



[B] (11) **KUULUTUSJULKAISU** 75053
UTLÄGNINGSSKRIFT

C (45) Detaljei myšaratty
Patent 21173 21 24 1988

(51) Kv.lk./Int.Cl.⁴ G 01 N 23/20, G 01 L 1/25

SUOMI-FINLAND

(FI)

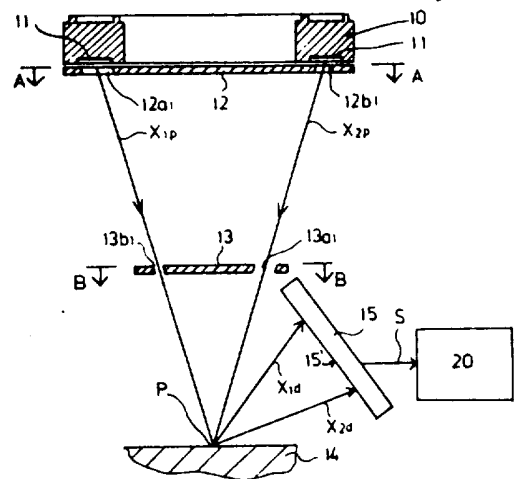
Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(21) Patentihakemus - Patentansökning 862765
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag 30.06.86
(23) Alkupäivä - Giltighetsdag 30.06.86
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig
(44) Nähtäväsipanon ja kuul.julkaisun pvm. -
Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad 31.12.87
(86) Kv. hakemus - Int. ansökan
(32) (33) (31) Pyydetty etuoikeus - Begärd prioritet

- (71) Insinööritoimisto Mexpert Oy, Länsituulentie 10, 02100 Espoo, Suomi-Finland(FI)
(72) Veikko Lindroos, Espoo, Pekka Hiismäki, Espoo, Matti Korhonen, Espoo, Lasse Suominen, Espoo, Suomi-Finland(FI)
(74) Forssén & Salomaa Oy
(54) Röntgendiffraktiomenetelmä ja -laite jännitysten mittaamiseksi - Röntgendiffraktionsförfarande och -anordning för mätning av spänningar

(57) Tiivistelmä

Röntgendiffraktiomenetelmä ja -laite metallien, etenkin terästen tai vastaavien jännitystilän mittaamiseksi. Tutkittavaan näytteeseen (14) kohdistetaan sen pinnan normaaliin (N) nähden ainakin kahdessa suunnassa primääriset röntgensäteet (X_{1p}, X_{2p}). Detektorilla (15) havaitaan primääriröntgensäteiden (X_{1p}, X_{2p}) vaikutuksesta näytteen (14) tutkittavasta kohdasta (P) diffraktoituneet röntgensäteet (X_{1d}, X_{2d}). Röntgensäteilylähteenä, jolla mainitut primäärisäteilykeilat (X_{1p}, X_{2p}) aikaansaadaan, käytetään radioisotooppilähdettä (10, 11). Detektorina (15), jolla mainitut diffraktoituneet säteilykeilat (X_{1d}, X_{2d}) havaitaan, käytetään paikantuntevaa detektoripintaa (15'), esim. puolijohdedetektoria, josta saatava fotosignaali ja/tai sähkösignaali johdetaan mittaus-signaalin käsittelyjärjestelmään (20), jolla lasketaan paikantunevan detektoripinnan (15') paikkahavaintojen (R₁, R₂) ja detektorin aseman perusteella mitattavat jännitykset siinä tavossa (x_j-x_j), jossa primäärisäteet (X_{1p}, X_{2p}) lähetetään. Radioisotooppilähteenä käytetään edullisimmin Fe⁵⁵-säteilylähdettä.



(57) Sammandrag

Röntgendiffraktionsförfarande för mätning av spänningstillståndet hos metaller, speciellt stål eller motsvarande. Man riktar primära röntgenstrålningskällor (X_{1p}, X_{2p}) på provet (14) som skall undersökas åtminstone i två riktningar i förhållande till normalen (N) av dess yta. Med en detektor (15) observerar man de röntgenstrålningskällor (X_{1d}, X_{2d}) som diffraktionerats från det undersökta stillet genom inverkan av nämnda primärröntgenstrålningskällor (X_{1p}, X_{2p}). Röntgenstrålningskällan, med vilken nämnda primärstrålningskällor (X_{1p}, X_{2p}) åstadkommes, utgörs av en radioisotopkälla (10,11). Detektor (15), med vilken nämnda diffraktionerade strålningskällor (X_{1d}, X_{2d}) observeras, utgörs av en ortkännande detektoryta (15'), t.ex. en halvlederdetektor, varvid fotosignalen och/eller elsignalen som erhålls från halvlederdetektorn leds till mätningssignalens behandlingssystem (20), med vilken spänningarna som skall mätas räknas ut på basen av den ortkännande detektorytans (15') ortobservationer (R_1, R_2) och läget på detektorn i det plan ($x_j - x_j$) där primärstrålningskällorna (X_{1p}, X_{2p}) avses. Radioisotopkällan utgörs fördelaktigast av en Fe^{55} -strålningskälla.

- 1 Röntgendiffraktiomenetelmä ja - laite
jännitysten mittaamiseksi
Röntgendiffraktionsförfarande och -anordning
för mätning av spänningar
- 5
- 10 Keksinnön kohteena on röntgendiffraktiomenetelmä metallien, etenkin terästen tai vastaavien jännitystilan mittaamiseksi, jossa menetelmässä tutkittavaan näytteeseen kohdistetaan sen pinnan normaaliin nähden ainakin kahdessa suunnassa primääriset röntgensädekeilat ja jossa menetelmässä käytetään detektoria, jolla havaitaan mainittujen primääriröntgensädekeilojen
- 15 vaikutuksesta näytteen tutkittavasta kohdasta diffraktoituneet röntgensädekeilat.
- Lisäksi keksinnön kohteena on keksinnön jonkin patenttivaatimuksen 1-6 mukaisen menetelmän toteuttamiseen tarkoitettu laite, joka käsittää runko-
- 20 osan, johon on kiinnitetty röntgensäteilylähde ja detektorijärjestely ja joka laite käsittää edelleen laitteiston detektorijärjestelystä saatavien signaalien käsittelemiseksi ja jännityksen mittaustulosten laskemiseksi ja näyttämiseksi ja/tai rekisteröimiseksi.
- 25 Ainetta rikkomaton jännitysmittauksen tarve on kasvanut voimakkaasti viime vuosina. Ainoa ainetta rikkomaton jännitysmittausmenetelmä, joka on laajemmassa käytössä, perustuu röntgensäteiden diffraktioon kiteisessä materiaalissa. Tunnettujen mittauslaitteiden suurimmat puutteet ovat niiden suuri koko ja hitaus, mikä vaikeuttaa työskentelyä etenkin kenttäolosuhteissa.
- 30 Röntgendiffraktioon perustuvat jännitysmittausmenetelmät mittaavat kiteisen materiaalin pinnan jännityksiä. Röntgensäteiden tunkeutumasyvyys on noin 5-25 μ m:n luokkaa. Pinnassa olevat jännitykset ovat rakenteiden kestävyyskannalta merkittäviä, koska vauriot saavat alkunsa yleensä
- 35 pintakerroksista; esimerkiksi jännityskorroosio, haurasmurtuma, väsyminen, jne.

1 Edellä ilmenneiden haittojen eliminoimiseksi hakija on esittänyt (FI pat. n:o 61 248) ns. parannetun kameramenetelmän, jonka vaatimien laitteiden koko on aikaisempaa pienempi ja rakenne yksinkertainen verrattuna sitä ennen yleisessä käytössä olleisiin diffraktometrilaitteisiin.

