



(B) (11) KUULUTUSJULKAISU
UTLAGGNINGSSKRIFT

85773

C (12) Patenti

Patent No. 526187 P

(51) Kv.1k.5 - Int.cl.5

G 01N 29/04

SUOMI-FINLAND

(FI)

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(21) Patentihakemus - Patentansökning	843346
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag	24.08.84
(24) Alkupäivä - Löpdag	24.08.84
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig	26.02.85
(44) Nähtäväksipanon ja kuul.julkaisun pvm. - Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	14.02.92
(32) (33) (31) Etuoikeus - Prioritet	25.08.83 US 526187 P

(71) Hakija - Sökande

1. Combustion Engineering, Inc., 1000 Prospect Hill Road, Windsor, Conn., USA, (US)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. Kuljis, Zoran, Institut za Elektroprivredu, Proleterskih brigada 37, Zagreb, Yugoslavia, (YU)
2. Lareau, John Paul, 274 Salmon Brook Street, Granby, Conn., USA, (US)
3. Brook, Mark Vladimir, 29 Robin Road, # 304, West Hartford, Conn., USA, (US)

(74) Asiamies - Ombud: Berggren Oy Ab

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

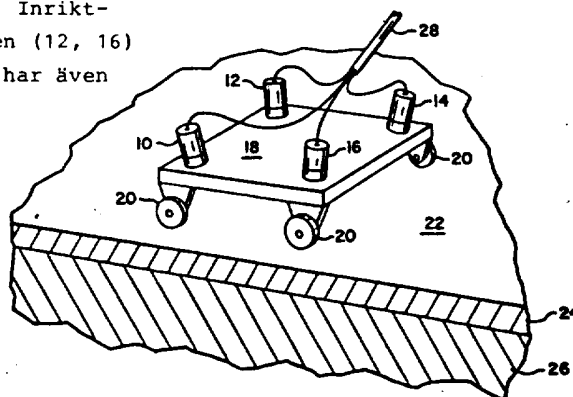
Menetelmä ja järjestelmä kiinteän materiaalin tutkimiseksi pinnan alta
Förfarande samt system för inspektion av ett fast material under ytan

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Ultraäänilähetin (10) ja ainakin kaksi ultraäänivastaanotinta (12, 16) on kiinnitetty kelkkaan (18), joka kulkee kiinteän aineen (24) pinnan (22) yli. Lähettimestä (10) lähtevä ääni-aalto menee pinnan (22) alapuolelle ja joutuu tutkimusvyöhykkeeseen, joka sijaitsee pisteen ympärillä, joka sijaitsee kiinteän etäisyyden päässä pinnan alapuolella. Vastaanottimet (12, 16) havaitsevat tutkimusvyöhykkeessä olevista vioista tulevat heijastuneet ääniaallot. Lähettimen (10) ja vastaanottimien (12, 16) suuntaus ja sijoitus vikojen havaitsemisen ja erottamisen maksimoimiseksi on myös esitetty.

En ultraljudssändare (10) och åtminstone två ultraljudsmottagare (12, 16) har fästs vid en kälke (18) som löper över ett fast materials (24) yta (22). En från en sändare (10) utgående ljudvåg går under ytan (22) och hamnar i en undersökningszon som befinner sig runt en punkt som befinner sig på fast avstånd under ytan. Mottagarna (12, 16) detekterar reflekterade ljudvågor som kommer från fel i undersökningszonen. Inriktningen och placeringen av sändaren (10) och mottagaren (12, 16) för maximering av feldetektering och differentiering har även visats.



Menetelmä ja järjestelmä kiinteän materiaalin tutkimiseksi pinnan alta

Esillä oleva keksintö kohdistuu menetelmään ja laitteeseen kiinteän aineen tutkimiseksi sisäisten vikojen takia ja tarkemmin sanottuna menetelmään ja laitteeseen kiinteän aineen ultraäänitutkimusta varten mainitun aineen pinnan lähellä sijaitsevien sisäisten vikojen takia.

Ainetta rikkomattomia arviointimenetelmiä on käytetty kauan tutkittaessa kiinteiden kappaleiden sisäosia vikojen tai muiden vajavuuksien havaitsemiseksi. Eräs tällainen nykyään laajalti käytetty menetelmä on ultraäänikoestus.

Tässä menetelmässä käytetään lähetintä lähettämään äänienergia-aalto kiinteän kappaleen pinnan alapuolelle. Jos tämä ultraääniaalto kohtaa mahdollisia vikoja kuten halkeaman, vieraan aineen sulkeuman, raon jne., kehitetään heijastunut ääniaalto, jonka voi havaita vastaanotin, joka on myös sijoitettu kiinteän kappaleen pinnan yläpuolelle. Vian laadusta riippuen voi ääniaalto heijastua suunnassa, joka ei yhdy vastaanottimen asentoon. Tästä syystä on tutkittavan kappaleen pinnan yli kuljettava useita kertoja, jotta varmistetaan, että kaikki sisäiset viat on havaittu.

Lisäksi vaikka vika havaittaisiin nykyisin käytetyllä tutkimusmenetelmällä, ei usein ole mahdollista välittömästi määrittää vian syvyyttä, koska heijastunut ääniaalto voi olla peräisin erilaisista syvyyksistä kiinteän kappaleen pinnan alapuolella. Tämä on erityisen hankalaa sellaisen paineastian kohdalla, jossa on muuta ainetta olevaan pohjaan kiinnitetty sisäpuolinen verhous. Tässä tilanteessa päätutkimusvyöhyke on verhouksen ja pohja-aineen välinen rajapinta, jolloin syvällä pohja-aineessa esiintyvät viat haittaavat vähemmän paineastian toimintakykyä. Eräs tunnettu ultraäänitutkimusjärjestelmä voi havaita vikoja hyvin erilaisissa syvyyksissä

ensimmäisen ylikulun aikana, joten lisätutkimukset ovat tarpeen sen toteamiseksi, onko vika merkityksetön vika pohjassa vai verhouksen ja pohjan välissä esiintyvä vika, jota ei voida hyväksyä.

Eräs tilanne, jossa tutkimusvaatimukset ovat hyvin tiukat, on ydinreaktoripaineastia, jossa on hiiliteräksestä tehty pohja ja ruostumattomasta teräksestä tehty sisäverhous, jonka paksuus on 1,0 cm. Ruostumattomasta teräksestä tehdyn verhouksen ja hiiliteräspohjan välillä esiintyvä vika saattaisi mahdollisesti aiheuttaa astian toimintakyvyttömyyden ja astian suurpainesisällön vapautumisen. Koska tällaiset astiat ovat tavallisesti hyvin suuria ja tutkimusvaatimukset ovat hyvin tiukkoja, useiden eri suunnissa tapahtuvien ylikulkujen tarve ja vastaanottimen/lähettimien erilaiset suuntauukset johtavat kalliiseen ja aikaa vievään prosessiin.

Tarvitaan siis menetelmää ja laitetta, joilla tutkitaan suuren paineastian verhouksen ja pohjan välistä tutkimusvyöhykettä ja jotka eivät vaadi useita ylikulkuja vian havaitsemiseksi ja jotka eivät ole herkkiä havaitsemaan merkityksettömiä vikoja pohjassa tutkimusvyöhykkeen ulkopuolella.

