

19



Bureau voor de
Industriële Eigendom
Nederland

11 1003175

12 C OCTROOI²⁰

21 Aanvraag om octrooi: 1003175

51 Int.Cl.⁶
G01D5/32, G01B11/04, G01D5/26

22 Ingediend: 21.05.96

41 Ingeschreven:
25.11.97

73 Octrooihouder(s):
Wilhelmus Petrus van Vliet te Weurt.
Petrus Hendricus Johannes Schellekens te
Nuenen.

47 Dagtekening:
25.11.97

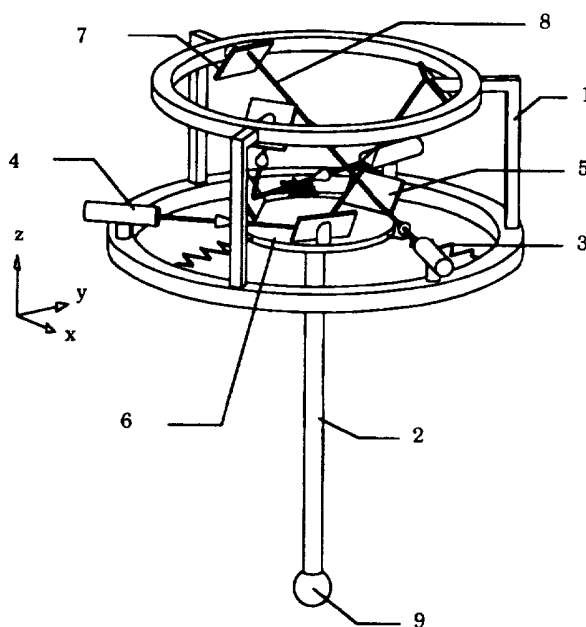
72 Uitvinder(s):
Wilhelmus Petrus van Vliet te Weurt
Petrus Hendricus Johannes Schellekens te
Nuenen

45 Uitgegeven:
02.02.98 I.E. 98/02

74 Gemachtigde:
Geen.

54 Mechanisch tastsysteem voorzien van een contactloos meetsysteem dat 6 vrijheidsgraden kan meten voor gebruik in coördinaten meetmachines, gereedschapsmachines en robots, geschikt om met hoge snelheid geometrische eigenschappen van werkstukken te bepalen.

57 De uitvinding heeft betrekking op een mechanisch tastsysteem voor gebruik in meetmachines en gereedschapsmachines om geometrische eigenschappen van werkstukken te bepalen. Hiertoe is een contactloos meetsysteem ontwikkeld dat in staat is om simultaan en met een hoge nauwkeurigheid 6 graden van vrijheid van een star lichaam te meten (6). Het maakt gebruik van 3 lichtbundels (8), voortgebracht door lichtbronnen (4) gemonteerd op een star frame (1) die elk door een aparte spiegel (5) gereflecteerd worden op een eigen detector (7), die ook weer aan het starre frame (1) verbonden zijn. De spiegels (5) zijn gemonteerd op een vrij bewegend star lichaam, de zogenaamde taststiftdrager (6). Elk van deze drie detectors (7) meet twee onafhankelijke translatiecomponenten, zodat op basis van 6 translatiecomponenten een rotatiematrix en translatievector kan worden berekend, waarmee de locatie van het starre lichaam is vastgelegd. Indien de relevante dimensies van de taststift (2) en tastlichaam (9) bekend zijn, dan kan ook een meetpunt van het werkstuk worden berekend.



NL C 1003175

De inhoud van dit octrooi komt overeen met de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekeningen.

Mechanisch tastsysteem voorzien van een contactloos meetsysteem dat 6 vrijheidsgraden kan meten voor gebruik in coördinaten meetmachines, gereedschapsmachines en robots, geschikt om met hoge snelheid geometrische eigenschappen van werkstukken te bepalen.

5

Achtergrond van de uitvinding

Mechanische tastsystemen worden veelvuldig ingezet bij de geometrische controle van allerlei producten die aan bepaalde eisen moeten voldoen ten aanzien van hun maatvoering. Mechanische tastsystemen dienen hierbij als interface tussen enerzijds de coördinaten meetmachine of gereedschapsmachine en anderzijds het werkstuk. Een coördinaten meetmachine of gereedschapsmachine bezit een aantal linialen welke bevestigd zijn op de verschillende bewegingsassen van de machine (meestal X, Y, en Z) die als het ware een referentie coördinatensysteem opspannen waaraan de geometrie van een werkstuk kan worden gerelateerd door middel van mechanisch aantasten. Dit aantasten geschied veelal door middel van een tastsysteem dat aan de laatste schakel van de machine is bevestigd en dat in staat is om veelal met hoge nauwkeurigheid het oppervlak van een werkstuk te detecteren. Bij detectie genereert het tastsysteem een signaal dat de machine instrueert om zijn linialen uit te lezen en op basis van deze gegevens het tastpunt, dat wil zeggen het contactpunt tussen taster en werkstuk, te berekenen. Veelal wordt het werkstuk aangetast met behulp van een uiterst nauwkeurig bekende kogel (hier verder te noemen de tastertip), maar dat is geen vereiste. Er wordt ook veelvuldig gebruik gemaakt van andere geometrische elementen, mits ze maar wiskundig nauwkeurig te beschrijven zijn en nauwkeurig gekalibreerd kunnen worden. De tastertip is met behulp van een taststift verbonden aan een detectiemechanisme dat zich in een zogenaamd tasterhuis bevindt. Dit tasterhuis is vervolgens verbonden met de machine.

Primaire problemen die optreden bij het ontwikkelen van mechanische tasters zijn de volgende :

1. hoe kan nauwkeurig de ruimtelijke positie van de tastertip worden bepaald;
2. hoe kan het contact tussen tastertip en werkstuk worden bepaald;

1003175

3. hoe kan schade aan taster en werkstuk worden voorkomen wanneer de taster-tip het werkstuk raakt.

In principe zijn hierbij twee benaderingen algemeen geaccepteerd die uitgaan van ofwel het geometrisch vastleggen van de tastertip totdat deze positie wordt verstoord door een aanraking met een werkstuk, ofwel door het meten van de verplaatsingen van de tastertip bij aanraking met een werkstuk.