5

Röntgensäteiden diffraktioon perustuvia jännitysmittauslaitteita on periaatteeltaan kahdentyyppisiä: kamera- ja diffraktometrilaitteita. Kamera-konstruktioilla päästiin aiemmin yksinkertaisimpaan ja pienimpään laite-konstruktioon, mutta sen haittana on filmin valotuksen ja kehityksen vaatima suhteellisen pitkä aika. Diffraktometreillä mitataan röntgensäteiden intensiteettiä 2θ -kulman funktiona joko verrannollisuus- ja tuikelaskurilla. Laskurilla joudutaan pyyhkäisemään tietyn 2θ -kulma-alueen yli, mikä vaatii tarkan goniometrilaitteen, josta johtuen diffraktometrit ovat liian suuria, monimutkaisia ja kalliita laitteita kenttätyöskentelyyn. Diffraktometrien kokoa on saatu jonkin verran pienennettyä ja mittausnopeutta lisättyä ns. paikan tuntevilla detektoreilla.

15

Em. FI-patentin 61 248 mukaista kameramenetelmää ja -laitteistoa on hakija kehittänyt edelleen FI-patentissa 67 956 esitettyssä menetelmässä ja laitteistossa, jossa detektoripintana käytetään tuikepinnoitteita tai integroitujen piirien valmistustekniikalla tehtyä detektoripintaa, joilla pinnoitteilla näytteestä heijastuneet röntgensäteet muutetaan joko fotosignaaleiksi, jotka siirretään optisten kuitujen avulla ilmaisimelle tai suoraan tai välillisesti sähkösignaaliksi. Em. FI-patentin 67 956 mukaiselle laitteistolle on pääasiallisesti tunnusmerkkillistä se, että mainittu detektoripinta sijaitsee symmetrisesti kollimaattorin molemmiin puolin ja detektoripinnalla on tuikepinnoitteista muodostuvat tai integroitujen piirien valmistustekniikalla tehdyt osat, joilla detektoripintaan osunut röntgensäteily muutetaan fotosignaaleiksi ja/tai sähkösignaaleiksi ja joka laite käsittää edelleen yksikön tai yksiköt, joilla fotosignaalin ja/tai sähkösignaalin perusteella johdetaan mitattavat jännitykset.

25

30

Em. FI-patenttien 61 248 ja 67 956 mukaiset menetelmät ja laitteet muodostivat huomattavan edistysaskeleen metallien, etenkin austeniittisten terästen jännitystilän mittaustekniikassa. Nyt esillä olevan keksinnön tarkoituksena on kehittää edelleen mainituissa patenteissa esitettyjä menetelmiä ja laitteita.

35

1 Esillä olevan keksinnön erityistarkoituksena on aikaansaada sellainen menetelmä ja laite, jonka koko on kertaluokkaa tai useita kertaluokkia pienempi kuin em. tunnettujen laitteiden.

5 Esillä olevan keksinnön tarkoituksena on kehittää edelleen mainittuja tunnettuja röntgendiffraktioon perustuvia menetelmiä laitteita niin, että saadaan aikaan entistä nopeampi mittalaite, millä on tarkoitus päästä siihen, että mittalaitteen sovellutusaluetta voidaan entisestään huomattavasti laajentaa. Keksinnön lisätarkoituksena tässä suhteessa on tehdä
10 mahdolliseksi kannettava mittalaitteisto, jota voidaan käyttää vaikeissa kenttäolosuhteissa ja ahtaissa paikoissa, kuten rakenteiden ja koneiden sisällä, esim. putkien sisällä jännitysten mittaamista varten.

Esillä olevan keksinnön tarkoituksena on aikaansaada entistä nopeampi
15 mittalaitteisto, jolla voidaan kerätä suuriakin määriä jännityshavaintoja ja tallettaa ne muistiin, esim. tilastollista käsittelyä varten.

Edellä esitettyihin ja myöhemmin selviäviin päämääriin pääsemiseksi keksinnön mukaiselle menetelmälle on pääasiallisesti tunnusomaista se,
20 että röntgensäteilylähteenä, jolla mainitut primäärisäteilykeilat aikaansaadaan, käytetään sopivaa radioisotooppilähdettä,

että mainittuna detektorina, jolla mainitut diffraktoituneet säteily-
25 keilat havaitaan, käytetään paikantuntevaa detektoripintaa, sopivimmin puolijohdedetektoria, josta saatava fotosignaali ja/tai sähkösignaali johdetaan mittaussignaalin käsittelyjärjestelmään,

ja että mainitulla järjestelmällä lasketaan paikantuntevan detektoripinnan
30 paikkahavaintojen ja detektorin aseman perusteella mitattavat jännitykset siinä tasossa, jossa primäärisädekeilat lähetetään.

Keksinnön mukaiselle laitteelle on puolestaan pääasiallisesti tunnusomaista se, että säteilylähteenä on radioisotooppilähde, jolla on kohdistettavissa
35 primäärisädekeila tai -keilat tutkittavaan kohteeseen, että laitteessa

1 on detektorina paikkaerotteinen puolijohdedetektor, kuten CCD-detektor
tai lineaarivalodiodisarja-detektor, josta saatavat sähkösignaalit on
järjestetty luettaviksi dataloggerilla tai vastaavalla ja että mittausdata
5 tarvittaessa digitaaliseen muotoon muutettuna, on siirrettävissä tieto-
koneelle tai mikroprosessorille jatkokäsittelyä varten.

Helposti liikuteltavien pienten radioisotooppilähteiden käyttö mittaus-
tekniikassa tuotantoprosessien ohjaamiseen ja materiaalien tutkimiseen
ja tarkastukseen on ollut ennestään tunnettua. Tästä esimerkkinä voidaan
10 mainita mm. säteilyn vaimentumiseen tai sirontaan perustuvat esim. liik-
kuvien paperirainojen neliöpainomittarit ja erilaiset tiheysmittarit sekä
karakteristisen röntgensäteilyn herättämiseen perustuvat alkuaineanaly-
saattorit. Radioisotooppilähteeseen perustuvia röntgendiffraktiolaitteis-
toja kiteisten aineiden sisäisten jännitysten, tekstuurin, faasisuhteiden
15 tai raekoon määrittämiseen ei ole tietääksemme esitetty.

Keksinnön mukaisen menetelmän ja laitteiston toteutuksessa, kun päämääränä
on ennen kaikkea mittausajan ja laitekoon pienentäminen, on otettava
huomioon seuraavat olennaiset seikat:

20

Keksinnössä isotooppisäteilylähteen emittoima energia on valittava
siten, että sen taso osuu tutkittavan aineen röntgenabsorbtiokynnysten
alapuolelle niin, ettei fluoresenssi kilpaile diffraktion kanssa.

25

Keksinnössä on edullista käyttää hyväksi rinnakkaismittauksia siten,
että useita erisuuntaisia käänteishilavektoreita mitataan samanaikai-
sesti, mikä voidaan toteuttaa valaisemalla tutkittavaa kohtaa näyt-
teestä useasta eri lähteestä tulevalle säteilyllä ja katsomalla diff-
raktoitunutta säteilyä usealla eri detektorilla kuitenkin pitäen
30 huolta siitä, etteivät eri mittaukset häiritse toisiaan.

30

Keksinnössä käytetään paikkaeroitteisesti mahdollisimman efektivistä
paikkaerotteista detektoria, joka rekisteröi eri kulmiin diffraktoi-
tuneet kvantit samanaikaisesti, sopivimmin CCD-detektoria tai lineaa-
35 rista valodiodisarjaa.

