



(12) **PATENT**

(19) NO

(11) **315535**

(13) B1

(51) Int Cl<sup>7</sup>

G 01 B 9/02, 11/30

## Patentstyret

(21) Søknadsnr	20002305	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	1998.11.03, PCT/EP98/06949
(22) Inng. dag	2000.04.28	(85) Videreføringsdag	2000.04.28
(24) Løpedag	1998.11.03	(30) Prioritet	1997.11.04, EP, 97830569
(41) Alm. tilg.	2000.07.03		
(45) Meddelt dato	2003.09.15		

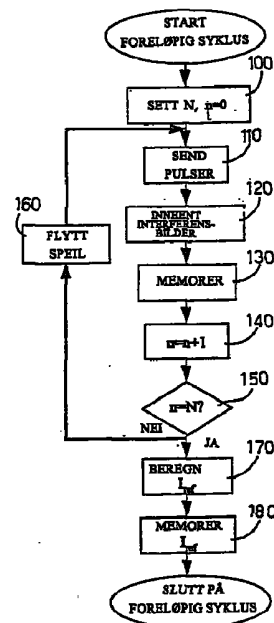
(71) Patenthaver	European Community (EC), Rue Alcide de Gasperi, EUFO Building, LU-2920 Luxembourg, LU
(72) Oppfinner	Massimo Facchini, I-21018 Malgesso, IT Alfredo Carlo Lucia, I-21020 Osmate, IT
(74) Fullmektig	Onsagers AS, 0130 Oslo

(54) Benevnelse **Fremgangsmåte for å forbedre kontrasten i bilder som oppnås ved den pulsede bildetilsetnings ESPI-teknikken**

(56) Anførte publikasjoner WO 90/02930

(57) Sammendrag

For å forbedre kontrasten for bilder oppnådd ved å bruke den pulsede bildetilsetnings ESPI-teknikken og relativ til et mekanisk belastet objekt, er det utført en foreløpig målesyklus med objektet i ubelastet tilstand, for å oppnå et forhåndsbestemt antall av interferensbilder (110-160) som avviker fra hverandre ved en kontrollert faseforskyvning på en andel av pulsene som forplanter seg langs én av grenene til interferometeret; en midlere belyningsstyrkeverdi er beregnet (170) fra interferensbildene, blir memorert (180) og blir trukket fra (220) fra hvert av interferensbildene dette oppnådd i den virkelige målesyklusen for å forbedre kontrasten til bildene.



Den foreliggende oppfinnelse angår en metode for å forbedre kontrasten for bilder oppnådd ved å bruke den pulsede bildetilsetnings ESPI-teknikken.

Da laserkilder først kom i bruk på 60-tallet, ble det observert et besynderlig fenomen kjent som speckle-effekten, og som er produsert når overflaten til et objekt med en ruhet sammenlignbar med bølgelengden til synlig lys (450-700 nm) blir belyst med en stråle med koherent lys (f.eks. en laserstråle). Her antar overflaten av objektet et typisk granulært utseende av tilfeldig distribuert lys og mørke flekker. Speckle-effekten er forårsaket av multippel interferens av de objekt-diffuserte feltene, som har tilfeldig fordelte faser, fordi ruheten til objektet er sammenlignbar med bølgelengden og er ekstremt vanskelig å analysere teoretisk, særlig på grunn av de statistiske karakteristikene til ruheten til objektet og koherensegenskapene til lyset som brukes. Videre har den statistiske fordelingen av belysningsstyrken til et speckle-bilde ingen direkte sammenheng med den mikroskopiske strukturen til den grove overflaten som danner bildet.

ESPI (Electronic Speckle Pattern Interferometry) teknikken, som er kjent i sin mer generelle form, bruker speckleeffekten til å nøyaktig overvåke deformasjonen til mekanisk belastede objekter i sanntid. Mer spesifikt, ved å trekke fra eller legge til etterfølgende speckle-bilder, genererer ESPI-teknikken interferensbilder som viser korrelasjonsstriper (eng: fringes), i noe som er relatert tilfelle for tilfelle til deformasjonen av objektet.

WO 90/02930 omtaler en metode for å ta ut faseinformasjon fra ESPI ved fasestepping. Det beskrives bruk av to laserstråler som interfererer etter at den ene strålen har truffet en flate som skal måles og blitt faseforskjøvet. Slik kan interferensen vise konturen av ujevnheter som oppstår på den målte flaten.

I speckle-bildesubtraksjonsprosessen, blir interferensbilder generert ved å først belyse en hovedsakelig flat overflate av objektet ved hjelp av en laserstråle for å detektere og digitalisere et første speckle-bilde av overflaten til det udeformerte objektet; objektet blir så mekanisk belastet og et andre speckle-bilde blir detektert av det deformerte objektet; og det andre bildet blir sammenlignet elektronisk med det første (f.eks. ved å subtrahere de grå nivåene til tilsvarende punkter i de to bildene) for å oppnå et endelig bilde (interferogram) som viser korrelasjonsstriper med økende tetthet i områder på objektet som opplever maksimal deformasjon. Belysningsstyrken for hvert punkt på interferogrammet er gitt av den følgende ligning:

$$I(x, y) = 4\sqrt{I_0 I_R} \left| \sin\left(\Phi + \frac{\Delta\Phi}{2}\right) \right| \left| \sin\left(\frac{\Delta\Phi}{2}\right) \right| \quad (1)$$

5 hvor  $I_0$  er intensiteten til lyset som blir spredt tilbake av objektet;  $I_R$  er intensiteten til en referansestråle detektert samtidig med det tilbakespredte lyset;  $\Phi(x, y)$  er den tilfeldige fasen relativ til distribueringen av speckle-lyset; og  $\Delta\Phi(x, y)$  er fasevariasjonen relativt til variasjonen i den optiske veien generert av overflatedeformasjon av objektet.