Mechanische tasters gebaseerd op het eerste principe worden ook wel schakelende tasters genoemd, en zijn in de Angelsaksische literatuur veelal bekend onder de naam 'touch-trigger probes'. Het principe is gebaseerd op een ontwerp waarbij in principe alle 6 vrijheidsgraden van de taststift door het ontwerp worden vastgelegd. Deze 6 vrijheidsgraden worden in principe beschreven door 3 rotatiecomponenten en 3 translatiecomponenten. Indachtig een Cartesisch X, Y-, en Z-assenstelsel, dan impliceert dit respectievelijk een rotatie om elke van de 3 assen en een translatie in elke asrichting. De mechanische constructie waarop dit type mechanische taster is gebaseerd, wordt dikwijls een kinematische koppeling genoemd (zie o.a. US 4,702,013) en is afgeleid van de zogenaamde 'Kelvin clamp'. Een niet onbelangrijk voordeel van deze mechanische constructie is dat de massa's en massatraagheden van de bij de aantasting betrokken tasteronderdelen relatief laag kan blijven. In moderne mechanische tasters van dit type wordt de detectietaak veelal waargenomen door gevoelige sensoren zoals rekstroken of piëzo-elementen die in een heel vroeg stadium van de aantasting een contact tussen tastertip en werkstuk kunnen waarnemen, zie bijvoorbeeld EP 0 415 579 A1, EP 0 420 416 A2, US 4,702,013 en US 5,018,280. Zodra een aantasting wordt waargenomen door de taster wordt een 'trigger'-signaal gegenereerd en leest de machine zijn meetlinialen uit die tezamen het meetpunt bepalen. Vervolgens wordt door de machine een vertragingsbeweging in gang gezet om de machine tot stilstand moet brengen. Het voordeel van de veelal toegepaste kinematische koppeling is dat deze een grote deflectie van de tastertip toelaat ten opzichte van de referentiepositie, zonder dat beschadiging van de taster, werkstuk of machine kan optreden. Deze deflectiemogelijkheid wordt veelal 'overtravel' genoemd, en is een functionele eis voor mechanische tasters om schade te voorkomen. Nadat de machine tot stilstand is gekomen, keert de tastertip terug in zijn referentiepositie, veelal

aangeduid met 'reseating'. Alle meetpunten worden gerelateerd aan deze referentiepositie, dus de nauwkeurigheid van de gemeten punten hangt voor een deel af van de nauwkeurigheid waarmee de tastertip terugkeert naar zijn referentiepositie. Om meetafwijkingen van dit type te ondervangen danwel te corrigeren zijn systemen ontworpen waarmee deze afwijkingen gemeten danwel voor een groot
5 deel vermeden kunnen worden, zie bijvoorbeeld EP 0 415 579 A1, EP 0 307 782 B1, EP 0 423 307, EP 0 445 945 A1, DE 27 12 181 A1, DE 35 06 892 A1, US 5,018,280 en US 5,319,858.

10 De tot dusver beschreven mechanische taster genereert alleen op betrouwbare wijze een meetpunt wanneer een aantasting met een zekere minimale snelheid geschied. Het 'trigger'-signaal dient namelijk een zekere threshold-waarde te bereiken. Deze werking impliceert onmiddellijk dat het scannen van werkstukoppervlakken, waarbij een groot aantal meetpunten van een werkstukoppervlak wordt
15 verzameld om een indruk te krijgen van de vorm(-nauwkeurigheid) van het werkstuk, niet mogelijk is zonder dat voor ieder nieuw meetpunt een nieuw contact tussen werkstuk en tastertip wordt gerealiseerd.

Mechanische tasters gebaseerd op het tweede principe worden ook wel metende
20 tasters genoemd, in de Angelsaksische literatuur veelal bekend als 'measuring probe' of 'analog probe'. Bij dit type taster wordt elke beweging van de tastertip die constructief niet is vastgelegd, gemeten. Veelal wordt een meetpunt pas 'gerealiseerd' wanneer een bepaalde kracht, de vooraf ingestelde meetkracht, is aangebracht op het werkstuk. Veel metende mechanische tasters zijn gebaseerd op
25 mechanismen die drie translatiebewegingen toelaten (X-, Y-, en Z-beweging), maar rotatiebewegingen van de tastertip niet toelaten. Voorbeelden hiervan worden gegeven in DT 2 207 270 en DT 2 242 355. Ook zijn er systemen ontwikkeld waarbij andere vrijheidsgraden dan alleen rotaties worden vastgelegd. Voorbeelden hiervan worden gegeven in DE 28 35 615 C2, dat een taster met twee rotatie-assen be-
30 schrijft, en in DT 1 184 972 en DT 2 019 895 waarin mechanische tastersystemen staan beschreven met een zeer beperkte overtravel in een specifieke richting en daardoor zeer beperkt in hun toepassing. Tastersystemen gebaseerd op het meten van verplaatsingen zijn veelal groot en de tasteronderdelen die bij de aantasting

betrokken zijn hebben aanmerkelijke massa's en massa-traagheidsmomenten, met name omdat constructie-elementen nodig zijn om nauwkeurige tastertip bewegingen te garanderen of juist om ongewenste bewegingen te onderdrukken, alsmede om onderdelen van meetsystemen te kunnen monteren.

5

Door ons uitgevoerd onderzoek heeft uitgewezen dat twee effecten een grote rol spelen bij het nauwkeurig, mechanisch, meten van werkstukken met behulp van mechanische tasters. Allereerst is gebleken dat met name de massa's en massa-traagheidsmomenten van tastercomponenten die betrokken zijn bij het aantastproces een grote rol spelen bij het al dan niet beschadigen van werkstukken. Het is ons bekend dat met name metende mechanische tasters dusdanige beschadigingen aan werkstukoppervlakken kunnen toebrengen dat functionele schade kan ontstaan. Door ons verrichte experimenten met mechanische tasters van beide typen, dat wil zeggen zowel schakelende en metende tasters, waarbij stalen en aluminium proefstukken werden aangetast met verschillende meetsnelheden, resulteerden onder gebruikelijke aantastomstandigheden in schade aan de proefstukken. De schade aan de aluminium en de stalen proefstukken bestond uit kogelvormige indrukkingen met diameters die varieerden van 40 tot 150 μm en indrukkingen die varieerden van 0.1 μm tot 2.5 μm , afhankelijk van de gebruikte tastertipdiameter en aantast snelheid. Tevens werden krassen op de proefstukoppervlakken gevonden die het gevolg waren van een scheve deflectie van de tastertip, een deflectie(richting) die werd afgedwongen door het ophangingsmechanisme dat de tasterstift met het tasterhuis verbindt. In alle gevallen was de schade toe te wijzen aan enerzijds de relatief hoge massa's en massa-traagheidsmomenten van de bij de aantasting betrokken tasteronderdelen, anderzijds was de schade toe te wijzen aan de bewegingsrichtingen ('overtravel'-bewegingen) die de tasterstiftofhanging toeliet. De dynamische aantastkrachten, die de oorzaak zijn van deze proefstukschade, varieerden tussen 1 N en 15 N. Dit zijn botskrachten die factoren boven de gewenste meetkracht (veelal < 1 N) uitstijgen.