Keksinnön mukaiselle ultraäänitutkimusjärjestelmälle on tunnusomaista se, että se käsittää kelkan tutkimusjärjestelmän kuljettamiseksi pinnan yli, jolloin näiden välillä säilytetään muuttumaton kiinteä etäisyys, kelkkaan kiinnitetyn ultraäänilähettimen ultraäänisäteen suuntaamiseksi mainitun väliaineen läpi kiinteään aineeseen tutkimusvyöhykettä kohhti, jolloin lähetin on lisäksi suunnattu pinnan suhteen siten, että mainitussa aineessa kulkevan säteen radan ja tasaisen pinnan väliin muodostuu n. 20°:n kulma, kelkaan kiinnitetyn ensimmäisen ultraäänivastaanottimen, joka ottaa vastaan heijastuneen ultraäänien, joka on peräisin mainitussa tutkimusvyöhykkeessä esiintyvistä viasta, jolloin ensimmäinen vastaanotin on suunnattu mainitun aineen pinnan suhteen siten, että se ottaa vastaan heijastunutta ääntä, joka on peräisin tutkimusvyöhykkeestä ja kulkee kiinteään aineen läpi heijastuneen äänen rataa pitkin muodostaen n. 20°n kulman

mainitun tasaisen pinnan kanssa, ja kelkkaan kiinnitetyn toisen ultraäänivastaanottimen, joka ottaa vastaan heijastuneen ultraäänien, joka on peräisin tutkimusvyöhykkeessä esiintyvistä viasta, jolloin toinen vastaanotin on suunnattu mainitun aineen mainitun tasaisen pinnan suhteen siten, että se ottaa vastaan vain heijastuneen äänen, joka on peräisin tutkimusvyöhykkeestä ja kulkee mainitun aineen läpi heijastuneen äänen rataa pitkin, joka muodostaa n. 20°:n kulman tasaisen pinnan kanssa.

Esillä oleva keksintö tarjoaa ultraäänitutkimusjärjestelmän, joka mahdollistaa tutkimusvyöhykkeen täydellisen tutkimuksen kiinteän aineen pinnan lähellä, jolloin tutkimuslaitteisto kulkee vain kerran pinnan yli. Järjestelmässä käytetään yhtä ultraäänilähetintä ja edullisesti kahta ultraäänivastaanotinta, jotka on sovitettu siten, että tutkimusvyöhykkeessä saadaan mahdollisimman suuri äänen voimakkuus ja herkkyys.

Lähetin on kiinnitetty kelkkaan, joka kulkee tutkittavan kiinteän kappaleen pinnan yli kiinteän etäisyyden päässä siitä. Lähetin on suunnattu siten, että se lähettää ultraäänisäteen johtavan väliaineen läpi ja kiinteän aineen sisään, jolloin mainittu ääniaalto mahdollisesti menee tutkimusvyöhykkeen läpi ennalta valitulla syvyydellä pinnan alapuolelta.

Lähetin on edelleen suunnattu siten, että pinnan ja kiinteässä aineessa olevan säderadan välinen kulma on n. 20°. Tämä kulma ja lisäksi lähettimen sijoitus pinnasta sellaisen välimatkan päähän, että ääniaallon pituus lähetimestä tutkimusvyöhykkeeseen on yhtä suuri kuin Fresnelin etäisyys väliaineen ja kiinteän aineen kohdalla, antavat tulokseksi maksimaalisen äänen voimakkuuden tutkimusvyöhykkeessä.

Mikäli tutkimusvyöhykkeessä esiintyy jokin vika, kehitetään heijastunut ääniaalto. Esillä olevan keksinnön mukainen järjestelmä havaitsee heijastuneen äänen kelkkaan kiinnitetyillä vastaanottimilla, jotka on suunnattu samalla tavoin kuin lähetin pinnan tason suhteen, jolloin ne ottavat vastaan

vain tutkimusvyöhykkeestä tulevat ääniaallon. Edullisessa suoritusmuodossa on kaksi vastaanotinta sijoitettu kelkalle vastapäätä toisiaan ja suunnattu tutkimusvyöhykettä kohti ottamaan vastaan sivusuunnassa lähetetyn ääniaallon suhteen heijastuneen äänen. Tämä sijoitus mahdollistaa esillä olevan keksinnön mukaisen järjestelmän käytön sekä kehän suuntaisten että pitkittäishalkeamien havaitsemiseen ja toisistaan erottamiseen suuressa lieriömäisessä pinnassa, kuten suuren ydinpaineastian sisällä, vain yhden ylikulun aikana.

Keksintö käsittää myös vaihtoehtoisen suoritusmuodon, johon kuuluu kolmas vastaanotin, joka on sijoitettu kelkalle vastapäätä lähetintä tutkimusvyöhykkeen suhteen ottamaan vastaan heijastuneita signaaleja, jotka kulkevat samassa suunnassa pinnan tasossa kuin lähetetty ääniaalto. Kolmas vastaanotin voi siis havaita verhouksen ja pohjan välisen delaminaation, joka voi esiintyä verhotussa ydinpaineastiassa.

Kun lähetin ja vastaanottimet sijoitetaan tässä kuvatulla tavalla, esillä oleva keksintö rajoittaa vikojen havaitsemisen kiinteässä kappaleessa tutkimusvyöhykkeeseen, joka sijaitsee ennalta määrätyllä syvyydellä kappaleen pinnan alapuolella. Kun vastaanottimet lisäksi sijoitetaan useihin eri suuntiin tutkimusvyöhykkeen ympärille tutkimusprosessin aikana, järjestelmän käyttäjä voi esillä olevan keksinnön avulla havaita ja erottaa toisistaan monenlaisia vikoja ilman, että tietyn pisteen yli täytyy kulkea useita kertoja.

Keksintö kohdistuu myös menetelmään pääasiassa lieriömäisen kiinteän kappaleen pinnan tutkimiseksi käyttämällä edellä mainittua tutkimusjärjestelmää. Keksinnön mukaiselle menetelmälle on tunnusomaista se, että kelkka suunnataan siten, että lähetin ja ensimmäinen vastaanotin rajoittavat lieriömäisen kiinteän kappaleen pituusakselin suuntaisen viivan, ja että kelkka sijoitetaan lieriömäisen pinnan suhteen mainitulle kiinteälle etäisyydelle, ja tutkimusjärjestelmä kuljetetaan lieriömäisen kiinteän kappaleen mainitun pinnan yli, jolloin ensimmäinen vastaanotin ottaa vastaan kiinteässä aineessa mahdollisesti esiintyvistä pitkittäishalkeamista

heijastuneen äänen tutkimusvyöhykkeessä, ja toinen vastaanotin ottaa vastaan kiinteässä aineessa tutkimusvyöhykkeessä mahdollisesti esiintyvistä kehän suuntaisista halkeamista heijastuneen äänen.

Piirustuksen kuvioissa

kuvio 1 esittää isometrisenä kuvana esillä olevaa keksintöä kiinteän aineen pinnan yli tapahtuvan ylikulun aikana, kuvio 2 esittää kaaviona lähetetyn ultraääniaallon ja vastaanottimen vastaanottamien heijastuneiden säteiden suunnan välistä kulmasuhdetta, kuvio 3 esittää lähetettyjä ja heijastuneita ultraääniaaltoja pinnan tasossa nähtyinä, ja kuviot 4a, 4b ja 4c esittävät erityyppisten vikojen vaikutusta heijastuneen ääniaallon suuntaan pinnan tasossa nähtynä.