Ligningen ovenfor tillater å bestemme aktuell deformasjon til objektet fra korrelasjonsstripemønsteret.

10 I speckle-bildeaddisjonsprosessen, blir interferensbilder generert ved å addere, i motsetning til å subtrahere, de to speckle-bildene for å oppnå et interferogram lignende det for subtraksjonsprosessen, men som er karakterisert ved dårlig kontrast for stripene, og som er styrt av den følgende ligning:

$$I(x, y) = 2(I_0 + I_R) + 4\sqrt{I_0 I_R} \left| \cos\left(\Phi + \frac{\Delta\Phi}{2}\right) \cos\left(\frac{\Delta\Phi}{2}\right) \right| \quad (2)$$

15 Som det kan ses, i tillegg til et faseskift for stripene sammenlignet med de som oppnås ved å bruke subtraksjonsprosessen (slik at maksimal lysstyrke for bildeaddisjonsinterferogrammet svarer til minimal lysstyrke for bildesubtraksjonsprosessen) er bildeaddisjonsinterferogrammet også forskjellig ved å omfatte et støyledd  $2(I_0 + I_R)$ , som representerer et forstyrreledd som reduserer synligheten (og derfor kontrasten) mye for stripene.

20 Som en løsning på problemet har det blitt foreslått en alternativ teknikk hvor to etterfølgende interferensbilder oppnådd ved å bruke addisjonsprosessen blir subtrahert én fra den andre for å oppnå et ytterligere bilde med en belyningsstyrke i henhold til den følgende ligning:

$$25 \quad I(x, y) = \left| 2\sqrt{I_0 I_R} \cos\Phi - 2\sqrt{I_0 I_R} \cos\left(\Phi + \alpha + \frac{\Delta\Phi}{2}\right) \cos\frac{\Delta\Phi}{2} \right| \quad (3)$$

hvor  $\alpha$  er fasevariasjonen generert mellom de tilfellene hvor de to interferensbildene er dannet.

30 Mens den forbedrer kontrasten til stripene, omfatter teknikken over likevel fortsatt et tilfeldig støyledd  $2\sqrt{I_0 I_R} \cos\Phi$ , og et andre sett av striper blir dannet på grunn av leddet  $\alpha$ .

ESPI-målinger for å studere deformasjonen av mekanisk belastede objekter kan bli foretatt ved å bruke interferometre med forskjellig optisk konfigurasjon for å måle deformasjon i planet eller ut av planet, som ønsket, dvs. for å bestemme

deformasjonen til objekter i eller utenfor planet til den overvåkede overflaten (forutsatt at flaten er hovedsakelig flat).

Overveielsene ovenfor angår også ESPI-målinger foretatt ved å bruke en kontinuerlig opererende eller pulset laser. Det vil si at det belastede objektet er gjenstand for laserpulser ved en forutbestemt frekvens for å generere respektive speckle-bilder, som blir detektert og vist, og som også kan bli gjenstand for addisjons- og subtraksjonsprosesser for å oppnå interferogrammer. Pulsede lasermålinger tillater å studere særlig raske deformasjonsprosesser ved å muliggjøre sammenligningen av nært etterfølgende deformasjonstilstander (tilsvarende til tilfellene hvor laserpulserne er sendt ut).

Det er en hensikt med den foreliggende oppfinnelsen å tilveiebringe en fremgangsmåte for å forbedre stripesynligheten til ESPI-målingene gjort ved å bruke en pulset kilde og bildeaddisjonsprosess.

Ifølge den foreliggende oppfinnelsen er det tilveiebragt en fremgangsmåte for å forbedre kontrasten for bilder oppnådd ved å bruke den pulsede bildeaddisjons ESPI-teknikken, og som beskrevet i krav 1.

En foretrukket, ikke-begrensende utførelse av den foreliggende oppfinnelse vil bli beskrevet ved hjelp av eksempel med referanse til de tilhørende tegninger hvor:

Fig. 1 viser skjematisk en første ESPI-deformasjonsdetekterende anordning som implementerer metoden ifølge den foreliggende oppfinnelse;

Fig. 2 viser sekvensen av laserpulser sendt ut av en laserkilde i anordningen i fig. 1;

Fig. 3 og 4 viser flytskjemaer av trinn i fremgangsmåten i henhold til den foreliggende oppfinnelsen;

Fig. 5 viser skjematisk en andre ESPI-deformasjonsdetekterende anordning som implementerer metoden ifølge den foreliggende oppfinnelse.

Nummer 1 i fig. 1 indikerer en ESPI-deformasjonsdetekterende anordning for å detektere deformasjon av et objekt 2, f.eks. en flat veggdel, belastet mekanisk på en kjent måte (ikke vist).

Mer spesifikt tillater anordning 1 å monitorere en hovedsakelig flat overflate 3 av objektet 2, og å detektere ut av planet deformasjon, dvs. som strekker seg i retninger på kryss av overflaten 3.

Anordning 1 omfatter hovedsakelig:

- en laserkilde 4 for å sende ut par av laserpulser  $J_1$ ,  $J_2$  som vist i fig. 2;

- en optisk sammenstilling 5 for å danne og lede laserpulsene  $J_1$  og  $J_2$ ;
- et telekamera 6 vendt mot overflaten 3, som sikter langs en akse A vinkelrett på overflaten 3, og som samarbeider med den optiske sammenstillingen 5;

5. - en sentral prosesseringsenhet 7 forbundet med telekameraet 6, som omfatter et bildeinnsamlingskort (ikke vist) for å innhente og prosessere bildene fra telekameraet 6;

- en svart/hvitt monitor 8 forbundet med den sentrale prosesseringsenheten 7, for å vise bildene innhentet av telekameraet 6;

10 - en opptaksenhet 9, f.eks. en magnetbåndopptaksenhet, også forbundet med den sentrale prosesseringsenheten 7, og for å ta opp bildene innhentet av telekameraet 6; og

- en pulsgenerator 10 forbundet med inngangen til prosesseringsenheten 7 og utgangen til laserkilden 4, for å forsyne laserkilden 4 med 25 Hz klokkepulser.