30

Door ons werd aangetoond dat de botskrachten, die het onvermijdelijke gevolg zijn van mechanisch aantasten, beperkt kunnen worden door de massa's en de massa-traagheden van de bij de aantasting betrokken tasteronderdelen zeer sterk te be-

perken. Tevens werd aangetoond dat botskrachten op werkstukken beperkt kunnen worden door de taster gedurende de aantasting te laten roteren, in plaats van te laten transleren. Dit betekent dat, met name bij metende tasters, hogere aantastsnelheden zijn toegelaten voordat werkstukbeschadiging optreedt indien de ophanging van de tasterstift roterende bewegingen van de tasterstift toelaat ten faveure van translerende bewegingen. In onze vinding zijn deze tekortkomingen ondervangen.

Tevens werd door ons aangetoond dat in de initiële fase van de aantasting stuiten optreedt van de tastertip, in de Angelsaksische literatuur ook wel aangeduid met 'stylus tip bouncing'. Dit stuiten, veroorzaakt door een plotseling contact tussen werkstuk en tastertip, welke voortbeweegt met een zekere meetsnelheid, kan aanleiding geven tot meetafwijkingen indien de linialen van de machine worden uitgelezen op het moment dat het contact tussen tasterstift en werkstuk verloren is gegaan. Bij metende tastersystemen is het zelfs zo dat de meetsystemen van de machine en de taster in principe in het geheel niet uitgelezen mogen worden voordat het contact tussen de tastertip en het werkstuk gestabiliseerd is, het effect verergerd naarmate de meetsnelheid toeneemt. Soms kan die stabilisatietijd wel enkele tienden van seconden duren, ook bij zeer lage aantastsnelheden, zodat kostbare meettijd verloren gaat. In onze vinding is een constructieve oplossing toegepast die dit 'bouncing' effect vermindert.

De uitvinding

De uitvinding heeft betrekking op een mechanisch tastsysteem voorzien van een contactloos meetsysteem dat 6 vrijheidsgraden kan meten voor gebruik in bijvoorbeeld coördinaten meetmachines, gereedschapsmachines en robots en geschikt om met hoge snelheid geometrische eigenschappen van werkstukken te bepalen. In figuur 1 is een principeschets weergegeven van het mechanische tastsysteem. Het meetsysteem maakt gebruik van 3 lichtbundels (8), voortgebracht door lichtbronnen (4) gemonteerd op een star referentiefraam (1) die elk door een aparte vlakke spiegel (5) gereflecteerd worden op een eigen detector (7), die ook weer aan het starre referentiefraam (1) verbonden is. Dit referentiefraam is vervolgens weer star verbonden aan een as van de coördinaten meetmachine, gereedschapsmachine of

robot. De vlakke spiegels (5) zijn gemonteerd op een vrij bewegend star lichaam, de zogenaamde taststiftdrager (6). Elk van de drie detectors (7) meet twee onafhankelijke translatiecomponenten die het gevolg zijn van de bewegingen van de drie lichtspots over de detectoroppervlakken, geïnitieerd door bewegingen van de taststiftdrager. Door al deze kenmerken wijkt dit meetsysteem geheel af van het meetsysteem beschreven in US 4,785,180. Deze bewegingen kunnen direct gerelateerd worden aan bewegingen van de taststiftdrager, zodat op basis van de 6 gemeten translatiecomponenten en de bekende positie- en oriëntatievectoren van de lichtbronnen, spiegels en detectors een rotatiematrix en translatievector kan worden berekend, waarmee de lokatie van het bewegende starre lichaam volledig is vastgelegd ten opzichte van het referentiefraam. Indien de relevante dimensies van de taststift (2) en tastlichaam (9) bekend zijn, dan kan ook een meetpunt van het werkstuk worden berekend. Deze dimensies kunnen op relatief eenvoudige wijze worden bepaald met behulp van een kalibratie.

15

Bij de berekening van het aantastpunt wordt er van uitgegaan dat er een eenduidige relatie bestaat tussen de positie van de tastertip en de positie en oriëntatie van het vrij bewegende starre lichaam gedurende het tijdsinterval (binnen de aantastingsperiode) waarin het meetsysteem wordt uitgelezen. Dit deelsysteem van de taster wordt dus volkomen star verondersteld, hetgeen overigens niet ongewoon is, omdat deze veronderstelling in principe bij elke mechanische taster wordt gedaan.

Uiteraard is het bij dit meetsysteem niet relevant of de 3 lichtbundels worden voortgebracht door 3 lichtbronnen danwel door een ander aantal. Wel relevant is de oriëntatie van de spiegels. De normalen van deze vlakke spiegels moeten een dusdanig oriëntatie hebben, dat ze lineair onafhankelijk staan opgesteld. Dit laat dus ook andere oriëntaties van de spiegels toe dan die welke is weergegeven in figuur 1. Ook moet worden opgemerkt dat het niet essentieel is dat 3 vlakke spiegels worden gebruikt, maar 3 spiegelende vlakken waarvan de normalen lineair onafhankelijk zijn. Dit leidt ertoe dat bijvoorbeeld ook een prisma opgebouwd uit halfdoorlatende spiegels kan worden gebruikt dat één lichtbundel splitst in 3 onafhankelijke lichtbundels en reflecteert naar de verschillende detectors. Ook is het niet essentieel voor het functioneren van het contactloze meetsysteem dat de 3 vlakke

spiegels op het vrij bewegende starre lichaam zijn gemonteerd. Ook de detectors en de lichtbron(nen) mogen op het vrij bewegende starre lichaam worden geplaatst, maar dan dienen de spiegels aan het vaste referentiefraam gemonteerd te zijn. Tot slot moet worden opgemerkt dat de posities en de oriëntaties van de overige componenten zoals weergegeven in figuur 1 niet essentieel zijn. Overigens is het wel aan te raden om de componenten symmetrisch op te stellen ten opzichte van de verticale as van het systeem. Dit levert het grootste meetbereik op, gecombineerd met een zo gelijkmatig mogelijk verdeelde systeemresolutie. Daarnaast levert een symmetrische opstelling van de componenten nog het voordeel dat fabricage veelal eenvoudiger is en dat het thermisch gedrag van een symmetrische constructie veelal te prefereren is boven het gedrag van een niet-symmetrische constructie, in verband met materiaalspanningen en uitzettingseffecten.

In het hier gepresenteerde mechanische tastersysteem, uitgerust met het hierboven beschreven contactloze meetsysteem, zijn de vlakke spiegels gemonteerd op het vrij bewegende starre lichaam waaraan ook de tasterstift is bevestigd. Hierdoor is de vrij bewegende constructie gevrijwaard van voedingskabels van de lichtbronnen en signaalkabels van de detectors. Dit maakt een zeer lichte constructie van de taststiftdrager mogelijk, zoals weergegeven in figuur 2. De taststiftdrager, hier aangegeven met (6), en de 3 vlakke spiegels (5) hebben tezamen een massa van 0,75 g in het actuele ontwerp. Dit is zeer weinig, gezien het feit dat er ook metende mechanische tasters bestaan met een bewegende massa van 130 g. Door die zeer lage massa en de geringe geometrische afmetingen van de taststiftdrager zijn ook de diverse massatraagheidsmomenten erg klein, hetgeen het mogelijk maakt om met deze taster met hoge meetsnelheid een werkstuk aan te tasten, zonder dat dit leidt tot grote botskrachten op het werkstuk.