35

1 Keksinnössä käytetään mahdollisimman suuren pintakirkkauden omaavaa isotooppilähdettä tai -lähteitä.

5 Keksinnössä käytetään edullisesti rengasmaista isotooppilähdettä ja rengaslähteen ja tutkittavan pinnan väliin sijoitetaan saapuvaa säteilyä rajoittavia rakoja, joiden avulla rakojen kohdalle sijaitseville näennäisille säteilylähteille voidaan antaa fokuointiehtojen vaatima sijainti ja asento.

10 Kun keksinnön mukaisesti suoritettavassa mittauksessa tarvittava erotuskyky on kiinnitetty, valitaan kaikki geometriseen efektiivisyyteen vaikuttavat tekijät, so. lähde-näyte-detektorietäisyydet, lähteen koko ja muoto sekä valaistun näytealueen koko ja muoto intensiteetin kannalta niin edulliseksi kuin vaadittu erotuskyky sallii. Tällöin on hyödynnettävissä myös fokuointimahdollisuudet siten, että näytteen eri kohdista diffraktoituvat
15 samaan kideheijastukseen kuuluvat kvantit osuvat samaan kohtaan röntgensäteilylle herkällä detektoripinnalla.

Mittausajan minimointi keksinnössä voidaan viedä sitä pitemmälle, mitä
20 täsmällisemmin isotooppilähdettä käyttävään röntgendiffraktioon perustuva mittausprobleema on määritelty.

Röntgengeneraattori suurjännitelähteineen painaa tyypillisesti 50-100 kg. Kun keksinnön mukaisesti käytetään yhdistelmänä sopivaa radioisotooppilähdettä, jonka paino on vain luokkaa 10 g ja paikantuntevia puolijohdedetektoreja, joista saadaan suoraan fotosignaali tai vielä edullisimmin sähkösignaali, joka sisältää mittaustiedot, voidaan laitteen painoa ja kokoa pudottaa tunnettuihin laitteisiin nähden useita dekadeja, joka tapauksessa hyvin dramaattisesti. Lisäksi keksinnössä yksityistä mittausta tai
30 useammassa tasoissa tapahtuvaa mittaussarjaa varten tarvittava mittausaika on vain sekuntien tai sekuntien murto-osien luokkaa niin, että pienikokoisella mittauslaitteella voidaan kerätä suuri määrä mittaustuloksia sellaisista kohteista, joihin aikaisemmin ei voitu käyttää lainkaan röntgendiffraktioon perustuvia jännityksenmittausmenetelmiä. Mittaustulokset
35 ovat tallennettavissa tietokoneen tai vastaavan muistiin myöhempää käsittelyä varten. Näiden kaikkien etujen samanaikainen toteutuminen merkitsee huomattavaa edistysaskelta jännitysmittaustekniikan alueella.

1 Seuraavassa selostetaan keksinnön fysikaalista taustaa sekä sen eräitä edullisia sovellutusesimerkkejä viittaamalla oheisen piirustuksen kuvioihin.

5 Kuvio A esittää kaaviollisesti tietyn aineen atomitasojen keskinäistä etäisyyttä jännityksettömässä tilassa ja kuvio B esittää vastaavaa etäisyyttä jännityksen σ_{xx} alaisessa tilassa.

Kuvio C havainnollistaa röntgensäteiden tutkittavasta kohteesta heijastumisen periaatetta.

Kuvio D havainnollistaa jännitysmittausröntgenmenetelmässä käytettyjä eri parametreja.

15 Kuvio 1 esittää kaaviollisesti pystyleikkauksena keksinnön mukaista laitetta ja sen geometriaa. Kuvio 1 on samalla leikkaus kuvioon 2 merkityn viivan I-I kohdalta.

Kuvio 2 on leikkaus A-A kuviossa 1.

20

Kuvio 3 on leikkaus B-B kuviossa 1.

Kuvio 4 esittää kaaviollisesti keksinnön mukaisen mittausmenetelmän periaatetta ja mittausgeometriaa.

25

Kuvio 5 esittää kuviota 4 vastaavalla tavalla keksinnön mukaisessa mittausmenetelmässä olennaisia geometrisia suureita.

30 Kuvio 6 esittää lohkokaaavana keksinnön mukaista mittausmenetelmää mittaus-tietojen keräys-, käsittely- ja tulostuslaitteineen.

Tämän keksinnön perustana olevassa röntgenmenetelmässä käytetään atomitasojen välistä etäisyyttä d mittapituutena (kuvio A). Aallonpituuden λ omaavat röntgensäteet heijastuvat atomitasoista osuessaan tasoihin kulmassa θ , joka saadaan Braggin laista

35

$$2 d \sin \theta = \lambda$$

(1)

1 kuten kuvio C esittää.

Kuvioiden A ja B esittämässä tapauksessa atomitasoja vastaan kohtisuora normaalijännitys σ_{xx} suurentaa atomitasojen välin arvosta d_0 arvoon d_σ .

5 Braggin lain (1) avulla voidaan molemmat etäisyydet d_0 ja d_σ laskea käyttämällä ao. Braggin kulmaa θ , joka mitataan röntgensädediffraktion avulla, ja täten saadaan normaali muodonmuutos lasketuksi kaavasta

$$10 \quad e_{xx} = \frac{d_\sigma - d_0}{d_0} \quad (2)$$

Vastaava jännitys σ_{xx} , joka aiheuttaa muodonmuutoksen e_{xx} , on nyt määritettävissä Hooken lain

$$15 \quad \sigma_{xx} = E e_{xx}, \quad (3)$$

avulla, missä E on kimmomoduli.

20 Yleisemmin röntgenmenetelmä tuottaa normaalijännityskomponentin σ_{xx} valitussa suunnassa x, kun vähintään kaksi xz-tasossa olevaa muodonmuutosta $e(\psi)$ mitataan (kuvio D). Yleisestä Hooken laista saadaan

$$25 \quad \sigma_{xx} = \frac{E}{1 + \nu} \frac{e(\psi_2) - e(\psi_1)}{\sin^2 \psi_2 - \sin^2 \psi_1} \quad (4)$$

missä ν on Poissonin suhdeluku.

30 Kimmoteorian tasapainoehdoista seuraa, että kappaleen jännitystila on määrätty, kun sen pinnan jännitystila tunnetaan. Kun pinnalla ei voi esiintyä pintaan vastaan kohtisuoraa veto- tai puristusjännitystä, määrätty jännitystilaan liittyvä venymäellipsoidi, kun on mitattu vähintään kolme oikein valittua suhteellista venymää eli jokin atomitasojen välimatka d neljässä oikein valitussa suunnassa.