15 Laserkilden 4 er en Nd-YAG-type, og omfatter internt to resonerende kaviteter (ikke vist) for å generere par med nære laserpulser  $J_1$ ,  $J_2$  (fig. 2) på tilnærmet 10 ns varighet og en bølgelengde svarende til fargen grønn; hvert pulspar er adskilt fra det følgende paret med 40 ms; pulsene  $J_1$  og  $J_2$  i hvert par er adskilt med et forhåndsbestemt tidsintervall, f.eks. 10  $\mu$ s; og en laserkilde 4 er orientert for å

20 sende ut laserpulsene  $J_1$ ,  $J_2$  mot objektet 2.

Telekamera 6 er en fullinnhenting (full-aquisition)(dvs. ikke-linjesprang) type, og omfatter 20 ms datainnhentingstidsvinduer 11 (fig. 2) skilt fra hverandre med 20 ms. Som vist i fig. 2, er utsendingen av pulsene  $J_1$  og  $J_2$  synkronisert med innhentingsvinduene 11, dvs. hvert par av pulsene  $J_1$ ,  $J_2$  er sendt ut ved et

25 respektivt innhentingsvindu 11.

Den optiske sammenstillingen 5 omfatter en divergerende linse (spesielt en bikonveks linse) 13 lokalisert langs og svakt hellende med hensyn til banen til laserpulsene  $J_1$ ,  $J_2$ , og som avbøyer og retter pulsene  $J_1$  og  $J_2$  mot flaten 3 til objektet 2 for å belyse et sentralt område S på flaten 3.

30 Den optiske sammenstillingen 5 omfatter også et lite flatt speil 14 tilpasset til flaten 3 på en ytre andel av arealet S; en piezoelektrisk translator 15 er montert bak speilet 14 og er kontrollert av en sentral prosesseringsenhet 7 ved hjelp av et digitalt-analog D/A-kort (ikke vist) for å bevege speilet 14 på en kontrollert måte i en retning vinkelrett på flaten 3; og et speil 14 er posisjonert vendt mot telekamera

35 6 og sørger for å bryte og reflektere en første ytre andel  $F_1$  av hver innkommende puls  $J_1$  eller  $J_2$ .

Den optiske sammenstillingen 5 omfatter også et flatt speil 16 orientert med en vinkel på ca.  $45^\circ$  med hensyn til flaten 3, og som sørger for å bryte den første andelen  $F_1$  reflektert av speilet 14 og videre reflektere det langs en akse B vinkelrett på aksene A.

- 5 Den optiske sammenstillingen 5 omfatter også en stråledeler 17 lokalisert mellom telekamera 6 og flaten 3 i skjæringspunktet mellom aksene A og B, og omfatter en flat semireflekerende flate 18 parallelt med speilet 16 og som definerer en vinkel  $\alpha$  på ca.  $45^\circ$  med hensyn til aksene A og B.

- 10 På en første flate 18a av den semireflekerende flaten 18 vendt mot telekameraet 6, mottar stråledeleren 17 den første andelen  $F_1$  reflektert av speilene 14 og 16 og reflekterer den delvis til telekameraet 6. Samtidig mottar stråledeleren 17, på en andre flate 18b av den semireflekerende flaten 18, en andre andel  $F_2$  av hver puls  $J_1$  eller  $J_2$  som er tilbakespredt av flaten 3, og transmitterer den delvis, lagt oppå den første andelen  $F_1$ , til telekameraet 6.

- 15 Den optiske sammenstillingen 5 omfatter også et filter 19 lokalisert langs aksene B, mellom speilet 16 og stråledeleren 17, for å redusere og gjengi belyningsstyrken til den første andelen  $F_1$  sammenlignbart med den til den andre andelen  $F_2$ ; og en bikonkav linse 20 lokalisert langs aksene B, mellom filteret 19 og stråledeleren 17, for å samle den første andelen  $F_1$  på flaten 18a til den semireflekerende flaten 18.

- 20 Anordning 1 opererer som følger.

- Når anordning 1 blir skrudd på, forsyner prosesseringsenheten 7 pulsgeneratoren 10 med et 50 Hz kontrollsignal, som blir konvertert til et 25 Hz klokkesignal og forsynt til laserkilden 4. Laserkilden 4 sender derfor ut hvert 40. ms, et par av pulser  $J_1, J_2$  som når de når linsen 13 blir spredt og ledet mot flaten 3 på objektet 2.
- 25 For hver av pulsene  $J_1, J_2$  som treffer på flaten 3, blir en første andel  $F_1$  avskåret av speilet 14 og reflektert mot speilet 16 hvor den igjen blir avskåret og ledet langs aksene B mot stråledeleren 17. Den første andelen  $F_1$  blir derfor ledet gjennom filteret 19, hvor den får redusert intensiteten, og gjennom linsen 20 hvor den blir kollimert, mot flaten 18a hvor en del av den (ca. 50 %) blir reflektert mot telekameraet 6. Samtidig blir en andre andel  $F_2$  av pulsene  $J_1$  eller  $J_2$  tilbakespredt direkte av flaten 3 mot flaten 18b til stråledeleren 17, hvor en del av det (ca. 50 %) passerer gjennom flaten 18b til telekameraet 6; og deler av de første og andre andelene  $F_1, F_2$  som når det sensitive området av telekamera 6 blir lagt på hverandre for å generere et speckle interferensbilde.