Het meetvolume van het tastsysteem wordt bepaald door een aantal factoren, waarbij de grootte van de actieve detectorvlakken en de afstand tussen de spiegels en de detectors de belangrijkste parameters zijn. De afstand tussen de spiegels en de detectors is deels vastgelegd door de minimaal vereiste 'overtravel', om schade van de tastercomponenten, na aantasting van het werkstuk en vóórdát de machine tot stilstand is gekomen, te voorkomen. In het huidige, hier gepresenteerde, ont-

werp is de toegelaten overtravel zeker 8 mm in elke bewegingsrichting van de taststiftdrager, hetgeen ruim voldoende is. De grootte van de actieve detectorvlakken is gelimiteerd door enerzijds de gewenste resolutie van het tastersysteem en anderzijds de maximaal haalbare discretisatie van de detectorsignalen. Een discretisatie is noodzakelijk om de 6 gemeten translatiecomponenten te kunnen omrekenen naar een lokatieverandering van het vrij bewegende, starre lichaam. Het door ons ontworpen meetsysteem zoals dat is ingebouwd in het tastersysteem, haalt een verplaatsingsresolutie kleiner dan $0.1 \mu\text{m}$ en een hoekresolutie van $5 \mu\text{rad}$. Het meetgebied van het meetsysteem, gemeten op de positie van de tastertip en een taststiftlengte van 30 mm beslaat enkele millimeters in elke richting. Naarmate de taststiftlengte toeneemt, neemt ook het meetgebied in bepaalde aantastrichtingen toe.

De meetsnelheid van het ontworpen meetsysteem is in principe alleen begrensd door de snelheid waarmee de lichtspots zich over het oppervlak van de detectors verplaatsen en de snelheid van de post-processing electronica die de signalen van de detectors omzetten in voor de computer bruikbare informatie. Experimenten hebben aangetoond dat het tastsysteem uiterst nauwkeurig is (meetafwijkingen $< 1 \mu\text{m}$) bij meetsnelheden die varieerden van 1 mm/s tot 70 mm/s, zonder dat schade ontstond aan proefstukken.

Omdat het ontworpen meetsysteem in staat is om 6 graden van vrijheid te meten van het vrij bewegende starre lichaam, worden aan de ophanging van dit vrij bewegende starre lichaam in principe geen speciale eisen gesteld. Vanuit meettechnisch oogpunt worden er echter wel eisen gesteld, die als volgt kunnen worden samengevat :

1. Door het beperkte bereik van het meetsysteem moet ten alle tijde worden gegarandeerd dat de taststiftdrager naar zijn rustpositie terugkeert, waarbij de 3 lichtspots zich in, of vlakbij, het nulpunt van de detectors bevinden. Verder moet worden gegarandeerd dat de lichtspots op de detectors blijven gedurende versnellingen en vertragingen van de machine, omdat anders geen data-samples kunnen worden genomen indien een aantasting gedurende die beweging plaatsvindt.

1003175

2. Een zekere stijfheid en demping is vereist om goede aantastcondities te verkrijgen. De stijfheid is vereist om een zekere (minimale) aantastkracht te garanderen gedurende de aantastingscyclus. De demping dient bij te dragen aan een reductie van de totale stuitertijd tussen tastertip en werkstuk gedurende de
5 initiële fase van de aantasting. Verder dient de demping ongewenste oscillaties van de taststiftdrager te beperken.
3. De ophanging van de taststiftdrager moet in principe 'overtravel'-bewegingen van de taststiftdrager in de orde van grootte van enkele millimeters (gemeten op de positie van de tastertip) toelaten. Deze 'overtravel'-bewegingen zijn ver-
10 eist om schade aan taster, machine en werkstuk te voorkomen nadat de aantasting heeft plaatsgevonden, maar voordat de machine tot stilstand is gekomen.

Om aan deze diverse eisen tegemoet te komen, is ook een speciale flexibele ophan-
15 ging ontworpen zoals weergegeven in figuur 2 en aangegeven met (3). Ofschoon het gebruik van een flexibele ophanging bij mechanische meettasters niet nieuw is, zie bijvoorbeeld DE 27 12 181 A1, DE 35 23 904 A1 en DD 287 993 A5, is de hier be-
schreven flexibele ophanging dat wèl. De ophanging is gemaakt uit dun veren-
staalband en bestaat uit een buitenring en een binnenring, verbonden door drie
20 dunne bladveer-vormige elementen (10). Deze ophanging wijkt ook volledig af van de flexibele ophanging beschreven in DT 24 40 692 B1 doordat in principe veel
minder graden van vrijheid zijn vastgelegd. De openingen (11) in de buitenring
hebben geen functionele betekenis. De buitenring wordt in het tasterhuis geklemd,
terwijl de binnenring wordt gebruikt om de taststiftdrager te bevestigen. Door de
25 gekozen vorm van de bladveer-vormige elementen kunnen zeer grote elastische
verplaatsingen in Z-richting worden toegelaten (vele millimeters), zonder dat dit
consequenties heeft voor de diameter van de buitenring. Hierdoor kan de diameter
van het tasterhuis beperkt blijven. Tevens laat deze constructie rotaties om een
willekeurige as in het X-Y-vlak toe van enkele tientallen graden, zonder dat plasti-
30 sche vervorming van de constructie optreedt. Doordat de ophanging uit plaat is
vervaardigd blijft kan ook de hoogte van het tasterhuis beperkt blijven.

Door de relatief slappe verbinding tussen de buiten- en de binnenring en de zeer lage massa worden dynamische verschijnselen, die ontstaan door het met hoge snelheid aantasten van werkstukken, niet doorgeleid naar het tasterhuis. Een gunstige eigenschap van de ophanging is dat de rotatiestijfheid van de ophanging om een horizontale as gelijk is. Door een juiste keuze van de geometrie van de bladveer-vormige elementen kunnen de stijfheidsverhouding (gemeten op de positie van de tastertip) voor de diverse richtingen dusdanig gekozen worden dat de aantastkrachten voor de diverse aantastrichtingen dezelfde orde van grootte hebben.

10

Vanwege de zeer lage inwendige demping van de uit verenstaalband geconstrueerde tasterstiftophanging, is op de bladveer-vormige elementen (10) dempend materiaal (12) aangebracht, zoals weergegeven in figuur 3. Dit dempende materiaal heeft een tweeledig doel. Enerzijds wordt hiermee de totale stuitertijd tussen tastertip en werkstuk sterk gereduceerd, anderzijds beperkt het zeer efficiënt oscillaties van de taststiftdrager welke kunnen ontstaan ten gevolge van versnellingen en vertragingen van de machine. Ook oscillaties die ontstaan door het terug bewegen van de machine zodat de tastertip het contact verliest met het werkstuk worden zeer effectief gedempt.