Kuvio 1 esittää esillä olevan keksinnön edullisen suoritusmuodon, jossa on ultraäänilähetin 10 ja vastakkaiset ultraäänivastaanottimet 12, 16, jotka on kiinnitetty liikkuvalle kelkalle 18. Kuviossa 1 esitetään myös vaihtoehtoinen suoritusmuoto, jossa lisävastaanotin 14 on myös kiinnitetty kelkaan 18.

Kelkassa 18 on osat 20, jotka pitävät kelkan kiinteän välimatkan päässä tutkittavan kiinteän aineen oleellisen tasaisen pinnan 22 yläpuolella. Vaikka nämä osat on esitetty tässä yksinkertaisina pyörinä tai rullina, jotka on kiinnitetty kelkkaan 18 ja jotka vierivät pinnan yli, ne voivat vaihtoehtoisesti muodostua mitä moninaisimmista sijoitusapuosista kuten mekaanisesta, esittämättä jätetystä puomista, joka on kiinnitetty jäykästi kiinteän kappaleen johonkin muuhun kohtaan kelkan 18 kuljettamiseksi tarkasti pinnan 22 yli, tai joistakin muista osista, joita voitaisiin käyttää kelkan 18 siirtoon. Käytetty siirtomekanismityyppi riippuu kulloisestakin käytöstä ja niistä rajoituksista, joiden alaisena tutkimusjärjestelmän on toimittava. Sen tähden nämä osat on tässä esitetty vain havainnollistavassa eikä rajoittavassa mielessä.

Kiinteä kappale, jonka osa pinta 22 on, on esitetty kuviossa 1 yhdistelmäkappaleena, jossa on verhous 24, joka on sovitettu pohjan 26 päälle. Ydinreaktoriastiassa pohja 24 olisi tehty esim. ruostumattomasta teräksestä, ja sen paksuus olisi n. 1,0 cm. Pohja 26 on tässä tilanteessa tavallisesti jokin hiiliteräksen muoto ja huomattavasti paksumpi kuin ruostumattomasta teräksestä tehty verhous 24.

Kun verhottua astiaa, jollainen on esitetty kuviossa 1, tutkitaan, on erittäin tärkeää, ettei verhouksen 24 ja pohjan 26 välissä ole halkeamia tai muita vikoja, jotta välttyttäisiin toimintahäiriöiltä ydinreaktorin käytön aikana. Nykyiset tutkimusohjeet edellyttävät tämän rajapinnan täydellistä tutkimusta astian koko sisäpinnan osalta, jotta sekä kehän suuntaiset että pitkittäishalkeamat samoin kuin mahdolliset muut viat havaittaisiin.

Lähetin 10 on ultraäänioskillaattori, joka tyypillisesti toimii taajuudella 2,25 megahertziä. Lähetin lähettää suunnatun ultraäänienenergiasäteen alaspäin verhouksen 24 pinnan 22 alapuolelle ääntä johtavan väliaineen (ei esitetty kuviossa 1) kuten veden läpi. Pinnan 22 alapuolella olevien vikojen heijastamat ääniaallot kulkevat ylöspäin poistuen pinnalta, ja ne havaitaan vastaanottimien 12, 14, 16 avulla, jotka ovat samantaisia kuin suuntamikrofonit sikäli, että niiden paras vastaanottokulma on rajoittunut määrättyyn suuntaan. Lähettimen 10 tarvitsema teho ja sähkösignaalit, jotka edustavat jokaisesta vastaanottimesta 12, 14, 16 tulevien havaittujen ääniaaltojen voimakkuutta, kulkevat kuviossa 1 esitettyjen sähköjohtojen tai muiden elimien esittämättä jätetystä tarkkailupisteestä. Tehon syöttö ja signaalien tulkintalaite ovat tunnettuja ultraäänitutkimuksen alalla, eikä niitä tarvitse tässä selittää. Riittääköön, kun sanotaan, että tulkintalaite toimii havaitakseen vastaanotetun äänen epänormaalin korkean tason esiintymisen jossakin vastaanottimessa 12, 14, 16 normaalin tausta- tai interferenssiäänitason yläpuolella. Tällainen epänormaalin korkea äänitaso osoittaa, että pinnan 22 alapuolella on heijastava vika.

Kuvio 2 esittää kaaviollisesti sekä lähetettyjen että heijastuneiden ääniaaltojen ratojen keskiviivoja, sellaisina kuin ne näkyvinä esiintyisivät. Kuvion lähetintä 10 ja vastaanottimia 12, 14, 16 edustavat pisteet 10a, 12a, 14a ja vastaavasti 16a. Lähetetyn ääniaallon 30 rata kulkee johtavan väliaineen 32 (osa 30a) läpi, kohtaa verhouksen 24 pinnan 22 pisteessä 34 ja kulkee sitten (osa 30b) kiinteän aineen 24 läpi polttopisteeseen 36, joka sijaitsee ennalta määrätyn välimatkan 40 päässä pinnan 22 alapuolella kiinteän aineen 24 sisällä.

On tärkeää huomata, että ääniaalto 30 taivutuu kohdatessaan kiinteän aineen 24 äänen nopeuden välisen eron takia johtavassa väliaineessa 32 ja kiinteässä aineessa 24. Liikuttaessa erilais-ten aineiden välisen rajapinnan läpi aiheuttaa tämä taivutuminen terävän kulman lähetetyn ääniaallon 30 kahden osan 30a, 30b välille pinnan pisteessä 34. Tämä pintataivutustoimio, joka tunnetaan erilaisten väliaineiden välillä kulkevien ääniaaltojen kohdalla, voidaan laskea käyttämällä akustiikan perusperiaatteita.

Esillä olevan keksinnön mukaisesti lähetin 10 on suunnattu pinnan 22 suhteen siten, että kulma 38 muodostuu pinnan 22 tason ja lähetetyn ääniaallon 30b radan välille kiinteän aineen sisällä. Tämä n. 20° :n kulma on kokemukseen perustuen todettu optimaaliseksi kulmaksi ultraäänienergian siirron kannalta kiinteän aineen 24 sisällä melko matalilla syvyyksillä pinnan 22 alapuolella esiintyvien vikojen havaitsemista varten. On todettu, että 20° :ta suurempi kulma 38 johtaa siihen, että lähetetty säde 30b kulkee syvällä kiinteän aineen 24, 26 sisällä, jolloin hyötysuhde pienenee. Alle 20° :n kulma 38 aiheuttaa pinta-aallon muodostuksen pintaa 22 pitkin sekä heijastuksen pinnalta takaisin johtavaan väliaineeseen 32 ja tiettyjä laatumuutoksia, jotka kaikki vaimentavat ääniaalltoa kiinteän aineen 24 sisällä.