- 35 Hvis  $U_a$  og  $U_b$  er de respektive feltene for de første og andre andelene  $F_1, F_2$ , er den resulterende intensiteten  $U$  sett av telekamera 6 gitt ved følgende ligning:

$$I = I_a + I_b + 2(I_a I_b)^{1/2} \cos(\Phi) \quad (4)$$

## LIGNING

5 hvor  $I_a = U_a U_a^*$ ;  $I_b = U_b U_b^*$ ; og  $\Phi$  er specklefasen som varierer tilfeldig i bildet (symbolet \* indikerer den komplekskonjugerte). For hver puls  $J_1, J_2$  sendt ut av laserkilden 4, innhenter derfor telekameraet et speckle-bilde av objektet 2 hvor  
 10 flaten 3 antar et typisk granulært utseende av tilfeldig anordnede lyse og mørke flekker. For hvert par av pulser  $J_1, J_2$  sendt ut av laserkilden 4, mottar det sensitive området på telekameraet 6 to distinkte speckle-bilder forskjøvet med ca.  $10\mu s$ , mottatt i det samme innhentingsvinduet til telekameraet 6 og som er overlagret for å generere et totalt interferensbilde hvor korrelasjonsstriper er distribuert ifølge  
 15 ligning (2) under

$$I(x, y) = 2(I_0 + I_R) + 4\sqrt{I_0 I_R} \left| \cos\left(\Phi + \frac{\Delta\Phi}{2}\right) \cos\left(\frac{\Delta\Phi}{2}\right) \right| \quad (2)$$

20 hvor, i dette tilfellet,  $I_R$  er intensiteten til den første andelen  $F_1$ , og  $I_0$  er intensiteten til den andre andelen  $F_2$ . I dette interferensbildet, er korrelasjonsstripemønsteret relatert til deformasjonen (særlig deformasjonen utenfor planet definert av flaten 3) av objektet 2 i det korte intervallet (dvs. ca  $10\mu s$ ) som skiller utsendingen av pulsene  $J_1, J_2$  i hvert par.

Som det kan ses, omfatter ligning (2) støy-ledd  $2(I_0 + I_R)$  som reduserer kontrasten til stripene mye.

25 Ifølge den foreliggende oppfinnelsen er det implementert en fremgangsmåte for å eliminere, eller i det minste redusere, støy-leddet, og som, kort, omfatter en foreløpig målesyklus av objektet i ubelastet tilstand for å beregne et referanseverdi tilnærmet støy-ledd  $2(I_0 + I_R)$ ; referanseverdien er memorert og blir, ved den virkelige målesyklusen, hentet tilbake og subtrahert fra hvert interferogram for å forbedre synligheten av stripene.

30 Som vist i flytskjemaet i fig. 3, begynner den foreløpige målesyklusen med en blokk 100, som setter verdien til en parameter  $N$  svarende til det påkrevde antall trinn, dvs. antall par av laserpulser påkrevd for å utføre den foreløpige syklusen, og som også nuller ut en teller  $n$ , hvis funksjon blir beskrevet senere. Blokk 100 blir fulgt av en blokk 110 som leder et første par av laserpulser  $J_1, J_2$  av den allerede beskrevne type, mot objektet 2.

Blokk 110 blir fulgt av en blokk 120, som ved hjelp av telekameraet 6, henter inn de overlagede speckle-bildene generert av pulsene  $J_1$  og  $J_2$  for å oppnå et totalt interferensbilde ifølge ligning (2) og som blir digitalisert og memorert i den neste blokken 130.

35 Blokk 130 er fulgt av en blokk 140 som øker verdien av telleren  $n$  med én enhet ( $n = n + 1$ ), og som blir fulgt av en blokk 150 hvor den nåværende verdi av telleren  $n$

blir sammenlignet med  $N$ . Hvis  $n < N$ , dvs. hvis færre enn de krevde antall trinn har blitt utført, går blokk 150 videre til en blokk 160 hvor den sentrale prosesseringsenheten ved hjelp av D/A-kortet, overfører et kontrollsignal til en piezoelektrisk translatør 15 for å bevege speilet 14 på en kontrollert måte og således faseforskyve andelen  $F_1$  med en forhåndsbestemt verdi. F.eks. kan speilet 14 bli flyttet slik at det forårsaker et  $2\pi/N$  faseskift i andelen  $F_1$ ; på hvilket punkt blokk 160 går tilbake til blokk 110.

Motsatt, hvis  $n = N$  i blokk 150, dvs. hvis det krevde antall trinn har blitt oppnådd, går blokk 150 videre til en blokk 170 som mottar og beregner gjennomsnittintensiteten til de  $N$  memorerte totale interferensbildene for å oppnå en referanseintensitet  $I_{ref}$  ifølge ligningen:

$$I_{ref} = \langle 2(I_0 + I_R) + 2\sqrt{I_0 I_R} \cos \Phi \rangle = 2(I_0 + I_R) + 2\sqrt{I_0 I_R} \langle \cos \Phi \rangle \quad (5)$$

hvor:

$$\langle \cos \Phi \rangle = \int_0^{2\pi} \cos \Phi d\Phi = 0,$$

slik at:

$$I_{ref} = 2(I_0 + I_R) \quad (6)$$

dvs. at middelintensiteten for interferensbildene er lik (i det minste tilnærmet) støyleddet  $2(I_0 + I_R)$ .

I den neste blokken 180, blir verdien av referanseleddet  $I_{ref}$  (i dette tilfellet lik støyleddet) memorert, og fullfører dermed den foreløpige målsyklusen.