20

In figuur 4 is een ophanging weergegeven welke is opgebouwd uit een buitenring en een binnenring, maar die met elkaar verbonden zijn door middel van verenstaaldraad. Door de speciale ruimtelijke constructie en de toepassing van verenstaaldraad wordt een zeer groot 'overtravel'-bereik verkregen. Tevens kan met deze constructie een stijfheid op de tastertip worden bereikt die voor elke richting bij benadering gelijk is, gegeven een bepaalde taststiftlengte. Uiteraard kan ook hier gebruik worden gemaakt van het dempende materiaal om ongewenste effecten te beperken.

30

Omdat in het ontworpen systeem een duidelijke indicatie ontbreekt van het tijdsinterval waarbinnen een contact bestaat tussen tastertip en werkstuk, is een criterium geformuleerd dat aangeeft wanneer de positie van de tastertip overeenkomt met een punt op het werkstukoppervlak. Het criterium is gebaseerd op een evalu-

atie van de relatieve snelheid van de tastertip ten opzichte van het referentieframe, en de snelheid van het referentieframe zelf. Een sommatie van deze twee snelheden levert bij benadering de nulvector op, en wanneer dit criterium gedurende een arbitrair in te stellen tijdsinterval (bijvoorbeeld 20 ms) wáár is bevonden, dan is dat een zekere indicatie van een correct meetpunt op het te meten werkstuk. In mathematische vorm ziet dit criterium er als volgt uit :

$$\vec{v}_{\text{referentie-frame}} + \vec{v}_{\text{vrij-lichaam}} \approx \vec{0} \quad \wedge \quad \vec{v}_{\text{referentie-frame}} \neq \vec{0}$$

10 Ten behoeve van een beperking van de bandbreedte van de onzekerheid in dit criterium kan dit aangepast worden volgens :

$$\frac{\vec{v}_{\text{referentie-frame}} + \vec{v}_{\text{vrij-lichaam}}}{\vec{v}_{\text{referentie-frame}}} \approx \vec{0} \quad \wedge \quad \vec{v}_{\text{referentie-frame}} \neq \vec{0}$$

15 Bij scannen moet dit criterium niet de nulvector opleveren, maar bij benadering de snelheid van het referentieframe.

Een overzichtstekening van de gehele constructie is weergegeven in figuur 5. Duidelijk herkenbaar zijn het tasterhuis (1), de flexibele ophanging (3), de taststift-
20 houder (6) met de vlakke spiegels (5) en de detectors (7). De uitwendige diameter van het tasterhuis bedraagt 40 mm, de hoogte bedraagt ook 40 mm. De diameter en de hoogte van het tasterhuis worden voornamelijk bepaald door de relatief grote afmetingen van de detectors. Verwacht wordt dat de afmetingen van het tasterhuis, door toepassing van een andere uitvoering detectors, met tenminste 30%
25 verkleind kunnen worden. De detectors zijn in het tasterhuis gemonteerd door middel van op de detectors gelijkde pasringen (18) die de detectors centreren in de gaten in het huis. Bovendien maken deze pasringen het mogelijk om de detectors om hun eigen as te laten roteren in verband met de optimalisatie van het meetvolume. De pasringen worden in het tasterhuis geklemd met behulp van klemringen
30 (19). De flexibele ophanging is tegen het tasterhuis geklemd met behulp van een klemplaat (14), die uitsparingen bevat om ervoor te zorgen dat de bladveer-vormige

elementen (10) ter plekke van de buitenring alleen op zuivere buiging kunnen worden belast. Boven op de klemplaat is een afdekplaat (13) bevestigd die vervuiling van het systeem moet tegengaan en de detectors afschermt van omgevingslicht. De lichtbronnen (die niet zijn weergegeven in deze overzichtstekening) worden aan het tasterhuis bevestigd met behulp van een instelbaar klemmechanismen (17) die om twee loodrecht op elkaar staande assen kunnen roteren, zodat de lichtbundels op het centrum van de detectors kunnen worden ingesteld. Klemming van de lichtbronnen geschiedt met een conische bussen (16) en moeren (15). De gehele constructie is met behulp van een adapterpen (20) bevestigd aan de machine.

10

CONCLUSIES

Een meetsysteem, **met het kenmerk** dat :

- 5 1. het contactloos de positie en oriëntatie (de 6 vrijheidsgraden) van een star lichaam in de ruimte kan bepalen op basis van 6 gemeten translatiecomponenten. Het is uitgevoerd met 3 lichtbronnen, 3 vlakke spiegels en 3 detectors, waarbij deze laatsten in staat dienen te zijn 2 onafhankelijke translatiecomponenten te meten. De vlakke spiegels zijn gemonteerd op het vrij bewegende
10 starre lichaam, zodat het systeem zich uitstekend leent om op basis van 6 translatiecomponenten een rotatiematrix en translatievector te berekenen waarmee exact de nieuwe lokatie (positie en oriëntatie) van het vrij bewegende starre lichaam ten opzichte van het referentielichaam kan worden bepaald.
- 15 2. Met inachtneming van de systeemkenmerken vermeld onder 1., de configuratie van de componenten van het meetsysteem ook zodanig kan zijn dat de spiegels gemonteerd zijn op het starre referentiefraam, en de detectors en de lichtbronnen zijn gemonteerd op het vrij bewegende starre lichaam.
- 20 3. Met inachtneming van de systeemkenmerken vermeld onder 1., de 3 lichtbronnen ook vervangen kunnen worden door een ander aantal lichtbronnen, met het wezenlijke kenmerk dat uiteindelijk 3 lichtbundels worden verkregen waarmee de lineair onafhankelijk ten opzichte van elkaar opgestelde vlakke spiegels kunnen worden aangestraald.
- 25 4. Met inachtneming van de systeemkenmerken vermeld onder 1., de drie vlakke spiegels ook vervangen mogen worden door een prisma opgebouwd uit halfdoorlatende spiegels dat één lichtbundel splitst in 3 onafhankelijke lichtbundels en reflecteert naar de verschillende detectors.
- 30 5. Met inachtneming van de systeemkenmerken vermeld onder 1., de 3 detectors ook vervangen kunnen worden door een ander aantal detectors, met het wezenlijke kenmerk dat uiteindelijk 6 translatiecomponenten kunnen worden gemeten, zodat de positie en oriëntatie van het vrij bewegende starre lichaam kan worden bepaald ten opzichte van het referentiefraam.
6. Met inachtneming van de systeemkenmerken vermeld onder 1., het meetsysteem zich uitstekend leent voor de toepassing in een mechanisch tastsysteem

geschikt voor meten, met hoge snelheden, van ruimtelijke coördinaten van
werkstukken relatief bewogen ten opzichte van het tastsysteem, bevattende een
vaste referentie die aan bijvoorbeeld een meetmachine, gereedschapsmachine of
robot kan worden gekoppeld, en een bewegend gedeelte waarvan de positie en
oriëntatie in de ruimte kan worden gemeten ten opzichte van de vaste referen-
5 tie. Het bewegende lichaam heeft in principe 6 graden van vrijheid, en is ver-
bonden met de vaste referentie door middel van een of andere ophanging die bij
voorkeur een gedwongen beweging van de tastertip omzet in een rotatiebewe-
ging van het bewegende lichaam, waarbij de krachten op het werkstuk zeer
10 laag blijven. Het mechanische tastsysteem is zowel geschikt voor "enkel-punts"
metingen uitgevoerd met lage danwel hoge meetsnelheden en voor doeleinden
zoals het met hoge snelheid en frequentie scannen (continue meten) van werk-
stukoppervlakken met een lage meetkracht.