35 Kuviossa 1 on esitetty eräs edullinen keksinnön mukainen ferriittisille teräksille soveltuva jännitysmittauslaite, joka käsittää rengasmaisen radioaktiivisen isotooppilähteen 10, joka on sopivimmin Fe^{55} . Rengaslähde

1 10 on sijoitettu siten, että sen pyörähdysakseli yhtyy tutkittavan pinnan normaaliin, joka kulkee tutkittavan pisteen P kautta. Rengaslähteen 10 säteilypinnan 11 välittömässä läheisyydessä on ensimmäinen kaihdinlevy 12, jossa on rengaslähteen 10 muotoa vastaavasti ympyrän kehällä pareittain

5 vastakkain aukkoparit $12a_1, 12b_1; 12a_2, 12b_2$ ja $12a_3, 12b_3$. Kaihdinlevyn 12 etäisyys tutkittavasta pinnasta on valittu siten, että säteen suunnassa ahtaammat aukot $12b_1, 12b_2$ ja $12b_3$ sekä näiden diffraktiokuvat detektorilla X_{b1d}, X_{b2d} ja X_{b3d} sijaitsevat pareittain samalla tutkittavaa pintaa pisteessä P sivuavalla ympyrällä. Säteen suunnassa leveämmät aukot $12a_1, 12a_2$

10 ja $12a_3$ voivat olla niin leveät, että isotooppilähteen näkyvyyttä ei ainaakaan olennaisesti rajoiteta. Tutkittavan näytteen 14 ja ensimmäisen kaihdinlevyn 12 välissä on tasoltaan ensimmäisen kaihdinlevyn 12 suuntainen toinen kaihdinlevy 13. Toisessa kauhdinlevyissä on ympyrän kehälle sijoitettuna ensimmäisen kaihdinlevyn 12 aukkoja $12a$ ja $12b$ vastaavilla kohdilla

15 mutta pienemmällä säteellä aukkoparit $13a_1, 13b_1; 13a_2, 13b_2$ ja $13a_3, 13b_3$. Mainituilla kaihdinlevyillä 12 ja 13 kohdistetaan tutkittavaan näytteeseen 14 sen kohtaan P kolmessa eri tasossa $x_1-x_1, x_2-x_2, x_3-x_3$ isotooppilähteestä 10, 11 peräisin olevan röntgensäteilyn säteilykeilat X_{1p} ja X_{2p} , joiden näennäiset lähdepinnat sijaitsevat kapeiden aukkojen $12b_1, 12b_2, 12b_3, 13a_1,$

20 $13a_2, 13a_3$ kohdalla. Tasot x_1-x_1, x_2-x_2 ja x_3-x_3 ovat kohtisuorassa näytteen 14 pintaa tai kohtaan P asetettua tangenttitasoa vastaan ja mainitut tasot ovat 60° :n kulmassa keskenään.

Se tosiasia, että ferriittisellä raudalla diffraktiopiikkejä on harvassa,

25 kun niitä keksinnössä synnytetään radioisotooppilähteen Fe-55-säteilyllä, johtaa havaintoon, että samaa näytealaa voidaan valaista useasta eri suunnasta ja katsoa usealla eri detektorilla samanaikaisesti ilman, että eri mittaukset häiritsevät toisiaan.

30 Kuten kuvioista 1, 2 ja 3 selviää, on kollimaattorilevyissä 12 ja 13 niiden säteen suunnassa leveämpiä ($12a, 13a$) ja kapeampia ($12b, 13b$) kollimaattorilevyjen aukkoja. Kollimaattorilevyjen mainitut aukot ja niiden paikat on valittu SEEMANN-BOHLIN fokuointiperiaatteen mukaan siten, että molempien diffraktoituneiden säteiden X_{1d} ja X_{2d} epätarkkuus detektorin 15 röntgensäteilylle

35 herkällä pinnalla 15' on yhtä suuri. Tässä tarkoituksessa on ensimmäisessä kollimaattorilevyssä 12 leveämpi aukko $12a$ ja vastaavalla kohtaa säteilykeilan X_{1p} tiellä toisessa kollimaattorilevyssä 13 kapeampi aukko $13b$

1 detektoriin 15 nähden vastakkaisen primäärisäteen x_{1p} kohdalla ja päinvastoin detektorin 15 puoleisen säteen x_{2p} kohdalla, jossa ensimmäisessä kollimaattorilevyssä 12 on pienempi aukko 12b ja toisessa kollimaattorilevyssä 13 leveämpi aukko 13a kohdakkain.

5

Seuraavassa selostetaan kuvioihin 4 ja 5 viitaten keksinnön mukaisen menetelmän ja laitteen mittaatgeometrian olennaiset suureet, joista on johdettavissa paikkaerotteisen detektorin 15 avulla jännitysmittaustulokset.

10 Kuviossa 4 ψ_1 ja ψ_2 esittävät heijastavien hilatasojen kallistuskulmia ja N_1 ja N_2 heijastavien hilatasojen vastaavia normaalitasoja.

Näytteen 14 pinnan tai tutkittavan kohdan P kohdalle asetetun tangenttitalason normaalitasoa on merkitty N:llä. x_{1p} ja x_{2p} esittävät radioisotooppi-
15 lähteestä 10 tulevia kollimaattorilevyillä 12 ja 13 keskitettyjä primääri-röntgensädekeiloja ja vastaavasti x_{1d} ja x_{2d} esittävät vastaavasti näytteestä 14 tutkittavasta kohdasta P diffraktoituneita säteilykeiloja.

Kuviossa 5 on merkitty D:llä detektorin 15 röntgensäteilylle herkän pinnan
20 kohtisuoraa etäisyyttä tutkittavasta näytteen 14 kohdasta P ja R_1 ja R_2 esittävät etäisyyksiä detektoripinnan sen normaalitasoon suhteen, joka kulkee tutkittavan kohdan P kautta kohtiin, joihin diffraktoituneiden sädekeilojen maksimit osuvat.

25 Seuraavasta esityksestä selviävät muiden kuvioissa 4 ja 5 esitettyjen suureiden merkitykset.

Jännitys voidaan laskea seuraavien kaavojen avulla:

30
$$\psi_1 = \bar{\theta} - \psi_0 \quad (5)$$

$$\psi_2 = \bar{\theta} + \psi_0 \quad (6)$$

jolloin em. yhtälöiden perusteella

35
$$\epsilon = \frac{E}{(1 + \nu)d_0} \times \frac{\Delta d_2 - \Delta d_1}{\sin^2 \psi_0 \sin 2\theta} \quad (7)$$

1 Mitattavat suureet ovat R_1/D ja R_2/D (kuvio 5). Braggin laista (1) saadaan

$$\frac{\Delta d}{d_0} = \frac{\Delta 2\bar{\theta}}{2\text{tg}\theta} \quad (8)$$

$$5 \quad \Delta 2\bar{\theta} = 2\bar{\theta} - 2\bar{\theta}_0, \quad (9)$$

jolloin

$$10 \quad \sigma = \frac{E}{1 + \nu} \times \frac{\Delta 2\bar{\theta}_2 - \Delta 2\bar{\theta}_1}{2\text{tg}\theta(\sin^2\psi_0 \sin 2\theta)} \quad (10)$$

detektoripinnalla 15' havaittavan viivan siirrokset $\Delta 2\bar{\theta}$ ratkaistaan seuraavasti

$$15 \quad \Delta 2\bar{\theta} = \pm \cos^2\psi_0 \frac{\Delta R}{D} \quad (11)$$

missä $\Delta R = R - R_0$

$$R_0 = \text{säde jännityksettömästä aineesta} \quad (12)$$

20 + merkki Debye-viivalle 2
- merkki Debye-viivalle 1

Edellä on esitetty yhtälöt, joiden perusteella on ratkaistavissa jännitykset yhdessä tai useammassa mittaustasossa $x_j - x_j$ sillä perusteella, mille etäisyydelle R_1 ja R_2 diffraktoituneiden säteilykeilojen X_{1d} ja X_{2d} maksimit osuvat detektorin 15 röntgensäteilylle herkällä, paikantuntevalla detektorin pinnalla 15'.

30 Kuviossa 6 on esitetty kaaviollisesti lohkokaaaviona mittaustulosten käsittely- ja näyttölaitteistot. Kuvion 6 mukaisesti detektoreja 15j on N kappaletta, joten jännityksiä on kuvion 6 mukaisella laitteistolla mitattavissa N:ssä eri tasoissa $x_1 - x_1 \dots x_N - x_N$.