Som vist i fig. 4 starter den virkelige målesyklusen, utført etter den foreløpige målesyklusen og med objekt 2 mekanisk belastet, med en blokk 200 som leder et første par av laserpulser  $J_1, J_2$  av den allerede beskrevne type på et objekt. Blokk 200 blir fulgt av en blokk 210 som, ved hjelp av telekamera 6, plukker opp det overlagrede speckle-bildet generert av pulsene  $J_1$  og  $J_2$  for å oppnå et totalt interferensbilde ifølge ligning (2). I den neste blokken 220 blir det totale interferensbildet digitalisert av den sentrale prosesseringsenheten 7, og fra det blir det trukket, punkt for punkt, absoluttverdien  $I_{ref}$  beregnet i den foreløpige syklusen og uttrykt ved ligning (6), for å oppnå et korrigert totalt interferensbilde med

samme stripekonfigurasjon som originalen, men med sterkt forbedret kontrast mellom de lyse og mørke områdene.

Matematisk består subtraksjonsoperasjonen i å eliminere leddet  $2(I_0 + I_R)$  fra ligning (2) for å oppnå den følgende ligning:

$$I(x, y) = 4\sqrt{I_0 I_R} \left| \cos\left(\Phi + \frac{\Delta\Phi}{2}\right) \cos\left(\frac{\Delta\Phi}{2}\right) \right| \quad (7)$$

Blokk 220 fortsetter til en blokk 230 hvor det korrigerte totale interferensbildet er vist på monitoren 8 og blir mulig memorert av opptaksenhetsen 9.

Blokk 230 går videre til blokk 240 hvor den sentrale prosesseringsenhetsen 7 bestemmer om målingen er fullstendig, dvs. om et forhåndsbestemt antall bilder, tilstrekkelig for å karakterisere oppførselen til objekt 2 under belastning, har blitt innhentet.

I tilfellet av en negativ respons, går blokk 240 tilbake til blokk 200 som tillater å tilveiebringe ytterligere par av pulser  $J_1, J_2$ . Motsatt, går blokk 240 videre til en siste blokk 250, hvor målresultatene blir prosessert på en kjent måte for å bestemme deformasjonen til objektet 2.

I tillegg til anordning 1, kan metoden over også bli implementert ved andre ESPI-måleanordninger, slik som den vist og indikert som en enhet av 23 i fig. 5, og som tillater måling av deformasjon i planet, dvs. for detektering av flatedeformasjon av objekt 2 i planet definert av flaten 3.

Anordningen 23 omfatter en laserkilde 4 og en stråledeler 17 lik de i anordningen 1. I dette tilfellet er imidlertid stråledeleren 17 lokalisert langs forplantningsbanen til pulsene  $J_1, J_2$  for å direkte virke sammen med laserkilden 4, og dens flate semireflekerende flate 18 ligger langs en akse 30 hovedsakelig vinkelrett på flaten 3, slik at den definerer en omtrentlig  $45^\circ$  vinkel  $\alpha$  med hensyn til forplantningsbanen til pulsene  $J_1, J_2$ .

Anordningen 23 omfatter også et par med flate speil 24, 25 som vender mot hverandre på hver side av og parallelt med den optiske akse 30; og et par divergerende linser 26, 27 anbragt mellom flaten 3 og de respektive speilene 24, 25. Anordningen 23 omfatter også et CCD-telekamera 6 likt det i anordning 1, lokalisert langs akse 30 mellom stråledeleren 17 og objektet 2, og for å plukke opp flaten 3.

Slik som anordning 1, omfatter anordning 23 en sentral prosesseringsenhet 7 forbundet med telekamera 6; en monitor 8; en bildeopptaksenhet 9; og en pulsgenerator 10 for å kontrollere laserkilden 4.

Endelig omfatter anordningen 23 en piezoelektrisk translator 31 innpasset bak speilet 25, som forbinder speilet 25 til en fast støtte 32, og som blir kontrollert av den sentrale prosesseringsenheten 7 for å flytte speilet 25 på en kontrollert måte i en retning vinkelrett på sin reflekterende flate.

5 Anordning 23 virker som følger.

Hver puls  $J_1$ ,  $J_2$  sendt ut av laserkilden 4 blir delt av stråledeleren 17 i en første og andre andel  $G_1$ ,  $G_2$  ledet på respektive speil 24, 25; den første andelen  $G_1$  blir reflektert av speilet 24 og spredt av linsen 26 for å belyse et vidt område T på flaten 3; samtidig blir den andre andelen  $G_2$  reflektert av speilet 25 og diffusert av  
 10 linsen 27 til også å belyse et areal T oppå andelen  $G_1$ ; begge andeler  $G_1$ ,  $G_2$  blir tilbakespredt av flaten 3, og respektive andeler av dem treffer på det sensitive området i telekamera 6 for å danne et speckle-bilde. Som for anordning 1, innhentet i det samme innhentingsvinduet 11 for telekamera 6, blir speckle-bildene for pulsen  $J_1$  og  $J_2$  i det samme paret overlappet på det sensitive området av  
 15 telekamera 6 for å danne et totalt interferensbilde, hvor punkt for punkt intensiteten er gitt av ligning (2) hvor i dette tilfellet  $I_0$  og  $I_R$  er intensitetene til andelene  $G_1$  og  $G_2$ .

Også i dette tilfellet kan derfor fremgangsmåten ifølge oppfinnelsen bli utført ved å utføre en foreløpig målesyklus som beskrevet over for å beregne og memorere  
 20 verdien  $I_{ref}$ , og ved å deretter utføre den virkelige målesyklusen, hvor verdien  $I_{ref}$  blir trukket fra hvert digitalisert totale interferensbilde.

Fordelene med fremgangsmåten ifølge den foreliggende oppfinnelse vil være klart fra den forutgående beskrivelsen. Særlig tillater den stor forbedring av stripesynligheten for pulset-bilde-tilsetnings ESPI-bilder på en rett frem, fullt  
 25 automatisert måte ved å utføre en kort foreløpig målesyklus og ved enkelt å tilveiebringe en ekstra piezoelektrisk translator for å flytte ett av speilene i den foreløpige syklusen.