Polttopiste 36 sijaitsee ennalta määrättyllä syvyydellä kiinteän aineen 24 pinnan 22 alapuolella. Tämä syvyys, jota on

merkitty numerolla 40 kuviossa 2, valitaan sen käytön mukaan, johon tutkimusjärjestelmä kohdistuu. Kun kysymyksessä on ydinreaktoriastia, jossa on ruostumattomasta teräksestä tehty verhous 24 hiiliteräspohjan 26 sisäosan päällä, tämä ennalta määrätty syvyys 40 valitaan yhtä suureksi kuin verhouksen 24 paksuus, tyypillisesti n. 1,0 cm. Polttopisteen 36 ympärillä voidaan nyt määrittää tutkimusvyöhyke, jossa oleva vika aiheuttaa heijastuneen äänisignaalin, joka kulkee suunnassa, joka on riippuvainen vian laadusta ja lähetetyn ääniaallon suunnasta. Tällaisena tutkimusvyöhykkeenä voidaan pitää tilavuutta, joka ympäröi polttopistettä 36 ja jonka halkaisija on riippuvainen lähettimestä 10 lähetetyn ääniaallon leveydestä. Kapeampi ääniaalto johtaa vastaavasti pienempään tutkimusvyöhykkeeseen ja päinvastoin. Tyypillinen ultraäänilähetin, jossa on 2,5 cm:n halkaisijan omaava äänigeneraattori, antaisi tulokseksi polttopistettä ympäröivän tutkimusvyöhykkeen, jonka halkaisija on n. 1,3 cm keksinnön edullisessa suoritussuunnassa.

Vastaanottimet 12, 14, 16 on kiinnitetty kelkkaan 10, kuten kuviossa 1 esitetään, ja suunnattu siten, että ne ottavat vastaan heijastuneen, ratoja 42, 44, 46 pitkin kulkevan äänisäteilyn. Kun vastaanottimet 12, 14, 16 suunnataan tällä tavoin, vältetään vastaanottamasta ei-toivottuja heijastuksia vioista, jotka eivät sijaitse tutkimusvyöhykkeen sisällä. Kuten piirustuksen kuvioista voidaan selvästi nähdä, heijastuneen äänen radat 42, 44, 46 ovat muodoltaan samanlaiset kuin lähetetyn äänen rata 30 vain suunnan ja sijainnin vaihdellessa. Heijastuneen äänen ratojen ne osat kiinteään aineeseen 24 sisällä, joita on merkitty numeroilla 42a, 44a ja 46a, muodostavat siis kukin n. 20°:n kulmat pinnan 22 tason kanssa ja taivuttavat myös kulkiessaan kiinteästä aineesta 24 väliaineeseen 32.

Kuviosta 2 voidaan nähdä, että pisteet 10a, 12a, 14a ja 16a muodostavat neliön tasossa, joka on pinnan 22 tason suuntainen. Esillä olevan keksinnön edullisessa suoritussuunnassa ensimmäinen

vastaanotin 12 ja toinen vastaanotin 16 on sijoitettu saman välimatkan päähän lähettimestä 10 ja sovitettu siten, että ne muodostavat tasakylkisen kolmion, jonka kärki sijaitsee pisteessä 10a. Vaihtoehtoinen suoritusmuoto, johon on lisätty kolmas vastaanotin 14, on esitetty kokonaan kuvioissa 1 ja 2, jotka esittävät neliön 10a, 12a, 14a, 16a muodostusta vastaanottimen 14 ollessa sijoitettuna kulmaan 14a vastapäätä lähettimen 10 kulmaa.

Kun johtavana väliaineena 32 on vesi ja verhousaineena 24 on ruostumaton teräs, väliaineen 32 läpi kulkevan, lähetetyn ääniaallon osan 30a radan ja pinnan 22 tasosta leikkauspisteessä 34 kohoavan, numerolla 48 merkityn kohtisuoran muodostama kulma olisi n. $13,9^{\circ}$. Kuten edellä on todettu, jos johtavan väliaineen 32 tai kiinteän aineen 24 koostumus olisi muu kuin vesi tai vastaavasti ruostumaton teräs, on tämä kulma 50 laskettava uudelleen riippuen äänen nopeuden vaihtelusta eri aineiden sisällä, jolloin kulma 38 pidetään edullisesti n. 20° :n kokoisena.

Eräs toinen edullisen suoritusmuodon tunnusmerkki ei käy ilmi piirustuksen kuvioista, ja se liittyy äänisäteilyn voimakkuuteen polttopisteessä 36. Akustiikkatieteen eräänä perusperiaatteena on, että voimakkaimman äänienergian esiintymiskohta ei ole välittömästi äänigeneraattorin viereisessä pisteessä, vaan se esiintyy itse asiassa jonkin matkan päässä siitä. Etäisyys tähän äänen maksimaalisen voimakkuuden pisteeseen, jota etäisyyttä nimitetään Fresnelin etäisyydeksi, on äänigeneraattorin halkaisijan ja kehitettävän äänen aallonpituuden funktio. Etäisyys määrätään seuraavan yhtälön avulla: Fresnelin etäisyys = $40D/\lambda$, jossa D on äänigeneraattorin halkaisija ja λ on kehitetyn äänen aallonpituus.

Sijoittamalla polttopiste 36 Fresnelin etäisyyden päähän lähettimestä 10, maksimoidaan ääniaallon voimakkuus tutkimusvyöhykkeessä, mikä parantaa tutkimuksen tehokkuutta. Vaikka yllä oleva yhtälö koskee vain yhden väliaineen läpi kulkevia

ääniaaltoja, yhtälöä voidaan laajentaa kattamaan useiden väliaineiden läpi kulkeva ääni, kuten esillä olevassa keksinnössä. Tätä tapausta varten Fresnelin yhtälö supistuu seuraavasti:

$$4D = L_1\lambda_1 + L_2\lambda_2,$$

jossa D on äänigeneraattorin halkaisija, L_1 on johtavassa väliaineessa kuljettu matka (10a:sta 34:ään), λ_1 on äänen aallonpituus johtavassa väliaineessa 32, L_2 on kiinteässä aineessa kuljettu matka (34:sta 36:een) ja λ_2 on äänen aallonpituus kiinteään aineeseen 24 sisällä. Tämä yhtälö antaa tulokseksi joukon ratkaisuja L_1 :ssä ja L_2 :ssa D :n, λ_1 :n ja λ_2 :n tiettyjä arvoja varten.

Sijoittamalla polttopiste 36 ennalta määrätyn etäisyyden 40 päähän kiinteään aineeseen 24 pinnan 22 alapuolelle, voidaan etäisyys L_2 laskea yksinkertaisen trigonometrisen suhteen perusteella. Tämä antaa ainutlaatuisen ratkaisun yllä olevaan yhtälöön ja määrittää sen etäisyyden 51 pinnan 22 yläpuolella, jossa kelkan 18 on pidettävä lähetin 10. Kun ruostumattoman teräsverhouksen paksuus on 1,0 cm ja se on upotettu veteen, etäisyys olisi n. 7,1 cm pinnan yläpuolella. Tällöin polttopiste 36 sijaitsisi sekä 9,51 mm:n syvyydellä 40 pinnan 22 alapuolella että Fresnelin etäisyydellä äänilähetimestä.