35 Keksinnön mukaisesti detektoreina 15 käytetään esim. kaupallisesti saatavissa olevia optisia ja samalla röntgensäteilylle herkkiä paikantuntevia detektoreja, esim. puolijohdedetektoreja, kuten Philipsin CCD:tä NXA1010 tai Hamamatsun lineaarivalodiodisarjaa (linear photodiode array) S2304-512F

1 tai S2304-104F, joissa ensinmainituissa on 512 vast. 1024 erillistä valodiodia lineaarisena sarjana. Näiden keksinnössä sovellettavien "self-scanning photodiode arrays:n" suhteen viitataan seuraavaan lähteeseen
 5 Adv. in X-ray Anal., Vol. 19, ss 587-596; Louis N. Koppel: "Direct X-ray Response of Self-Scanning Photodiode Arrays". Mainittu sarja on sovitettu mitattavien suureiden R_1 ja R_2 suuntaiseksi, ja se valodiodi, jonka kohdalle diffraktoituneet säteet X_{1d} ja X_{2d} tai niiden maksimit osuvat, johtavat ja antavat impulssin, josta tiedot $s_1, s_2, s_3 \dots s_N$ johdetaan dataloggerille
 10 21, joka lukee detektoria ja detektoreja 15_n vuorotellen. Dataloggerissa 21 mittaustulokset muutetaan digitaaliseen muotoon ja siirretään tietokoneelle
 22, joka on ohjelmoitu edellä esitettyjen yhtälöiden perusteella laskemaan ja näyttämään mitattavat jännitykset. Mittaustulokset näytetään tai tulostetaan kirjoittimella 23. Tietokone 22 voidaan ohjelmoida käsittelemään mittaustuloksia esim. tilastollisesti.

15

Kuvion 6 mukaisesti detektoreja 15_1-15_N jäähdytetään. Jäähdytyslaitteistoa on merkitty viitenummerolla 16 ja jäähdytysväliainevirtausta viitteellä F. Mainittu jäähdyttäminen on tarpeen, että optisten detektorien pimeä virta (lämpökohina) saadaan riittävän pieneksi. Tarvittaessa voidaan
 20 detektori 15 jäähdyttää jopa -100°C :een.

Keksinnössä voidaan paikantuntevana detektorina käyttää myös sellaisia integroitujen piirien tekniikalla valmistettuja paikantuntevia detektoreja, joiden rakenteeseen on integroitu enemmän tai vähemmän myös signaalinkäsittelyä ja muistia (RAM).
 25

Kuten edellä todettiin, keksinnössä isotooppilähteen 10,11 emittoiman energian taso valitaan sopivimmin siten, että mainittu taso osuu tutkitavan aineen röntgenabsorptiokynnysten alapuolelle niin, ettei fluoresenssi
 30 kilpaile diffraktion kanssa.

Keksinnön puitteissa voidaan käyttää muitakin ennestään tunnettuja tai tulevaisuudessa kehitettyjä viivamaisia tai matriisimaisia paikantuntevia detektoreja, jotka ovat herkkiä sähkömagneettiselle säteilylle siis myös
 35 röntgensäteilylle ja joista saadaan joko fotosignaali tai edullisimmin suoraan sähkösignaali, joka sisältää tiedon edellä mainituista suureista R_1 ja R_2 , siis säteiden X_{1d} ja X_{2d} osumakohdista. Matriisimaisia detekto-

1 reja käytettäessä voidaan tarvittaessa rekisteröidä suurempi osa Debye-
rengasta, josta on haluttaessa saatavissa lisäinformaatiota.

Keksinnön puitteissa voidaan käyttää myös erilaisia muitakin kuin rengas-
5 maisia radioisotooppilähteitä. Edullisin ferriittisten terästen mittauk-
sessa soveltuva radioisotooppilähde on em. Fe⁵⁵-lähde useiden eri syiden
takia.

Seuraavassa esitetään patenttivaatimukset, joiden määrittelemän keksin-
10 nöllisen ajatuksen puitteissa keksinnön eri yksityiskohdat voivat vaih-
della ja poiketa edellä vain esimerkinomaisesti esitetyistä.

15

20

25

30

35

1 Patenttivaatimukset

1. Röntgendiffraktiomenetelmä metallien, etenkin terästen tai vastaavien jännitystilan mittaamiseksi, jossa menetelmässä tutkittavaan näytteeseen (14) kohdistetaan sen pinnan normaaliin (N) nähden ainakin kahdessa suunnassa primääriset röntgensädekeilat (X_{1p}, X_{2p}) ja jossa menetelmässä käytetään detektoria (15), jolla havaitaan mainittujen primääriröntgensädekeilojen (X_{1p}, X_{2p}) vaikutuksesta näytteen (14) tutkittavasta kohdasta (P) diffraktoituneet röntgensädekeilat (X_{1d}, X_{2d}), t u n n e t t u siitä,
- 10 että röntgensäteilylähteenä, jolla mainitut primäärisäteilykeilat (X_{1p}, X_{2p}) aikaansaadaan, käytetään sopivaa radioisotooppilähdettä (10,11),
- että mainittuna detektorina (15), jolla mainitut diffraktoituneet säteilykeilat (X_{1d}, X_{2d}) havaitaan, käytetään paikantuntevaa detektoripintaa (15'), sopivimmin puolijohdedetektoria, josta saatava fotosignaali ja/tai sähkösignaali johdetaan mittaussignaalin käsittelyjärjestelmään (20),
- 15 ja että mainitulla järjestelmällä lasketaan paikantuntevan detektoripinnan (15') paikkahavaintojen (R_1, R_2) ja detektorin aseman perusteella mitattavat jännitykset siinä tasossa ($x_j - x_j$), jossa primäärisädekeilat (X_{1p}, X_{2p}) lähetetään.
2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä,
- 25 että menetelmässä radioisotooppilähteenä käytetään Fe^{55} -säteilylähdettä.
3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että menetelmässä käytetään tutkittavan näytteen (14) suhteen mittauksen aikana stationäärisenä pidettävää isotooppilähdettä (10,11), josta kohdistetaan tutkittavan näytteen normaaliin (N) molemmin puolin primääriröntgensädekeilojen pari (X_{1p}, X_{2p}), jotka molemmat keilat kohdistetaan kaihdivelvyillä (12,13) näytteen (14) tutkittavaan alueeseen ja että mainitun primäärisädekeilaparin (X_{1p}, X_{2p}) välisen sektorin ($2\psi_0$) ulkopuolelle sijoitetaan paikkaerotteinen detektoripinta (15'), jonka avulla havaitaan primääriröntgensäteiden (X_{1p}, X_{2p}) johdosta syntyneiden diffraktoituneiden säteiden (X_{1d}, X_{2d}) osumakohdat (R_1, R_2).
- 30
- 35