Åpenbart kan endringer bli gjort i anordningen som beskrevet og illustrert her, uten å fravike fra hensikten med den foreliggende oppfinnelse.

30 Særlig kan andelene  $F_1$  i anordning 1 og  $G_2$  i anordning 23 bli forskjøvet ved å bruke en hvilken som helst konvensjonell optisk teknikk og derved tillate kontrollert variasjon av den optiske banen til en stråle med koherent lys.

## PATENTKRAV

1. Fremgangsmåte for å forbedre kontrasten til bilder oppnådd ved å bruke den pulsede bildetilsetnings elektroniske speckle-mønsterinterferometriteknikken hvor nevnte interferometriteknikk blir brukt for å bestemme deformasjonen til et belastet objekt (2);
- 5 karakterisert ved at nevnte objekt (2) omfatter minst en hovedsakelig plan plate (3) egnet for monitorering; og at nevnte interferometriteknikk omfatter en virkelig målesyklus utført med objektet (2) under belastning og selv omfattende trinnene:
- 10 A) å generere en første laserpuls ( $J_1$ ) med en bølgelengde sammenlignbar med ruheten til nevnte flate (3);
- B) å rette i det minste en første andel ( $F_1$ ;  $G_1$ ) av en første laserpuls ( $J_1$ ) på nevnte flate (3);
- 15 C) å fange opp, ved hjelp av visningsmidler (6) og sammen med en andre andel ( $F_2$ ;  $G_2$ ) av første laserpuls ( $J_1$ ), minst én andel av nevnte første andel ( $F_1$ ;  $G_1$ ) tilbakespredt av nevnte flate (3);
- D) å innhente ved hjelp av nevnte visningsmidler (6) et første speckle-bilde dannet ved interferens mellom nevnte minst ene andel av nevnte første andel ( $F_1$ ;  $G_1$ ) og nevnte andre andel ( $F_2$ ;  $G_2$ );
- 20 E) å generere, etter et forutbestemt tidsintervall følgende etter genereringen av nevnte første puls ( $J_1$ ), en andre laserpuls ( $J_2$ ) med en bølgelengde sammenlignbar med ruheten til nevnte flate (3), og å definere med nevnte første puls ( $J_1$ ) et første par av pulser ( $J_1$ ,  $J_2$ );
- 25 F) å repetere nevnte trinn B), C), D) for nevnte andre laserpuls ( $J_2$ ) for å oppnå et andre speckle-bilde; hvor nevnte andre speckle-bilde er overlappet på første speckle-bilde for å danne et lav-kontrast totalt interferensbilde, hvor punkt for punkt belyningsstyrken er definert av en ligning som omfatter et første ledd som er en funksjon av flatedeformasjonen av objektet (2) og et andre støy-ledd ( $2(I_0+I_R)$ ) som bestemmer den lave kontrasten til nevnte lav-kontrast total interferensbilde;
- 30 G) å gjenta nevnte trinn A) til F) et-forhåndsbestemt antall ganger for å oppnå en sekvens med nevnte lav-kontrast total interferensbilder;
- hvor nevnte fremgangsmåte er karakterisert ved at den også omfatter en foreløpig målesyklus (100-180) utført før den nevnte virkelige målesyklusen, med nevnte objekt i ubelastet tilstand, og for å bestemme en
- 35 referansebelyningsstyrkeverdi ( $I_{ref}$ ) tilnærmet lik nevnte støy-ledd ( $2(I_0+I_R)$ );
- hvor fremgangsmåten også omfatter etter hvert trinn F) for nevnte virkelige målesyklus, ytterligere trinn:
- H) å subtrahere (220) nevnte referansebelyningsstyrkeverdi ( $I_{ref}$ ) fra hver av

de nevnte lav-kontrast totalinterferensbildene for å oppnå respektive høy-kontrast totalinterferensbilder.

2. Fremgangsmåte ifølge krav 1,  
 k a r a k t e r i s e r t v e d at punkt for punkt belyningsstyrken for hvert av  
 5 de nevnte lav-kontrast totalinterferensbildene er definert tilnærmet ved den  
 følgende ligning:

$$I(x,y) = 2(I_0 + I_R) + 4\sqrt{I_0 I_R} \left| \cos\left(\Phi + \frac{\Delta\Phi}{2}\right) \cos\left(\frac{\Delta\Phi}{2}\right) \right|$$

- 10 hvor  $I_0$  er belyningsstyrken til nevnte innfangede andel av nevnte første andel ( $F_1$ ;  $G_1$ ),  $I_R$  er belyningsstyrken til nevnte innfangede andel av nevnte andre andel ( $F_2$ ;  $G_2$ ),  $\Phi(x, y)$  er den tilfeldige fasen relativ til distribusjonen av speckle-lyset, og  $\Delta\Phi(x, y)$  er fasevariasjonen relativ til den optiske banevariasjonen generert ved deformasjon av nevnte flate (3);

- 15 og ved at punkt for punkt belyningsstyrken for hver av de nevnte høy-kontrast totalinterferensbildene er definert tilnærmet ved den følgende ligning:

$$I(x,y) = 4\sqrt{I_0 I_R} \left| \cos\left(\Phi + \frac{\Delta\Phi}{2}\right) \cos\left(\frac{\Delta\Phi}{2}\right) \right|$$

3. Fremgangsmåte ifølge krav 1 eller 2,  
 20 k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte foreløpige målesyklus omfatter trinn  
 identiske til nevnte trinn A) til F) og de ytterligere trinnene:

I) å variere fasen (160) til nevnte andre andel ( $F_2$ ;  $G_2$ ) med en  
 forhåndsbestemt andel ved slutten av hvert trinn F) i den foreløpige syklusen;

- 25 J) å repetere nevnte trinn A) til F) og trinn I) et forhåndsbestemt antall  
 ganger (N) for å danne et antall lav-kontrast totalinterferensbilder faseforskjøvet  
 med hensyn på hverandre, og hvor hvert lav-kontrast totalinterferensbilde omfatter  
 en fasevariasjon med hensyn til et etterfølgende lav-kontrast totalinterferensbilde;

- 30 K) å beregne (170) nevnte referansebelyningsstyrkeverdi ( $I_{ref}$ ) ved å  
 beregne middelbelyningsstyrken til nevnte antall faseforskjøvede lavkontrast  
 totalinterferensbilder.