Kuvio 3 esittää lähetintä 10 ja vastaanottimia 12, 14, 16 nähtyinä pinnan 22 tason suuntaisessa tasossa. Siinä esitetään myös lähetetyn 30 ja heijastuneen 42, 44, 46 äänen radat. Kelkka 18 esitetään myös. Kuten kuvioista 3 voidaan nähdä, lähetetty ääniaalto 30 kohtaa tutkimusalueen 52, jossa se voi heijastua useissa suunnissa. Ääniradat 42 ja 46 kohtavat edullisen suoritusmuodon vastaanottimet 12, 16, ja niiden tehtävänä on havaita tutkimusvyöhykkeessä mahdollisesti esiintyvät halkeamat, kuten seuraavassa selitetään tarkemmin. Vastaanotin 14 esitetään tässä vaihtoehtoisen suoritusmuodon osana niiden ääniaaltojen 44 havaitsemiseksi, jotka heijastuisivat takaisin pintaa 22 kohti tutkimusvyöhykkeeltä ilman merkittävää suunnan muutosta pinnan 22 tasossa katsottuna, kuten kuviossa 3 esitetään.

Kuviot 4a, b ja c esittävät esillä olevan keksinnön kykyä erottaa erityyppiset viat, joita voidaan odottaa esiintyvän tutkittaessa kiinteää kappaletta, erityisesti suurta lieriömäistä paineastiaa, jossa on sisäpuolinen verhous 24 pohjan 26 päällä.

Kuvio 4a esittää lähetetyn ääniaallon 30 heijastumista aallon kohdatessa lieriömäisen, numerolla 22a merkityn astian pinnan alapuolella olevan pitkittäishalkeaman 54. Tämän tyyppisen vian toteamiseksi lähetin 10 ja ensimmäinen vastaanotin 12 suunnataan siten, että ne rajoittavat viivan 56, joka on lieriömäisen pinnan 22a esittämättä jätetyn pituusakselin suuntainen. Lähetetty ääniaalto 30 kohtaa halkeaman 54 45° :n kulmassa ja heijastuu siitä radalle 42. Vastaanotin 12, mutta eivät vastaanottimet 14 ja 16, havaitsee heijastuneen ääniaallon 42, jolloin siis todetaan sekä vian 54 olemassaolo että sen laatu pitkittäishalkeamana.

Kuvio 4b esittää kehän suuntaisen halkeaman havaintoa lieriömäisen pinnan 22a alapuolella. Heijastunut ääniaalto 46 nähdään vain vastaanottimen 16 havaitsemana, mikä osoittaa sekä vian 58 olemassaolon että sen laadun kehän suuntaisena halkeamana. Vastaanottimet on suunnattu kuviossa 4b kuten kuviossa 4a vastaanottimien 10 ja 12 rajoittaessa viivan, joka on lieriömäisen pinnan 22a pituusakselin suuntainen.

Kuvio 4c esittää esillä olevan keksinnön mukaista vaihtoehtoista suoritusmuotoa, jota käytetään verhouksen 24 ja pohjan 26 välissä pinnan 22a alapuolella esiintyvän delaminaation havaitsemiseen. Ääni 44 heijastuu ylöspäin delaminaatiosta 60, joka toimii peilinä pinnan 22a suuntaisesti, mikä saa lähetetyn ääniaallon 30 heijastumaan ylöspäin suuntaa muuttamatta pinnan 22a tasossa katsottuna. Ääniaallon 44 havaitseminen vain vastaanottimen 14 avulla osoittaa sekä vian 60 olemassaoloa että vian laatua delaminaationa. Tällaiset delaminaatioviat ovat verraten harvinaisia ydinpaineastioissa, minkä vuoksi kuvion 4c suoritusmuotoa nimitetään tässä vaihtoehtoiseksi

eikä edulliseksi suorituseruodoksi.

On myös huomattava, että vaikka esillä olevan keksinnön laite on määritelty pinnan 22 tason puitteissa, tämä on tarkoitettu käsittämään kaikki oleellisen tasaiset pinnat kuten ydinpaineastian lieriömäisen sisäpinnan 22a tai sentapaiset. Nämä astiat ovat niin suuria verrattuna laitteen kokoon, että sisäpintaa 22a voidaan pitää tasaisena kaikkia käytännön tarkoituksia varten. Jos tutkittavan kiinteän kappaleen pinta olisi selvemmin kaareva, täytyisi lähettimen 10 ja vastaanottimien 12, 14, 16 suuntaa muuttaa, jotta tuloksena olisi ääniaaltojen oikea lähetys ja havaitseminen, kuten tässä on esitetty.

Esillä olevan keksinnön mukaisen ultraääniskannausjärjestelmän tarvitsee siis skannata tietty piste vain kerran, jotta todettaisiin, esiintyykö jokin vika tutkimusvyöhykkeessä 52, joka sijaitsee ennalta määrätyn etäisyyden 40 päässä pinnan 22 alapuolella. Tämä tarjoaa huomattavan edun tunnettuihin järjestelmiin verrattuna, joissa ultraääniskannausjärjestelmä on vieävä kunkin eri pisteen yli useita kertoja eri suunnassa, jotta varmistetaan: 1) onko jokin vika olemassa, 2) minkälainen vika on (kehän suuntainen halkeama, delaminaatio jne.) ja 3) sijaitseeko vika verhouksen 24 ja pohjan 26 välisessä rajapinnassa. Kun moninkertaiset skannaukset on poistettu, esillä olevan keksinnön mukainen laite ja menetelmä johtavat huomattaviin ajan ja kustannusten säästöihin ydinvoima-astioiden käytön aikana.

Patenttivaatimukset

1. Ultraäänitutkimusjärjestelmä vikojen havaitsemiseksi tutkimusvyöhykkeessä, joka ympäröi polttopistettä (36), joka sijaitsee ennalta määrätyn etäisyyden päässä kiinteän aineen (24) oleellisen tasaisen pinnan (22) alapuolella, jolloin mainittu kiinteä aine on upotettu ääntä johtavaan väliaineeseen (32), **tunnettu** siitä, että se käsittää

- kelkan (18) tutkimusjärjestelmän kuljettamiseksi pinnan yli, jolloin näiden välillä säilytetään muuttumaton kiinteä etäisyys,

- kelkkaan kiinnitetyn ultraäänilähettimen (10) ultraäänisäteiden suuntaamiseksi mainitun väliaineen (32) läpi kiinteään aineeseen (24) tutkimusvyöhykettä kohti, jolloin lähetin on lisäksi suunnattu pinnan suhteen siten, että mainitussa aineessa kulkevan säteen radan ja tasaisen pinnan väliin muodostuu n. 20°:n kulma (38),

- kelkkaan kiinnitetyn ensimmäisen ultraäänivastaanottimen (12), joka ottaa vastaan heijastuneen ultraäänien, joka on peräisin mainitussa tutkimusvyöhykkeessä esiintyvistä viasta, jolloin ensimmäinen vastaanotin on suunnattu mainitun aineen pinnan suhteen siten, että se ottaa vastaan heijastunutta ääntä, joka on peräisin tutkimusvyöhykkeestä ja kulkee kiinteän aineen (24) läpi heijastuneen äänen rataa pitkin muodostaen n. 20°:n kulman mainitun tasaisen pinnan kanssa, ja

- kelkkaan kiinnitetyn toisen ultraäänivastaanottimen (16), joka ottaa vastaan heijastuneen ultraäänien, joka on peräisin tutkimusvyöhykkeessä esiintyvistä viasta, jolloin toinen vastaanotin on suunnattu mainitun aineen mainitun tasaisen pinnan suhteen siten, että se ottaa vastaan vain heijastuneen äänen, joka on peräisin tutkimusvyöhykkeestä ja kulkee mainitun aineen läpi heijastuneen äänen rataa pitkin, joka muodostaa n. 20°:n kulman tasaisen pinnan kanssa.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen tutkimusjärjestelmä, **tunnettu** siitä, että lähetetyn ääniaallon mainitun lähettimen ja tutkimusvyöhykkeen välillä kulkema matka on yhtä suuri kuin Fresnelin etäisyys määritettynä lähetintä ja äänen

aallonpituutta varten äänen kulkiessa väliaineen (32) ja kiinteän aineen (24) läpi.