- 1 4. Jonkin patenttivaatimuksen 1-3 mukainen menetelmä, t u n n e t t u
siitä, että menetelmässä käytetään stationääristä, sopivimmin rengasmaista,
radioisotooppilähdettä (10), jolla aikaansaadaan useita (N kpl) pareja
primäärisiä röntgensädekeiloja (X_{1p}, X_{2p}), jotka kohdistetaan samanaikai-
5 sesti tutkittavaan kohteeseen (P) ja että menetelmässä sovelletaan useita
(N kpl) paikkaerotteisia detektoreja ($15_1 \dots 15_N$), joilla mitattavat jänni-
tykset havaitaan useissa eri tasoissa ($x_1 - x_1 \dots x_N - x_N$).
5. Jonkin patenttivaatimuksen 1-4 mukainen menetelmä, t u n n e t t u
10 siitä, että menetelmän geometriseen efektiivisyyteen vaikuttavat tekijät,
kuten lähde-näyte-detektorietäisyydet, näennäisten lähteiden, kaihtimien
aukkojen, koko ja muoto sekä valaistun näytealueen (P) koko ja muoto in-
tensiteetin kannalta valitaan niin edulliseksi kuin vaadittu erotuskyky
sallii ja että primääriröntgensädekeilapari (X_{1p}, X_{2p}) tai -parit fokusoi-
15 daan siten, että näytteen eri kohdista diffraktoituneet samaan kideheijas-
tukseen kuuluvat kvantit osuvat samaan kohtaan paikan tuntevilla detektorii-
pinnalla (15').
6. Jonkin patenttivaatimuksen 1-5 mukainen menetelmä, t u n n e t t u
20 siitä, että isotooppisäteilylähteen (10,11) emittoiman säteilyenergian
taso valitaan tutkittavan aineen röntgenabsorptiokynnysten alapuolelle
niin, ettei fluoresenssi häiritse menetelmässä havaittavia röntgendiffrak-
tiosädekeiloja (X_{1d}, X_{2d}).
- 25 7. Jonkin patenttivaatimuksen 1-6 mukaisen menetelmän toteuttamiseen tar-
koitettu laite, joka käsittää runko-osan, johon on kiinnitetty röntgen-
säteilylähde (10) ja detektorijärjestely (15) ja joka laite käsittää edel-
leen laitteiston (20) detektorijärjestelystä (15) saatavien signaalien
(s) käsittelemiseksi ja jännityksen mittaustulosten laskemiseksi ja näyttä-
30 miseksi ja/tai rekisteröimiseksi, t u n n e t t u siitä, että säteily-
lähteenä on radioisotooppilähde (10,11), jolla on kohdistettavissa pri-
määrisädekeila tai -keilat (X_{1p}, X_{2p}) tutkittavaan kohteeseen (P), että
laitteessa on detektorina paikkaerotteinen puolijohdedetektorii, kuten
CCD-detektorii tai lineaarivalodiodisarja-detektorii, josta saatavat
35 sähkösignaalit on järjestetty luettaviksi dataloggerilla (21) tai vastaa-
valla ja että mittausdata tarvittaessa digitaaliseen muotoon muutettuna,
on siirrettävissä tietokoneelle (22) tai mikroprosessorille jatkokäsittelyä
varten.

1 8. Patenttivaatimuksen 7 mukainen laite, t u n n e t t u siitä, että
 menetelmässä käytetään stationääristä isotooppisäteilylähdettä (10,11),
 sopivimmin Fe^{55} -säteilylähdettä, että säteilylähteen (10,11) ja tutkittavan
 5 kohteen (P) välille on sovitettu kaihdinjärjestely (12,13), jolla on koh-
 distettu tutkittavan kohteen (P) pinnan normaalin (N) molemmiin puolin,
 sopivimmin samassa kulmassa (ψ_0), primääriröntgensädekeilat (X_{1p}, X_{2p})
 tutkittavaan kohteeseen ja että mainittujen primäärisäteiden välisen sek-
 torin ulkopuolelle on sovitettu paikkaerotteinen detektori, jonka paikka-
 erotteisuussuunta on mainittujen primääriröntgensäteiden (X_{1p}, X_{2p}) tason
 10 suuntainen ja poikittaissuuntainen diffraktoituvien säteiden (X_{1d}, X_{2d})
 suunnan kanssa.

9. Patenttivaatimuksen 7 tai 8 mukainen laite, t u n n e t t u siitä,
 että säteilylähteenä käytetään jatkuvaa tai paloittain jatkuvaa rengas-
 15 lähdettä (10), jonka tuntumaan on sovitettu ensimmäinen kaihdinlevy (12),
 jossa on sen keskipisteen suhteen olennaisesti samansäteisiä aukkoja (12a,
 12b), jotka ovat pareittain vastakkain ja että mainitun ensimmäisen kaihdin-
 levyn (12) ja tutkittavan kohteen (P) keskivälillä on ensimmäisen kaihdin-
 levyn (12) kanssa olennaisesti yhdensuuntainen ja samankeskinen toinen
 20 kaihdinlevy (13), jossa on ensimmäisen kaihdinlevyn (12) aukkojen kanssa
 ja tutkittavan kohteen (P) kanssa samalla viivalla olevat aukot, jotka
 aukkoparit ohjaavat ja rajaavat primääriröntgensädekeilojen parit (X_{1p}, X_{2p})
 tutkittavaan kohteeseen.

25 10. Jonkin patenttivaatimuksen 7-9 mukainen laite, t u n n e t t u siitä,
 että laite käsittää useita (N kpl) detektoreja (15_j), jotka vastaanottavat
 primääriröntgensädekeiloista (X_{1p}, X_{2p}) johtuvat diffraktoituneet sädekeila-
 parit (X_{1d}, X_{2d}) ja että mainittuja detektoreja (15_j) luetaan dataloggerilla
 (21), jolla mittausdata muutetaan digitaaliseen muotoon ja siirretään
 30 tietokoneelle (22) tai vastaavalle jännitysten laskua varten ja edelleen
 tulostettavaksi.

1 Patentkrav

1. Röntgendiffraktionsförfarande för mätning av spänningstillståndet hos metaller, speciellt stål eller motsvarande, vid vilket förfarande man riktas primära röntgenstrålningskägglor (X_{1p}, X_{2p}) på provet (14) som skall undersökas åtminstone i två riktningar i förhållande till normalen (N) av dess yta och vid vilket förfarande man använder sig av en detektor (15), med vilken man observerar de röntgenstrålningskägglor (X_{1d}, X_{2d}) som diffraktionerats från det undersökta stället genom inverkan av nämnda primärröntgenstrålningskägglor (X_{1p}, X_{2p}), k ä n n e t e c k n a t därav,

att röntgenstrålningskällan, med vilken nämnda primärstrålningskägglor (X_{1p}, X_{2p}) åstadkommes, utgörs av en lämplig radioisotopkälla (10,11),

att nämnda detektor (15), med vilken nämnda diffraktionerade strålningskägglor (X_{1d}, X_{2d}) observeras, utgörs av en ortkännande detektoryta (15'), lämpligast en halvlederdetektor, varvid fotosignalen och/eller elsignalen som erhålls från halvlederdetektorn leds till mätningssystemens behandlingssystem (20),

och att spänningarna som skall mätas räknas ut med nämnda system på basen av den ortkännande detektorytans (15') ortobservationer (R_1, R_2) och läget på detektorn i det plan ($x_j - x_j$) där primärstrålningskägglorna (X_{1p}, X_{2p}) avsänds.

2. Förfarande enligt patentkrav 1, k ä n n e t e c k n a t därav, att vid förfarandet utgörs radioisotopkällan av en Fe^{55} -strålningskälla.