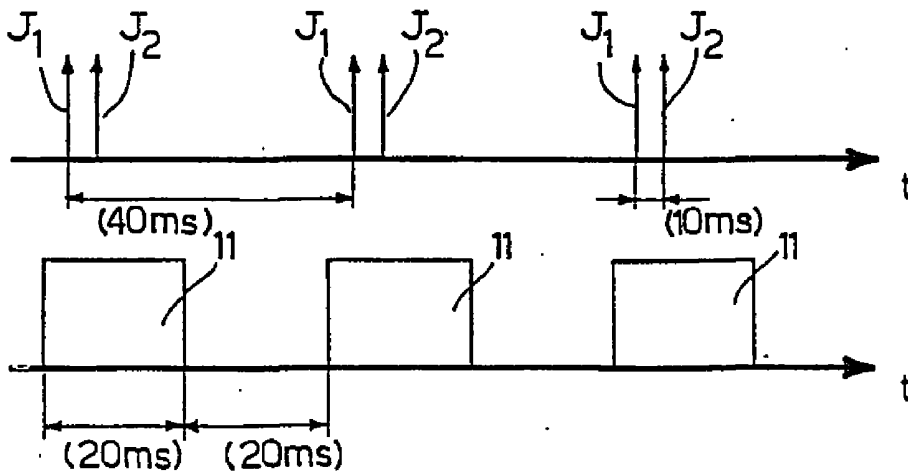
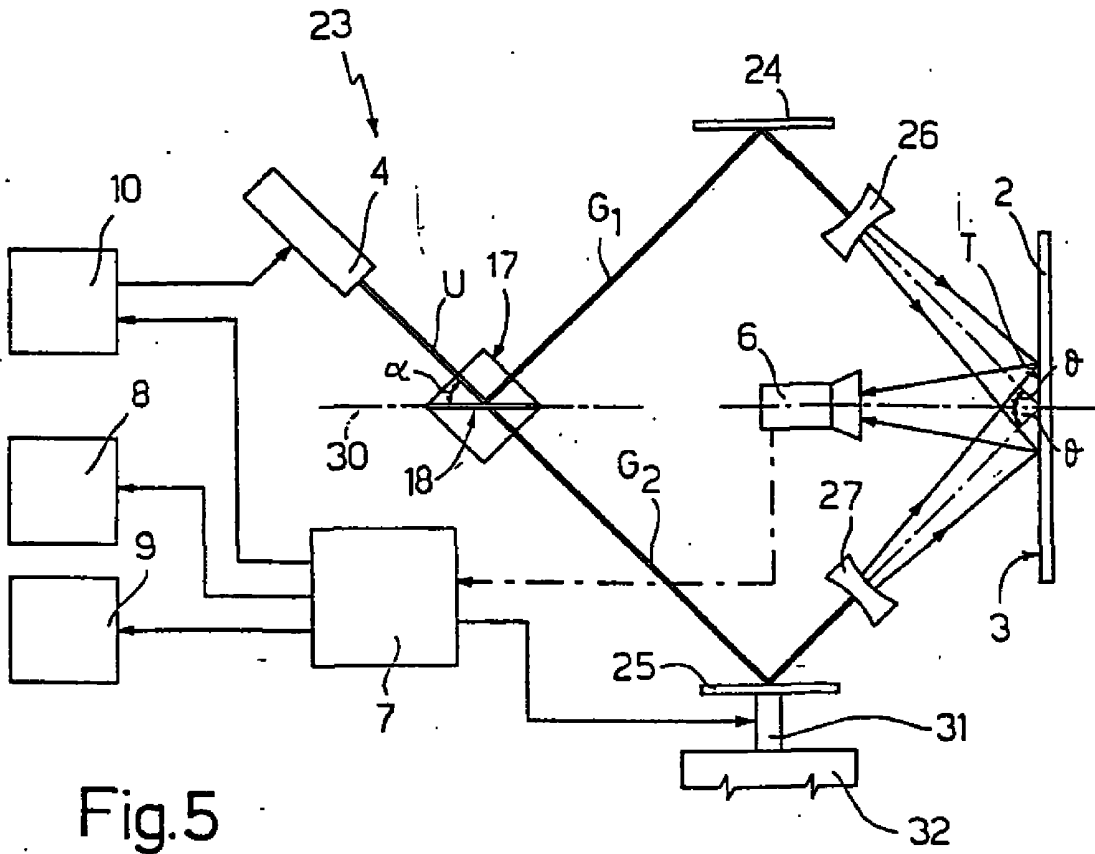
4. Fremgangsmåte ifølge krav 3,

k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte midlere belyningsstyrke til nevnte antall  
 faseforskjøvede lavkontrast totalinterferensbilder blir beregnet i henhold til den  
 følgende ligning:

$$I_w = \langle 2(I_0 + I_R) + 2\sqrt{I_0 I_R} \cos \Phi \rangle = 2(I_0 + I_R) + 2\sqrt{I_0 I_R} \langle \cos \Phi \rangle = 2(I_0 + I_R)$$

