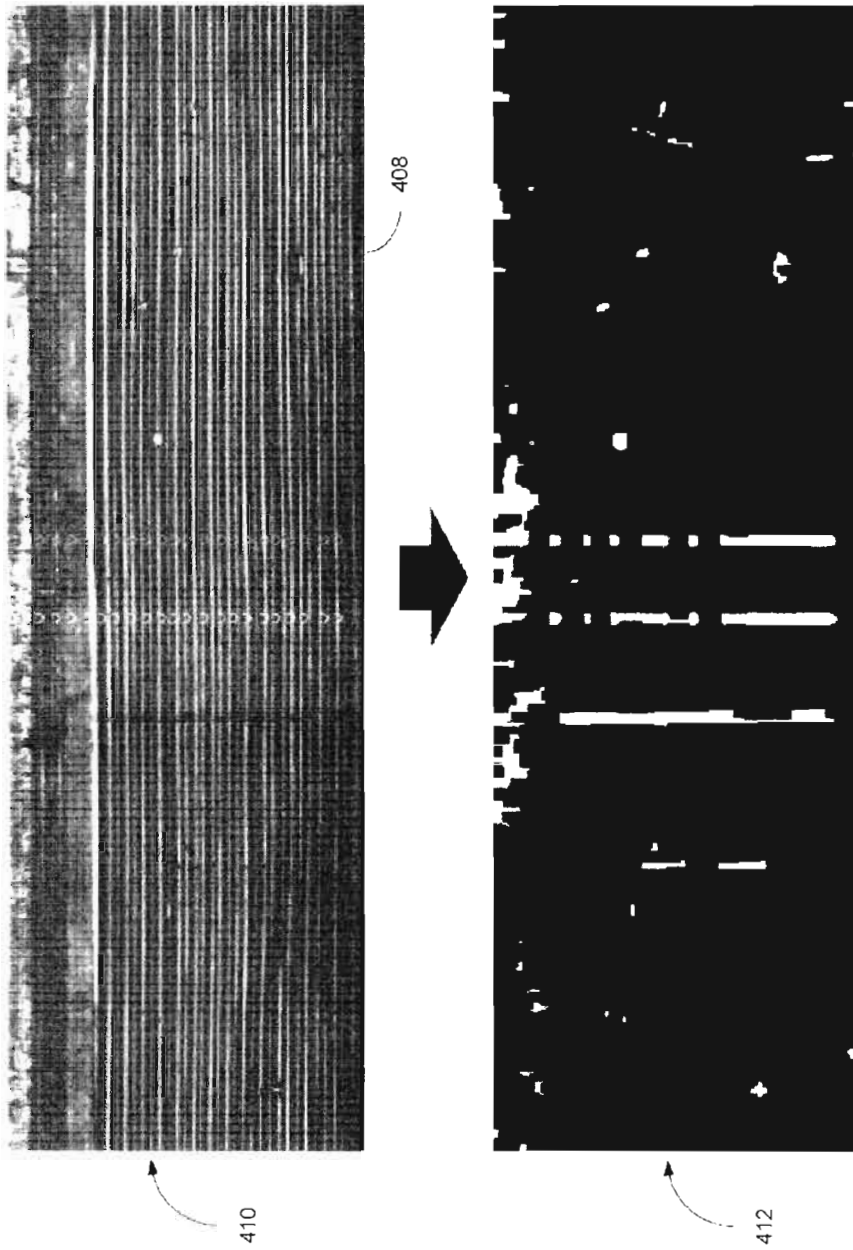
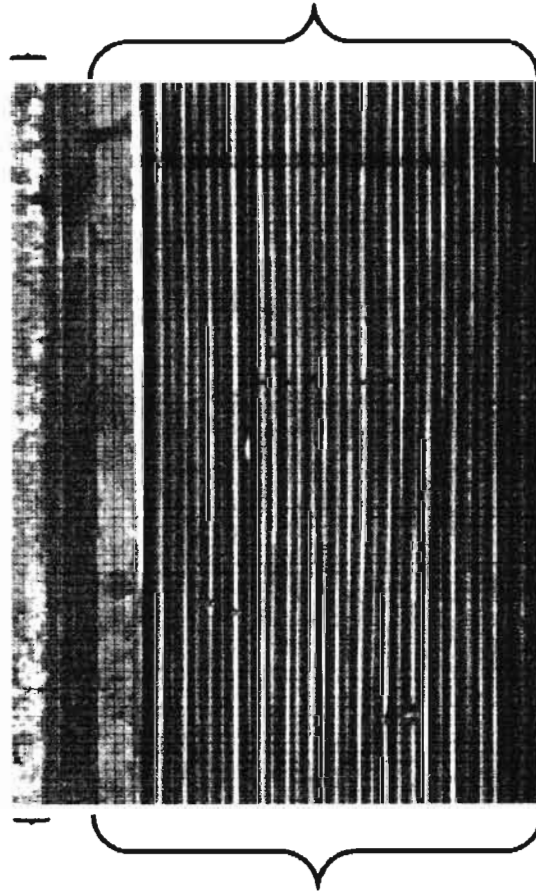


FIG. 12

13/14



Zona flanșei

Zona lungimii
totale

FIG. 13

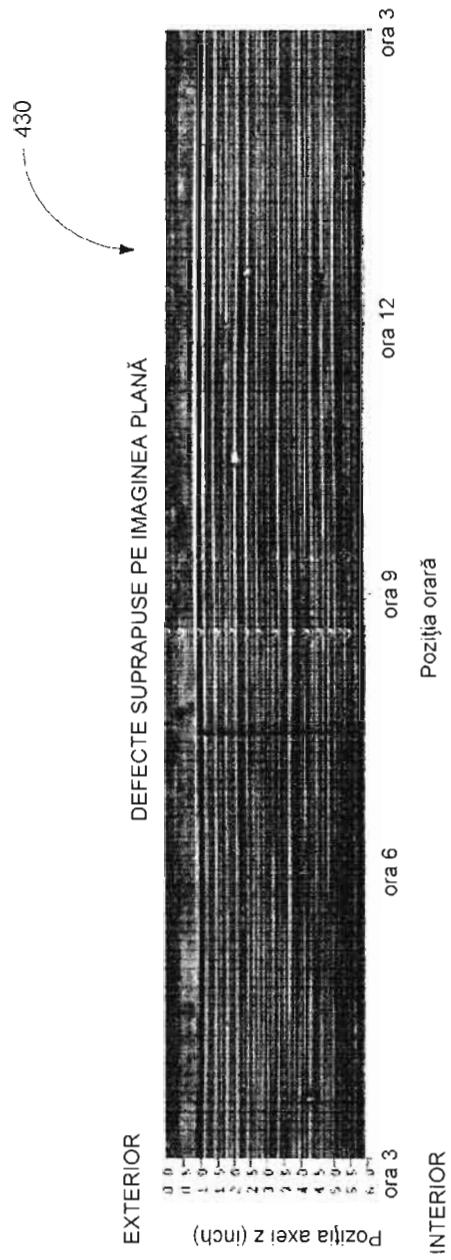


FIG. 14