7. Met inachtneming van de systeemkenmerken vermeld onder 1. en de toepas-
15 sing vermeld onder 6., maar dan met een ophanging die het vrij bewegende
starre lichaam verbindt met het referentiefraam waarbij de ophanging minder
dan 6 graden van vrijheid toelaat.

8. Met inachtneming van de systeemkenmerken vermeld onder 1. en de toepas-
20 sing vermeld onder 6. is een criterium ontwikkeld waarmee het interval van
aantasting en het moment van aantasting van een werkstuk kan worden be-
paald op basis van continue of discontinue positie- en oriëntatiebepaling van de
taststiftdrager danwel positiebepaling van het tastertip verbonden aan het be-
wegende starre lichaam. Het criterium is gebaseerd op een evaluatie van de
25 relatieve snelheid van de tastertip ten opzichte van het referentiefraam en de
snelheid van het referentiefraam zelf, zodat door een sommatie van deze twee
snelheden bij benadering de nulvector wordt verkregen, en wanneer dit criteri-
um gedurende een arbitrair in te stellen tijdsinterval wáár is bevonden, een ze-
kere indicatie is verkregen van de aanwezigheid van een correct meetpunt op
het te meten werkstuk, zodat het criterium als volgt geformuleerd kan worden :

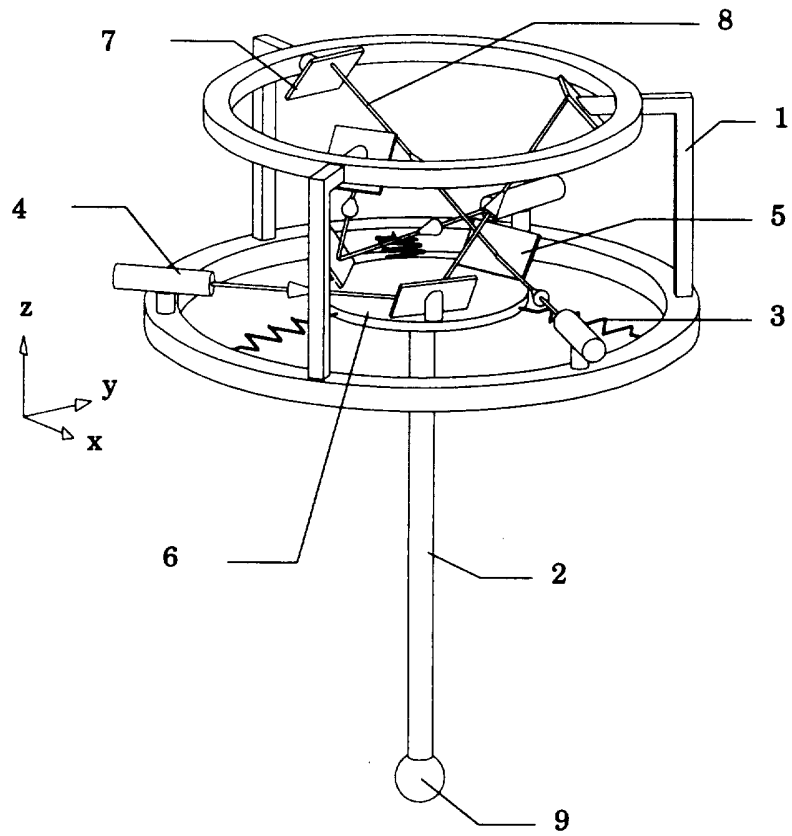
30
$$\vec{v}_{\text{referentie-frame}} + \vec{v}_{\text{vrij-lichaam}} \approx \vec{0} \quad \wedge \quad \vec{v}_{\text{referentie-frame}} \neq \vec{0}$$

waarbij, ten behoeve van een beperking van de bandbreedte van de onzekerheid
in dit criterium een aanpassing kan volgen volgens :

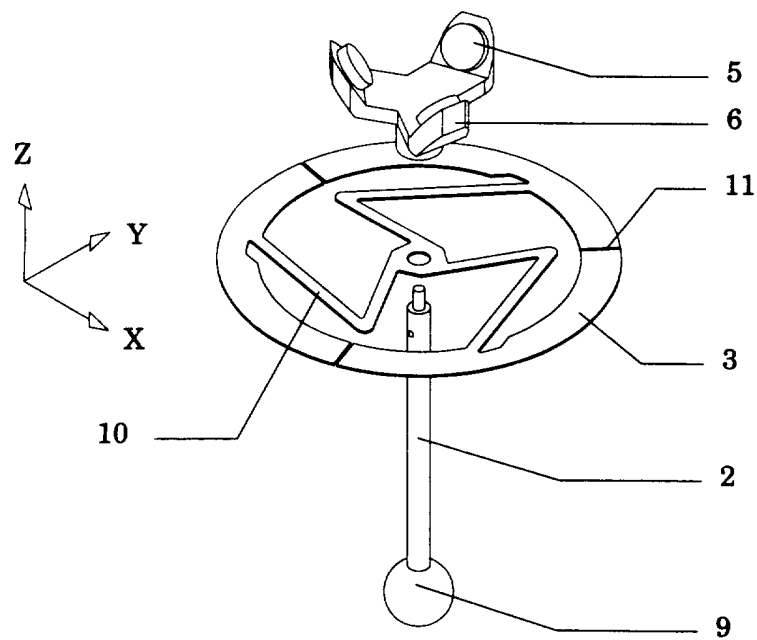
1003175

$$\frac{\vec{v}_{\text{referentie-frame}} + \vec{v}_{\text{vrij-lichaam}}}{\vec{v}_{\text{referentie-frame}}} \approx \vec{0} \quad \wedge \quad \vec{v}_{\text{referentie-frame}} \neq \vec{0}$$