3. Patenttivaatimuksen 1 mukainen tutkimusjärjestelmä, tunnettu siitä, että ensimmäinen vastaanotin (12) on lisäksi suunnattu siten, että se ottaa vastaan vain heijastuneen äänen, joka kulkee lähetetyn ääniaallon rataa vastaan kohtisuoralla radalla mainitun tasaisen pinnan suuntaisessa tasossa katsottuna, ja että toinen vastaanotin (16) on suunnattu ottamaan vastaan vain heijastuneen äänen, joka kulkee lähetetyn ääniaallon rataa vastaan kohtisuoraa rataa pitkin tasaisen pinnan suuntaisessa tasossa katsottuna, jolloin toinen vastaanotin on lisäksi sijoitettu vastapäätä ensimmäistä vastaanotinta tutkimusvyöhykkeen suhteen.

4. Patenttivaatimuksen 3 mukainen tutkimusjärjestelmä, tunnettu siitä, että lähetetyn ääniaallon kulkema matka on yhtä suuri kuin Fresnelin etäisyys lähettimen halkaisijan ja äänen aallonpituuden määrittämänä äänen kulkiessa väliaineen (32) ja kiinteän aineen (24) läpi.

5. Patenttivaatimuksen 3 mukainen tutkimusjärjestelmä, tunnettu siitä, että se lisäksi käsittää kelkkaan (18) kiinnitetyn kolmannen ultraäänivastaanottimen (14), joka ottaa vastaan heijastuneen ultraäänisäteilyn, joka on peräisin tutkimusvyöhykkeessä esiintyvistä viasta, jolloin mainittu vastaanotin on suunnattu mainitun aineen tasaisen pinnan suhteen siten, että se ottaa vastaan vain äänen, joka on peräisin mainitusta vyöhykkeestä ja joka kulkee mainitun aineen läpi paluurataa pitkin, joka muodostaa n. 20°:n kulman tasaisen pinnan kanssa, jolloin kolmas vastaanotin lisäksi on sovitettu samalle suoralle viivalle lähettimen suhteen tasaisen pinnan suuntaisessa tasossa katsottuna.

6. Patenttivaatimuksen 5 mukainen tutkimusjärjestelmä, tunnettu siitä, että lähetetyn ääniaallon kulkema matka on yhtä suuri kuin Fresnelin etäisyys lähettimen halkaisijan ja äänen aallonpituuden määrittämänä äänen kulkiessa väliaineen (32) ja kiinteän aineen (24) läpi.

7. Menetelmä pääasiassa lieriömäisen kiinteän kappaleen pinnan tutkimiseksi käyttämällä patenttivaatimuksen 3 mukaista tutkimusjärjestelmää, tunnettu vaiheista, joissa

- kelkka (18) suunnataan siten, että lähetin (10) ja ensimmäinen vastaanotin (12) rajoittavat lieriömäisen kiinteän kappaleen pituusakselin suuntaisen viivan, ja että kelkka sijoitetaan lieriömäisen pinnan suhteen mainitulle kiinteälle etäisyydelle, ja

- tutkimusjärjestelmä kuljetetaan lieriömäisen kiinteän kappaleen mainitun pinnan yli, jolloin ensimmäinen vastaanotin (12) ottaa vastaan kiinteässä aineessa mahdollisesti esiintyvistä pitkittäishalkeamista heijastuneen äänen tutkimusvyöhykkeessä, ja toinen vastaanotin (16) ottaa vastaan kiinteässä aineessa tutkimusvyöhykkeessä mahdollisesti esiintyvistä kehän suuntaisista halkeamista heijastuneen äänen.

8. Ultraäänitutkimusjärjestelmä vikojen havaitsemiseksi tutkimusvyöhykkeessä ruostumattomasta teräksestä tehdyn kappaleen oleellisen tasaisen pinnan alapuolella, jolloin mainittu pinta on upotettu veteen, tunnettu siitä, että se käsittää

- kelkan (18), joka kulkee mainitun pinnan yli, jolloin näiden välillä säilytetään kiinteä etäisyys,

- kelkkaan kiinnitetyn lähettimen (10) ultraäänisäteiden lähettämiseksi ruostumattomaan teräkseen, jolloin lähetin on suunnattu siten, että lähetetyn säteen keskiviivan ja vedessä olevaa tasaista pintaa vastaan kohtisuoran viivan väliin muodostuu n. 13,9°:n kulma, jolloin lähetin on sijoitettu siten, että lähetetty säde kulkee tutkimusvyöhykkeen läpi, ja

- ensimmäisen vastaanottimen (12) ja toisen vastaanottimen (16), jotka on kumpikin kiinnitetty kelkkaan vastapäätä toisiaan, sijoitettu yhtä suuren välimatkan päähän lähettimestä ja kumpikin suunnattu siten, että ne ottavat vastaan vain tutkimusvyöhykkeessä esiintyvien vikojen heijastaman äänen, jolloin ensimmäinen ja toinen vastaanotin on lisäksi suunnattu siten, että ne ottavat vastaan vain äänen, joka kulkee lähetettyä sädettä vastaan kohtisuoraan mainitun tasaisen pinnan suuntaisessa tasossa katsottuna ja jolla on äänira-

dat, jotka muodostavat n. $13,9^\circ$:n kulman mainitussa vedessä olevan radan keskiviivan ja mainittua tasaista pintaa vastaan kohtisuoran viivan välille.

9. Patenttivaatimuksen 8 mukainen tutkimusjärjestelmä, tunnettu siitä, että se lisäksi käsittää kelkkaan (18) kiinnitetyn kolmannen vastaanottimen (14), joka on sovitettu yhtä suuren välimatkan päähän ensimmäisestä ja toisesta vastaanottimesta (12, 16) ja suunnattu siten, että se ottaa vastaan vain tutkimusvyöhykkeessä esiintyvien vikojen heijastaman äänen, jolloin kolmas vastaanotin on lisäksi suunnattu siten, että se ottaa vastaan samansuuntaisesti lähetetyn ääniaallon kanssa kulkevan äänen katsottuna tasaisen pinnan suuntaisessa tasossa ja mainitussa vedessä olevaa rataa pitkin, joka muodostaa n. $13,9^\circ$:n kulman tasaista pintaa vastaan kohtisuoran viivan kanssa.

10. Patenttivaatimuksen 8 mukainen tutkimusjärjestelmä, tunnettu siitä, että mainittu kiinteä etäisyys on 7,1 cm (3 tuumaa), tutkimusvyöhyke sijaitsee 9,51 mm ($3/8$ tuumaa) ruostumattomasta teräksestä tehdyn kiinteän kappaleen tasaisen pinnan alapuolella, mainittu vesi peittää sekä mainitun pinnan että tutkimusjärjestelmän ja lähetin kehittää äänen, jonka taajuus on 2,25 megahertziä.