3. Förfarande enligt patentkrav 1 eller 2, k ä n n e t e c k n a t därav, att vid förfarandet använder man sig av en isotopkälla (10,11) som under mätningen hålls stationär i förhållande till provet (14) som skall undersökas, från vilken källa man riktar ett par primärröntgenstrålningskägglor (X_{1p}, X_{2p}) på båda sidor om normalen (N) av provet som skall undersökas, vilka bägge kägglor riktas med bländare (12,13) på det område av provet (14) som skall undersökas och att man utanför sektorn ($2\psi_0$) mellan nämnda par primärstrålningskägglor (X_{1p}, X_{2p}) placerar en

- 1 ortdistinktiv detektoryta (15'), med hjälp av vilken man observerar träffpunkterna (R_1, R_2) på de diffraktionerade strålarna (X_{1d}, X_{2d}) som bildats på grund av primärröntgenstrålarna (X_{1p}, X_{2p}).
- 5 4. Förfarande enligt något av patentkraven 1-3, k ä n n e t e c k n a t därav, att man vid förfarandet använder sig av en stationär, lämpligast ringformig radioisotopkälla (10), med vilken man åstadkommer flera (N st) par primära röntgenstrålningskäglor (X_{1p}, X_{2p}), vilka riktas samtidigt på objektet (P) som skall undersökas och att man vid förfarandet tillämpar
- 10 flera (N st) ortdistinktiva detektorer ($15_1 \dots 15_N$), varvid spänningarna som skall mätas med detektorerna observeras i flera olika plan ($(x_1 - x_1 \dots x_N - x_N)$).
- 15 5. Förfarande enligt något av patentkraven 1-4, k ä n n e t e c k n a t därav, att de faktorer som verkar på förfarandets geometriska effektivitet, såsom källa-prov-detektor-avstånden, storleken och formen på de skenbara källorna, bländarna, öppningarna samt det belysta provområdet (P) ur intensitetssynpunkt väljs så fördelaktiga som den erforderliga upplösningsförmågan tillåter och att paret eller paren av primärröntgen-
- 20 strålningskäglor (X_{1p}, X_{2p}) fokuseras på sådant sätt, att kvanterna som diffraktionerats från olika ställen av provet och hör till samma kristallreflektion träffar samma ställe på den ortkännande detektorytan (15').
- 25 6. Förfarande enligt något av patentkraven 1-5, k ä n n e t e c k n a t därav, att nivån på strålningsenergin som emmitterats av isotopstrålningskällan (10,11) väljs nedanom röntgenabsorptionströskeln för ämnet som skall undersökas så att fluorescensen inte stör de vid förfarandet observerade röntgendiffraktionsstrålningskägglorna (X_{1d}, X_{2d}).
- 30 7. Anordning avsedd att genomföra förfarandet enligt något av patentkraven 1-6, som innefattar en stomdel, vid vilken en röntgenstrålningskälla (10) är fäst och ett detektorarrangemang (15) och vilken anordning vidare innefattar en anläggning (20) för behandling av signaler (s) som erhållits från anläggningens detektorarrangemang (15) och för uträkning
- 35 och påvisning och/eller registrering av spänningsmätningens resultaten, k ä n n e t e c k n a d därav, att strålningskällan utgörs av en radio-

- 1 isotopkälla (10,11), med vilken en primär strålningskägla eller -kägglor (X_{1p}, X_{2p}) kan riktas på objektet (P) som skall undersökas, att anordningens detektor utgörs av en ortdistinktiv halvlederdetektor, såsom en CCD-detektor eller lineärljusdiodserie-detektor, varvid de elektriska
- 5 signalerna som erhålls från denna är anordnade att kunna utläsas med en datalogg (21) eller motsvarande och att mätdata vid behov, överförda i digital form, kan överföras till en dator (22) eller mikroprocessor för vidare behandling.
- 10 8. Anordning enligt patentkrav 7, k ä n n e t e c k n a d därav, att vid förfarandet använder man sig av en stationär isotopstrålningskälla (10,11), lämpligast en Fe^{55} -strålningskälla, att det mellan strålningskällan (10,11) och objektet (P) som skall undersökas har anordnats ett bländararrangemang (12,13), med vilket primärröntgenkägglor (X_{1p}, X_{2p}) har
- 15 riktats på objektet som skall undersökas på båda sidor om normalen (N) av ytan av objektet (P) som skall undersökas lämpligast i samma vinkel (ψ_0) och att man utanför sektorn mellan nämnda primärstrålar har anordnat en ortdistinktiv detektor, varvid riktningen på detektorns ortdistinktion är riktad i enlighet med planet av nämnda primärröntgenstrålar (X_{1p}, X_{2p}) och tvärriktad i förhållande till riktningen av de
- 20 diffraktionerade strålarna (X_{1d}, X_{2d}).
9. Anordning enligt patentkrav 7 eller 8, k ä n n e t e c k n a d därav, att strålningskällan utgörs av en kontinuerlig eller bitvis
- 25 kontinuerlig ringkälla, i kontakt med vilken man anordnat en första bländare (12) varvid det finns öppningar (12a,12b) med i förhållande till dess mittpunkt väsentligen samma radie, vilka parvis ligger mot varandra och att det på mitten mellan nämnda första bländare (12) och objektet (P) som skall undersökas finns en med den första bländaren (12)
- 30 väsentligen parallell och koncentrisk andra bländare (13) som har öppningar på samma linje med öppningarna och den första bländaren (12) och objektet (P) som skall undersökas, vilka öppningspar styr och begränsar paren av primärröntgenstrålningskällor (X_{1p}, X_{2p}) till objektet som skall undersökas.
- 35
10. Anordning enligt något av patentkraven 7-9, k ä n n e t e c k n a d därav, att anordningen innefattar ett flertal (N st) detektorer (15j),

1 som tar emot paren (X_{1d}, X_{2d}) av strålningskägglor som diffraktionerats på
grund av primärröntgenstrålningskägglan (X_{1p}, X_{2p}) och att nämnda detektorer
(15j) avläses med en datalogg (21), med vilken mätdata överförs i digital
form och överförs till en dator (22) eller motsvarande för räkning av
5 spänningarna och för att matas vidare. .

Viitejulkaisuja-Anförda publikationer

Hakemusjulkaisuja:-Ansökningspublikationer: EP 117293 (G 01 N 23/207).
Patenttijulkaisuja:-Patentskrifter: Suomi-Finland(FI) 67 956
10 (G 01 L 1/24), 61 248 (G 01 N 23/205). USA(US) 4 284 887 (G 01 N 23/20),
4 095 103 (G 01 N 23/20).