9. Met inachtneming van de systeemkenmerken vermeld onder 1. en de toepassing vermeld onder 6. waarbij gebruik wordt gemaakt van een flexibele ophanging gemaakt uit verenstaalplaat waarmee het vrije bewegende, starre lichaam, elastisch kan worden verbonden aan het referentiefraam op een dusdanige wijze dat in principe geen enkele vrijheidsgraad wordt vastgelegd en met de karakteristieke eigenschappen dat deze ophanging een zeer lage massa bezit, een kleine diameter, een rotatiestijfheid die om elke as in het plaatoppervlak gelijk is, gecombineerd met een lage stijfheid loodrecht op het plaatoppervlak en een grote verplaatsingsvrijheid biedt aan het vrije, starre lichaam in praktisch elke bewegingsrichting.
10. Een ophanging conform de karakteristieken vermeld onder 9. maar gefabriceerd van een ander materiaal dan verenstaalplaat.
11. Een ophanging conform de karakteristieken vermeld in 9. maar lokaal of geheel bekleedt met een dempend materiaal.
12. Met inachtneming van de systeemkenmerken vermeld onder 1. en de toepassing vermeld onder 6., waarbij gebruik wordt gemaakt van een ophanging gemaakt van verenstaaldraad waarmee het vrije bewegende, starre lichaam, elastisch kan worden verbonden aan het referentiefraam op een dusdanige wijze dat in principe geen enkele vrijheidsgraad wordt vastgelegd en met de karakteristieke eigenschappen dat deze ophanging een zeer lage massa bezit, alsmede een kleine diameter en een rotatiestijfheid die om elke as in de ruimte gelijk is, gecombineerd met een stijfheid gemeten op de positie van de kogel die bij benadering gelijk is voor elke richting, gegeven een bepaalde lengte van de tasterstift en die een grote verplaatsingsvrijheid biedt aan het vrije, starre lichaam in elke bewegingsrichting.
13. Een ophanging conform de karakteristieken vermeld onder 9. maar gefabriceerd van een ander materiaal dan verenstaalplaat.
14. Een ophanging conform de karakteristieken vermeld in 12. maar lokaal of geheel bekleedt met een dempend materiaal.