11. Menetelmä kiinteän aineen oleellisen tasaisen pinnan alapuolella sijaitsevan tutkimusvyöhykkeen ultraäänitutkimusta varten, tunnettu siitä, että se käsittää vaiheet, joissa

- mainittuun aineeseen ja tutkimusvyöhykkeeseen lähetetään ultraäänisäde, jonka keskiviiva kiinteän aineen sisällä muodostaa n. 20° :n kulman mainitun tasaisen pinnan kanssa, ja
- tutkimusvyöhykettä ympäröivän kiinteän aineen mainittua pintaa tarkkaillaan ultraäänisäteilyn havaitsemiseksi, jonka tutkimusvyöhykkeessä esiintyvä vika heijastaa ja jonka radan keskiviiva muodostaa n. 20° :n kulman mainitun tasaisen pinnan kanssa kiinteän aineen sisällä.

Patentkrav

1. Provningsystem med ultraljud vid detektering förekomsten av fel i en undersökningszon omgivande en fokalpunkt (36) förlagd med ett på förhand valt avstånd under en väsentligen plan yta (22) av fast material (24), varvid det fasta materialet är nersänkt i en ljudsledande medium (32), **kännetecknat** av att det innefattar
 - en bärare (18) transporterande provningssystemet över ytan bibehållande däremellan ett konstant fast avstånd,
 - en ultraljudsändrare (10), fastsatt på bäraren, för rikande av en stråle av ultraljudstrålning genom mediet (32) och in i det fasta materialet (24) mot undersökningszonen, varvid sändaren vidare är orienterad i förhållande till ytan så att det bildas en vinkel (38) av ungefärligen 20° mellan strålvägen utbredande sig i materialet och den plana ytan,
 - en första ultraljudmottagare (12), fastsatt på bäraren, för mottagning av reflekterat ultraljud utgående som ett resultat av ett fel inom undersökningszonen, varvid den första mottagaren är orienterad i förhållande till ytan av materialet för att motta endast reflekterat ljud utgående inom undersökningszonen och utbredande sig genom det fasta materialet (24) längs en reflekterad ljudväg bildande en vinkel av ungefärligen 20° mot den plana ytan, och
 - en andra ultraljudmottagare (16), fastsatt på bäraren, för mottagning av reflekterat ultraljud utgående som ett resultat av en blåsa inom undersökningszonen, varvid den andra mottagaren är orienterad i förhållande till materialets plana yta för mottagning endast av reflekterat ljud utgående inom undersökningszonen och utbredande sig genom det fasta materialet längs en reflekterad ljudväg bildande en vinkel av ungefärligen 20° med den plana ytan.
2. Provningsystem enligt patentkrav 1, **kännetecknat** av att avståndet tillryggalagt av den utsända ljudstrålen mellan sändaren och undersökningszonen är lika med Fresnel-avståndet som är fastställt för sändaren och ljudvåglängden vid utbredning genom mediet (32) och det fasta materialet (24).

3. Provningssystem enligt patentkrav 1, kännetecknat av att den första mottagaren (12) vidare är orienterad för mottagning endast av reflekterat ljud utbredande sig längs en väg vinkelrätt mot vägen för den utsända ljudstrålen vid betraktning i ett plan parallellt med den plana ytan, och att den andra mottagaren (16) är orienterad för mottagning endast av reflekterat ljud utbredande sig längs en väg vinkelrätt mot vägen för den utsända ljudstrålen vid betraktning i ett plan parallellt med den plana ytan, varvid den andra mottagaren vidare är förlagd motsatt den första mottagaren i förhållande till undersökningszonen.

4. Provningssystem enligt patentkrav 3, kännetecknat av att avståndet tillryggalagt av den utsända ljudstrålen är lika med Fresnel-avståndet som fastställt av diametern för sändaren och ljudvåglängden vid utbredning genom mediet (32) och det fasta materialet (24).

5. Provningssystem enligt patentkrav 3, kännetecknat av att det ytterligare innefattar en tredje ultraljudmottagare (14), fastsatt på bäraren (18), för mottagning av reflekterat ultraljud utgående som ett resultat av en blåsa inom undersökningszonen, varvid mottagaren är orienterad i förhållande till materialets plana yta för mottagning endast av reflekterat ljud utgående inom undersökningszonen och utbredande sig genom det fasta materialet längs en reflekterad ljudväg bildande en vinkel av ungefärligen 20° mot den plana ytan, varvid den tredje mottagaren vidare är samlinjärt orienterad i förhållande till sändaren vid betraktning i ett plan parallellt med den plana ytan.

6. Provningssystem enligt patentkrav 5, kännetecknat av att avståndet tillryggalagt av den utsända ljudstrålen är lika med Fresnel-avståndet som är fastställt av sändarens diameter och ljudvåglängden vid utbredning genom mediet (32) och det fasta materialet (24).

7. Förfarande vid provning av ytan av en generellt cylindrisk fast kropp användande provningssystemet enligt patentkrav 3, **kännetecknat** av stegen

- orientering av bäraren (18) med sändaren (10) och den första mottagaren (12) definierande en linje parallell med längdaxeln för den cylindriska fasta kroppen och inplacering av bäraren i förhållande till den cylindriska ytan med ett fast avstånd, och
- förflyttning längs den cylindriska fasta kroppens yta med det arbetande provningssystemet, varvid den första mottagaren (12) mottar reflekterat ljud från eventuella längsgående sprickor i det fasta materialet inom undersökningszonen och den andra mottagaren (16) mottar reflekterat ljud från eventuella rundgående sprickor i det fasta materialet.

8. Provningsystem med ultraljud vid detektering förekomsten av blåsor i undersökningszon under en väsentligen plan yta av en kropp av rostfritt stål, varvid ytan är nersänkt i vatten, **kännetecknat** av att det innefattar

- en bärare (18) för åkförflyttning längs ytan under bibehållande av ett däremellan fast avstånd,
- en ultraljudsändare (10), fastsatt på bäraren, för utsändande av en stråle av ultraljud in i det rostfria stålet, varvid sändaren är orienterad för att resultera i bildandet av en vinkel av ungefärligen $13,9^\circ$ mellan mittlinjen för den utsända strålen och en linje vinkelrätt mot den plana ytan i vattnet, varvid sändaren sålunda placerad resulterar i passage av den utsända strålen genom undersökningszonen, och
- en första (12) och en andra mottagare (16), vardera fastsatta på bäraren i ett motsatt förhållande, vardera lika åtskilda från sändaren och vardera orienterade för mottagning endast av ljud reflekterat av blåsor förekommande inom undersökningszonen, varvid första och andra mottagaren vidare är orienterade för mottagning endast av ljud utbredande sig vinkelrätt mot den utsända strålen vid betraktning i ett plan parallellt med den plana ytan och med ljudvägar bildande en vinkel av ungefärligen $13,9^\circ$ mellan vägens centrumlinje i vattnet och en linje vinkelrätt mot den plana ytan.

9. Provningssystem enligt patentkrav 8, kännetecknat av att det ytterligare innefattar en tredje ultraljudmottagare (14), fastsatt på bäraren (18) och på lika avstånd från den första och den andra mottagaren (12, 16) och orienterad för mottagning av reflekterat ljud endast från blåsor förekommande inom undersökningszonen, varvid den tredje mottagaren vidare är orienterad för mottagning av ljud utbredande sig samlinjärt med den utsända ljudstrålen vid betraktning i ett plan parallellt med den plana ytan och längs en väg i vattnet bildande en vinkel av ungefärligen $13,9^\circ$ mot en linje vinkelrätt mot den plana ytan.