5. Fremgangsmåte ifølge krav 3 eller 4,  
 5 k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte trinn I) omfatter trinn for å avskjære og reflektere nevnte andre andel (F<sub>2</sub>; G<sub>2</sub>) ved hjelp av minst ett flatt speil (14; 25), og ved å flytte nevnte speil (14; 25) på en kontrollert måte for å variere den optiske banen til nevnte andre andel (F<sub>2</sub>; G<sub>2</sub>) og føre til nevnte fasevariasjon.
6. Fremgangsmåte ifølge krav 5,  
 10 k a r a k t e r i s e r t v e d at nevnte speil (14; 25) er tilpasset til nevnte flate (3) til nevnte objekt (2).
7. Fremgangsmåte ifølge krav 5,  
 k a r a k t e r i s e r t v e d at den omfatter trinnene:  
 - å dele opp nevnte laserpuls (J<sub>1</sub>) i nevnte første (G<sub>1</sub>) og nevnte andre (G<sub>2</sub>)  
 15 andel etterfølgende nevnte trinn A);  
 - å lede nevnte andre andel (G<sub>2</sub>) på nevnte flate (3) på nevnte objekt (2) etterfølgende nevnte trinn I).





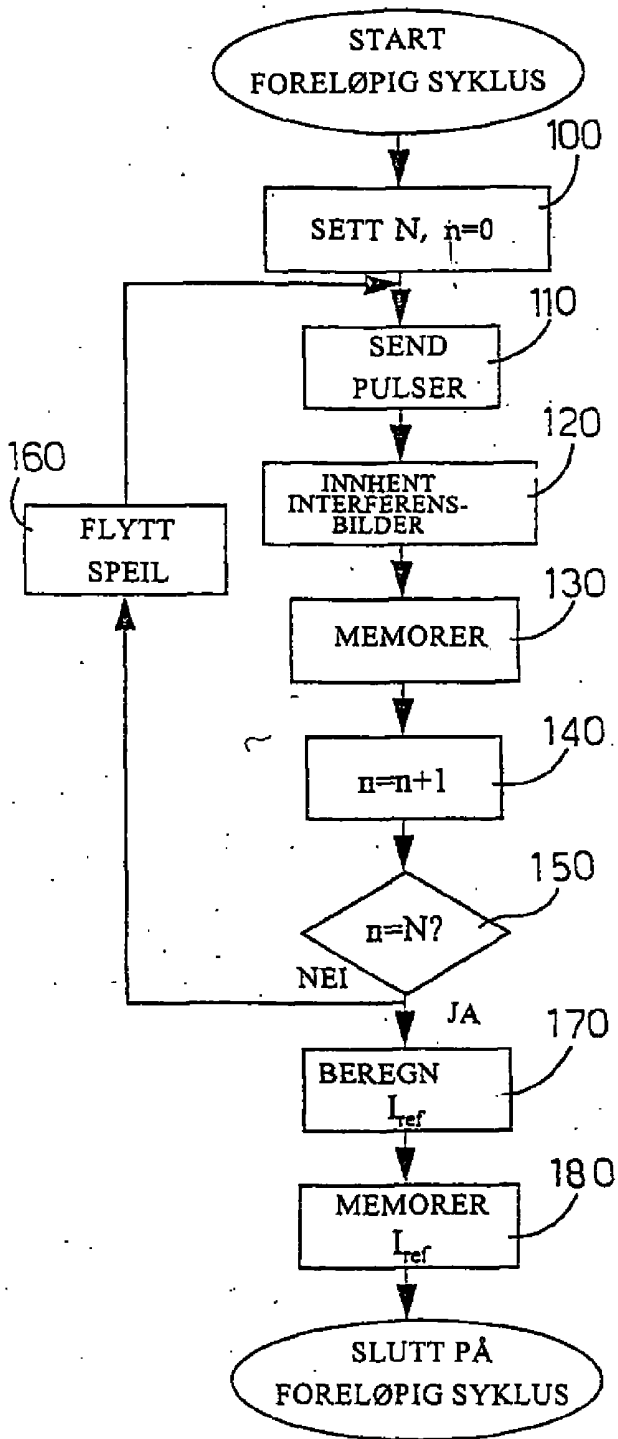


Fig. 3

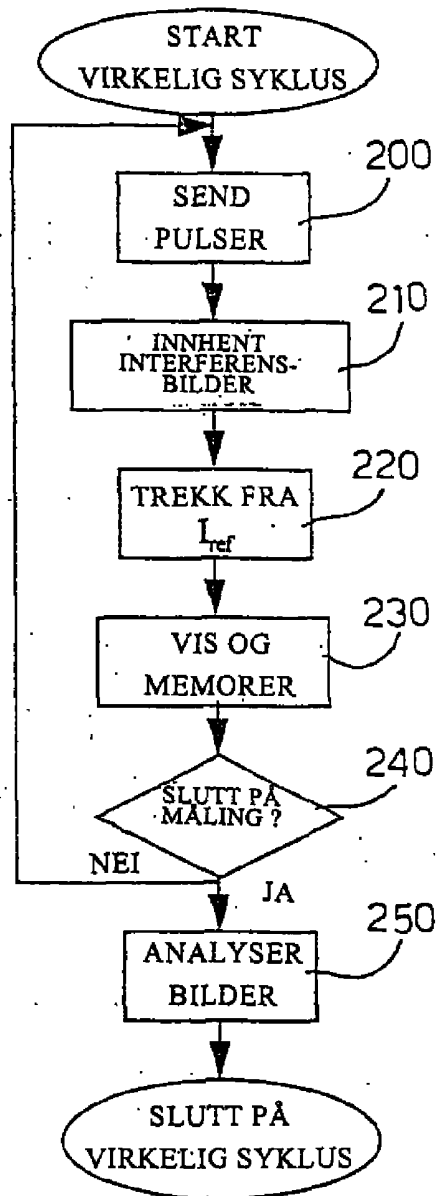


Fig. 4