15

20

25

30

35

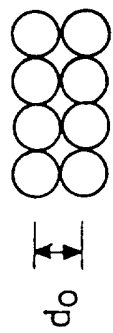


FIG. A

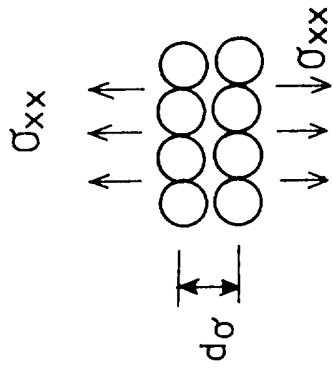


FIG. B

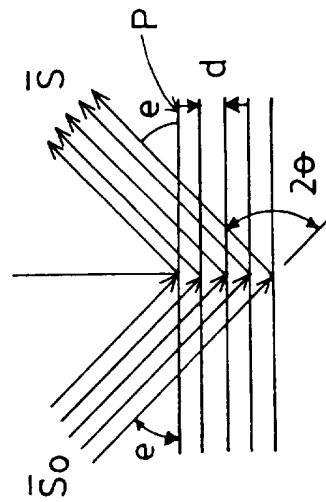


FIG. C

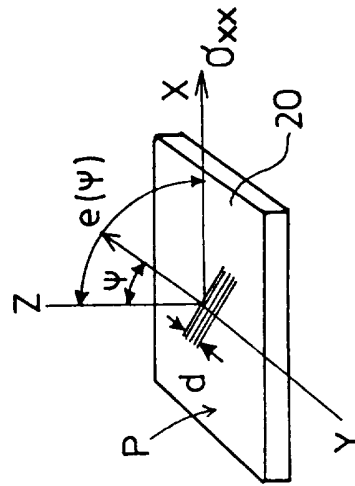
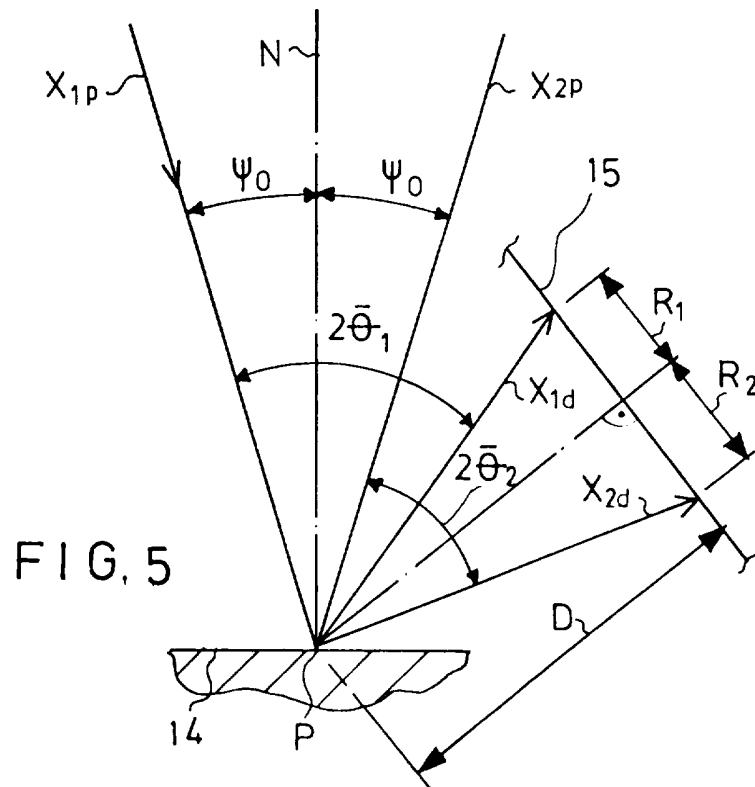
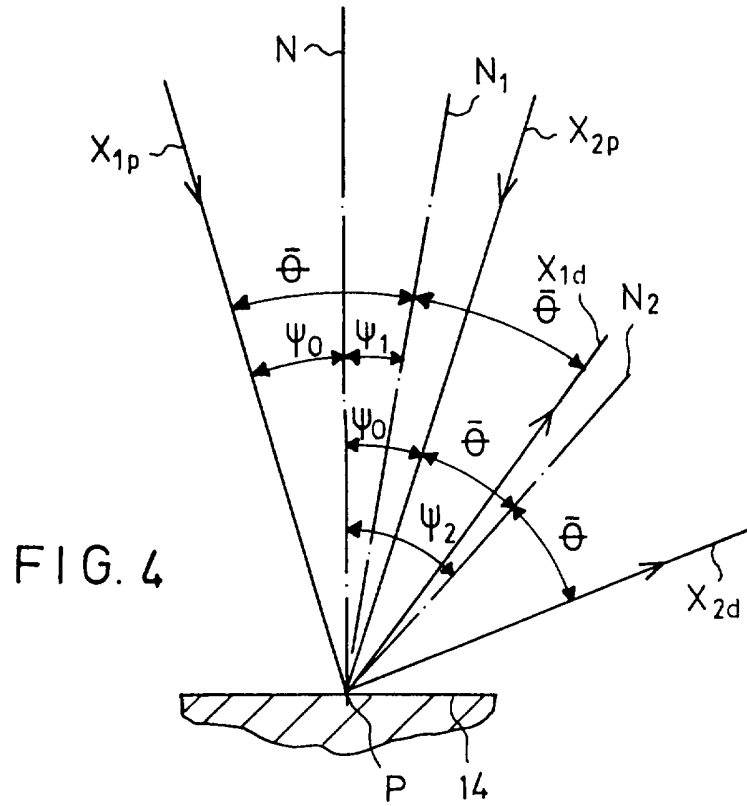


FIG. D



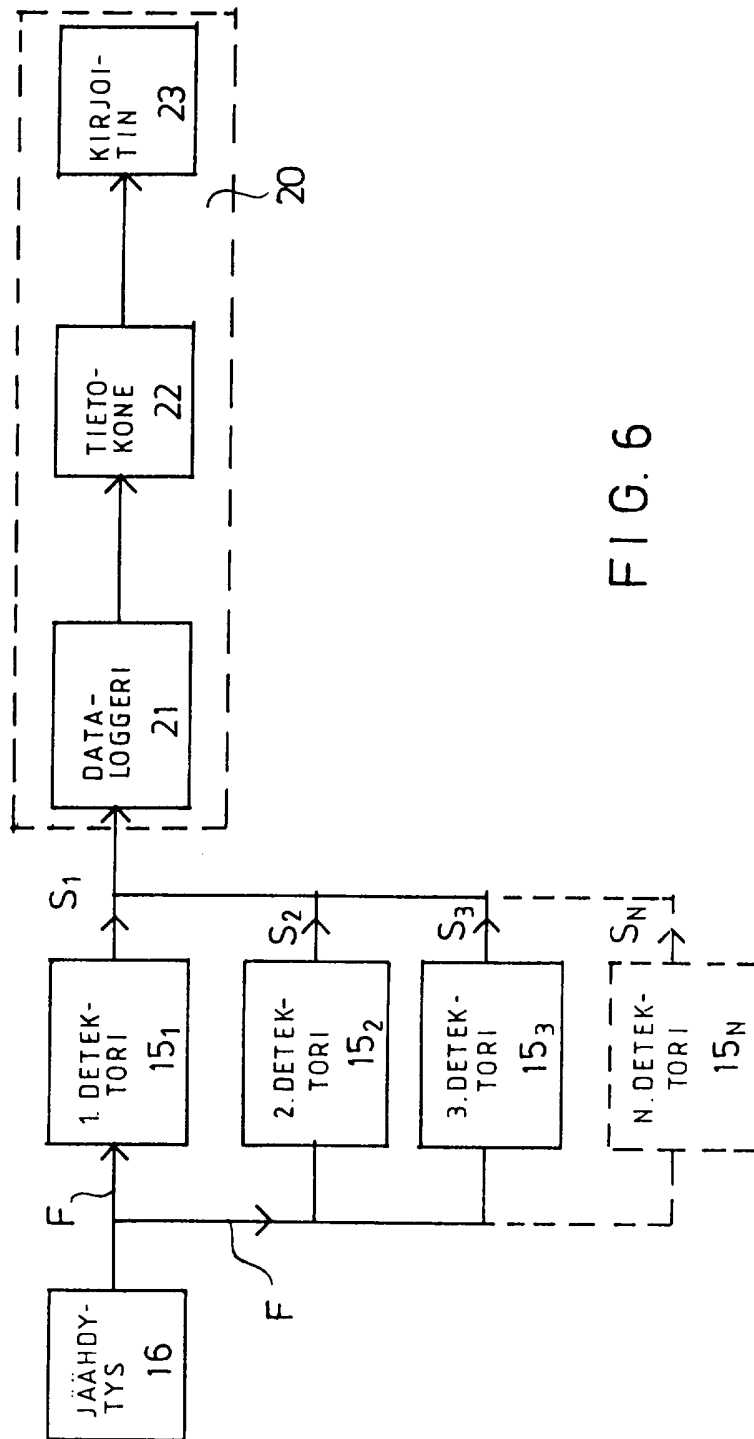


FIG. 6