10. Provningssystem enligt patentkrav 8, kännetecknat av att det fasta avståndet är lika med 7,1 cm (3 tum), varvid undersökningszonen är 9,51 cm ($3/8$ tum) under den plana ytan av den fasta kroppen av rostfritt stål, varjämte vattnet omger både ytan och provningssystemet och sändaren alstrar ljud med en frekvens av 2,25 megahertz.

11. Förfarande vid ultraljudprovning av en undersökningszon belägen under en väsentligen plan yta av ett fast material, kännetecknat av att det innefattar stegen

- utsändning av ultraljud in i materialet och in i undersökningszonen, varvid centrumlinjen för strålen inne i det fasta materialet bildar en vinkel av omkring 20° mot den plana ytan, och

- övervakning av ytan av fast material omgivande undersökningszonen för detektion av ultraljudstrålning som både reflekteras av en blåsa befintlig inom undersökningszonen och som har en centrumlinje för vägen bildande en vinkel av ungefärligen 20° mot den plana ytan i det fasta materialet.

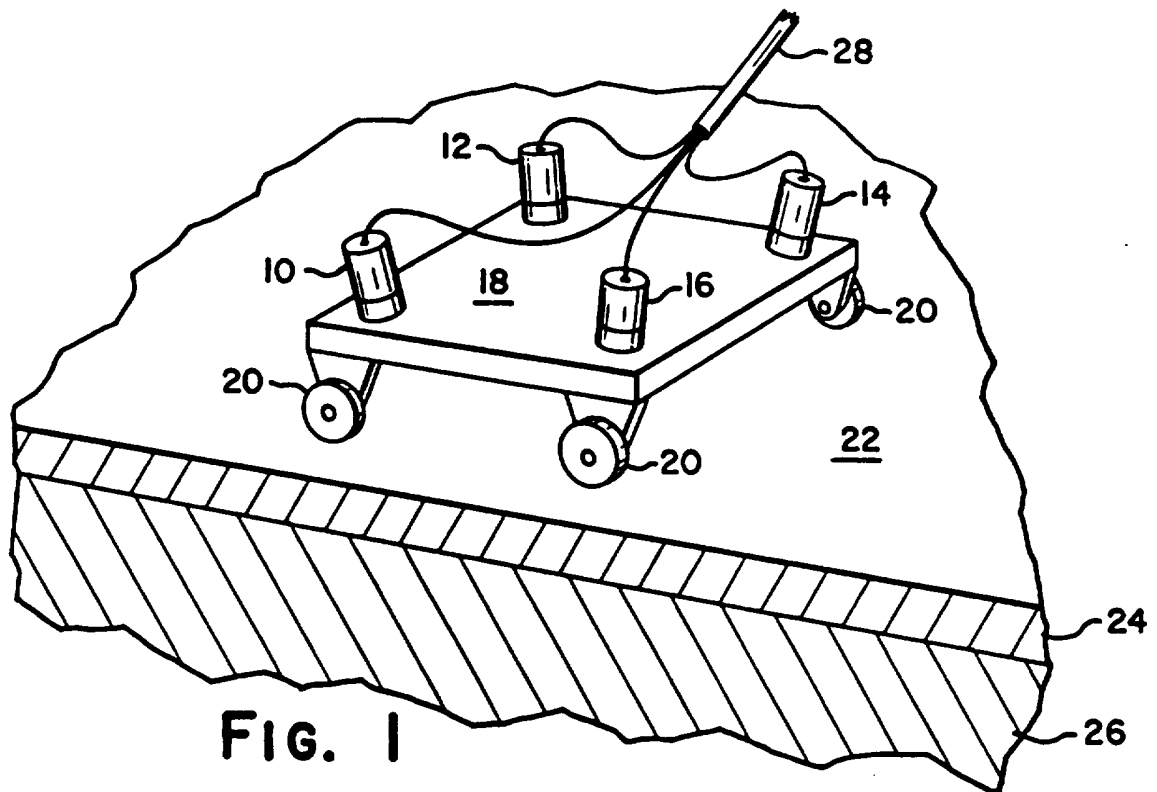


FIG. 1

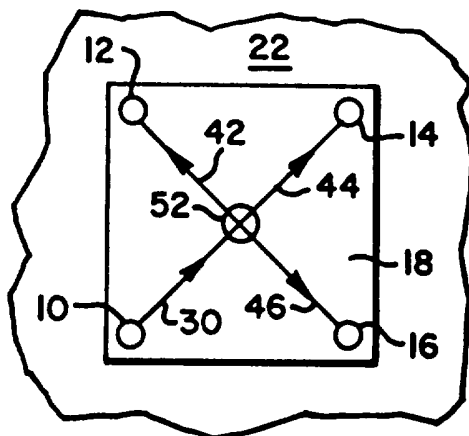


FIG. 3

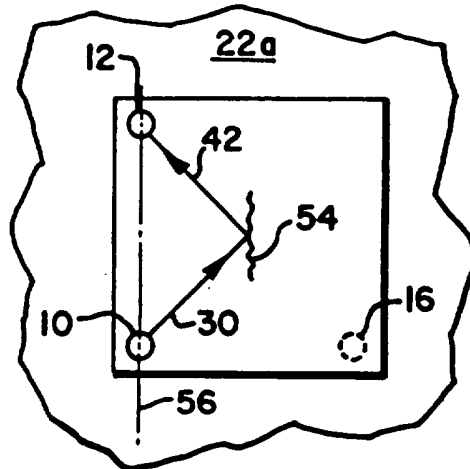


FIG. 4a

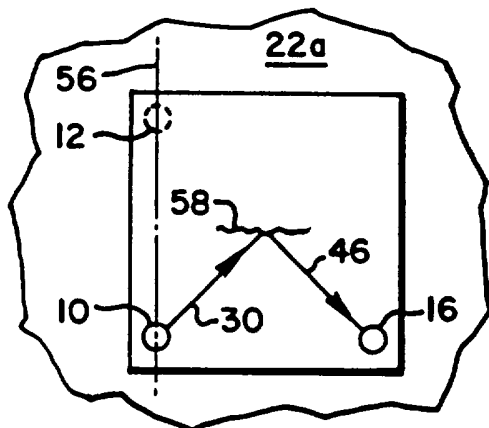


FIG. 4b

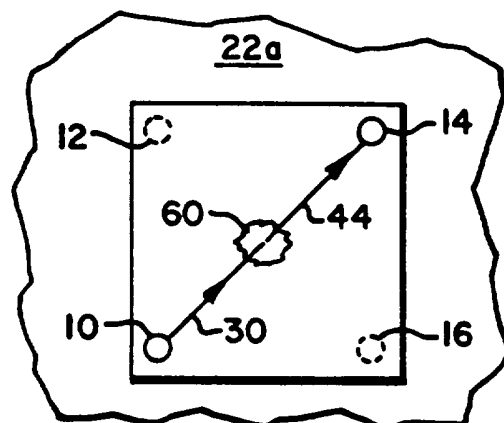


FIG. 4c