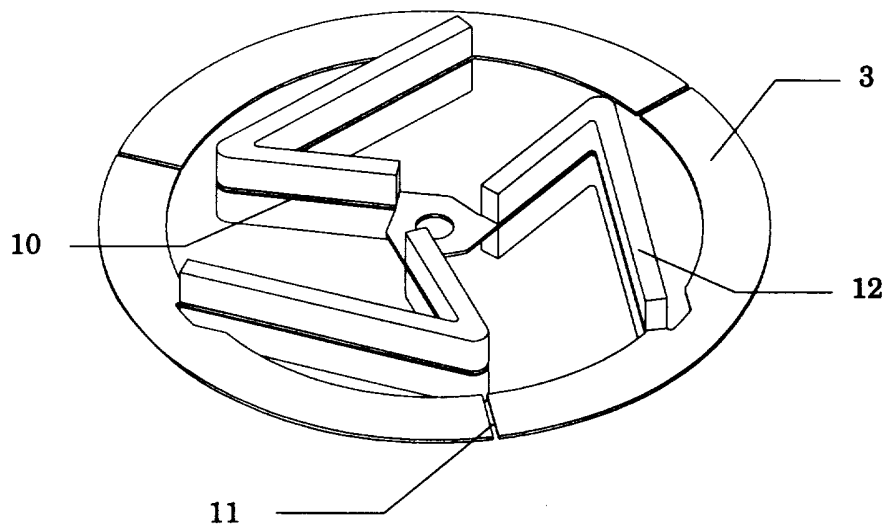


Figuur 1

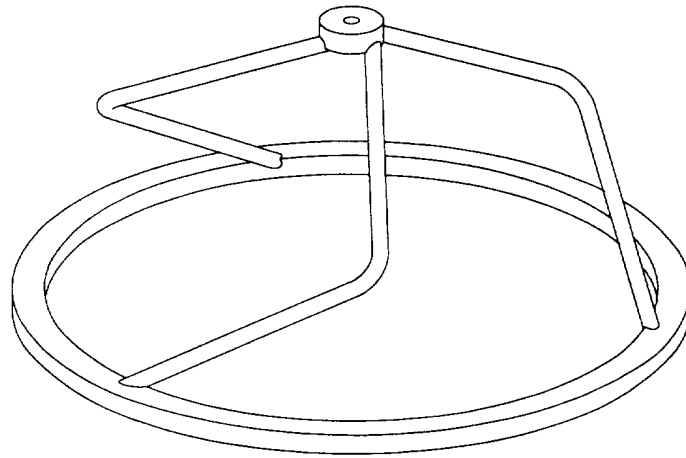


Figuur 2

1003175

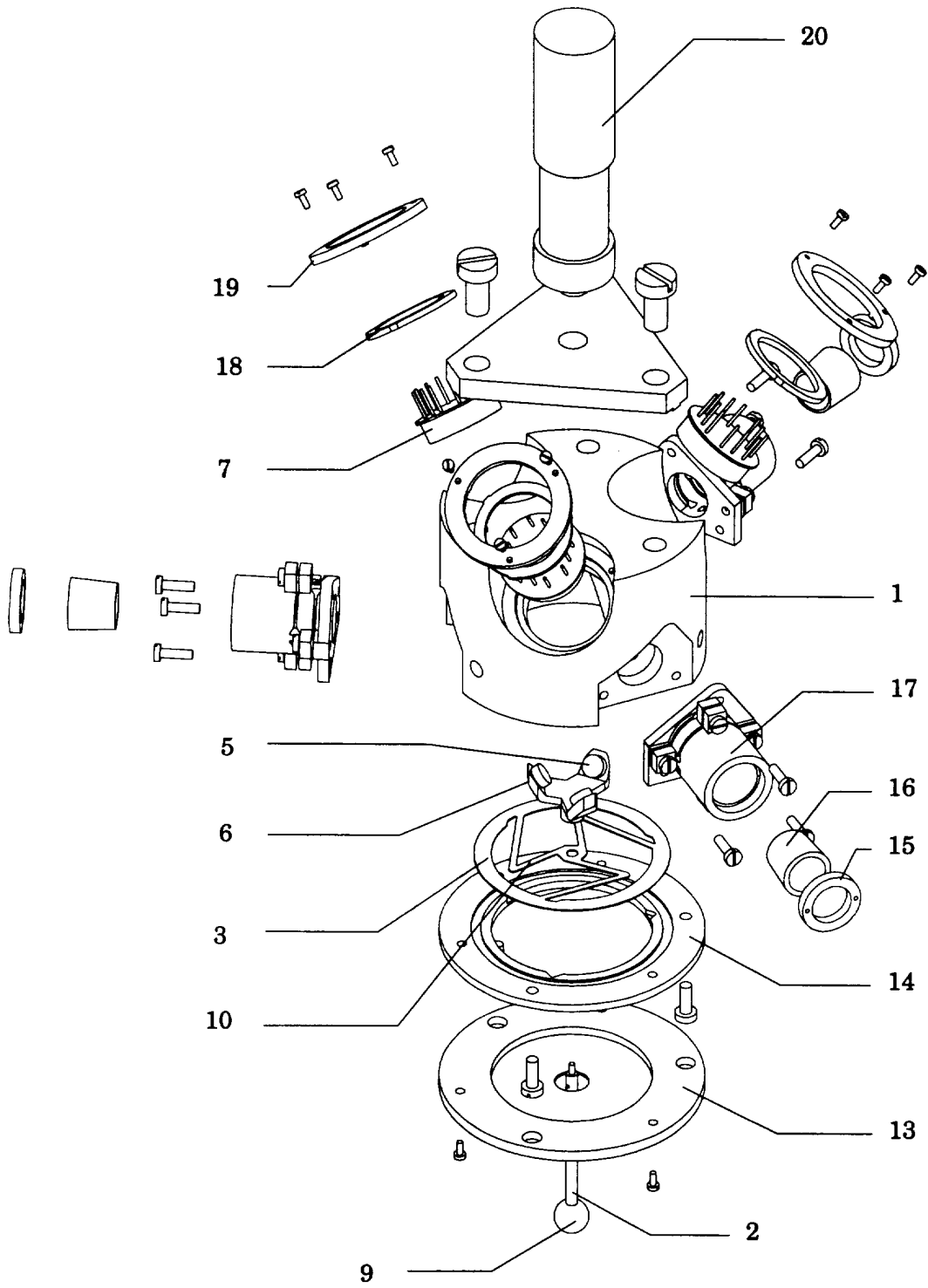


Figuur 3



Figuur 4

1003175



Figuur 5

1003175

**SAMENWERKINGSVERDRAG (PCT)
RAPPORT BETREFFENDE
NIEUWHEIDSONDERZOEK VAN INTERNATIONAAL TYPE**

IDENTIFIKATIE VAN DE NATIONALE AANVRAGE	Kenmerk van de aanvrager of van de gemachtigde 1355/WVV/PS
Nederlandse aanvrage nr. 1003175	Indieningsdatum 21 mei 1996
	Ingeroepen voorrangsdatum
Aanvrager (Naam) VAN VLIET, Wilhelmus Petrus et al.	
Datum van het verzoek voor een onderzoek van internationaal type --	Door de instantie voor Internationaal Onderzoek (ISA) aan het verzoek voor een onderzoek van internationaal type toegekend nr. SN 27648 NL
I. CLASSIFICATIE VAN HET ONDERWERP (bij toepassing van verschillende classificaties, alle classificatiesymbolen opgeven)	
Volgens de internationale classificatie (IPC) Int.Cl.6: G 01 B 11/00	
II. ONDERZOCHE GEBIEDEN VAN DE TECHNIEK	
Onderzochte minimum documentatie	
Classificatiesysteem	Classificatiesymbolen
Int.Cl.6:	G 01 B, G 01 D
Onderzochte andere documentatie dan de minimum documentatie voor zover dergelijke documenten in de onderzochte gebieden zijn opgenomen	
III. <input type="checkbox"/> GEEN ONDERZOEK MOGELIJK VOOR BEPAALDE CONCLUSIES (opmerkingen op aanvullingsblad)	
IV. <input type="checkbox"/> GEBREK AAN EENHEID VAN UITVINDING (opmerkingen op aanvullingsblad)	

VERSLAG VAN HET NIEUWHEIDSONDERZOEK VAN
INTERNATIONAAL TYPE

Nummer van het verzoek om een nieuwheidsonderzoek

NL 1003175

A. CLASSIFICATIE VAN HET ONDERWERP
IPC 6 G01B11/00

Volgens de Internationale Classificatie van octrooien (IPC) of zowel volgens de nationale classificatie als volgens de IPC.

B. ONDERZOCHE GEBIEDEN VAN DE TECHNIEK

Onderzochte minimum documentatie (classificatie gevolgd door classificatiesymbolen)
IPC 6 G01B G01D

Onderzochte andere documentatie dan de minimum documentatie, voor dergelijke documenten, voor zover dergelijke documenten in de onderzochte gebieden zijn opgenomen

Tijdens het internationaal nieuwheidsonderzoek geraadpleegde elektronische gegevensbestanden (naam van de gegevensbestanden en, waar uitvoerbaar, gebruikte trefwoorden)

C. VAN BELANG GEACHTE DOCUMENTEN

Categorie *	Geciteerde documenten, eventueel met aanduiding van speciaal van belang zijnde passages	Van belang voor conclusie nr.
A	EP,A,0 373 644 (TOYAMA PREFECTURE ;KITAMURA MACHINERY CO LTD (JP)) 20 Juni 1990 zie kolom 4, regel 37 - kolom 7, regel 42; figuren ---	1-3,5
A	EP,A,0 236 777 (ELGEMA GMBH) 16 September 1987 zie kolom 5, regel 7 - kolom 6, regel 10; figuren ---	1,3,5
A	EP,A,0 240 023 (DEUTSCHE FORSCH LUFT RAUMFAHRT) 7 Oktober 1987 in de aanvraag genoemd zie het gehele document ---	1
	-/--	

Verdere documenten worden vermeld in het vervolg van vak C.

Leden van dezelfde octrooifamilie zijn vermeld in een bijlage

* Speciale categorieën van aangehaalde documenten

"A" document dat de algemene stand van de techniek weergeeft, maar niet beschouwd wordt als zijnde van bijzonder belang

"E" eerder document, maar gepubliceerd op de datum van indiening of daarna

"L" document dat het beroep op een recht van voorrang aan twijfel onderhevig maakt of dat aangehaald wordt om de publikatiedatum van een andere aanhaling vast te stellen of om een andere reden zoals aangegeven

"O" document dat betrekking heeft op een mondelinge uiteenzetting, een gebruik, een tentoonstelling of een ander middel

"P" document gepubliceerd voor de datum van indiening maar na de ingeroepen datum van voorrang

"T" later document, gepubliceerd na de datum van indiening of datum van voorrang en niet in strijd met de aanvraag, maar aangehaald ter verduidelijking van het principe of de theorie die aan de uitvinding ten grondslag ligt

"X" document van bijzonder belang; de uitvinding waarvoor uitsluitende rechten worden aangevraagd kan niet als nieuw worden beschouwd of kan niet worden beschouwd op inventiviteit te berusten

"Y" document van bijzonder belang; de uitvinding waarvoor uitsluitende rechten worden aangevraagd kan niet worden beschouwd als inventief wanneer het document beschouwd wordt in combinatie met één of meerdere soortgelijke documenten, en deze combinatie voor een deskundige voor de hand ligt

"&" document dat deel uitmaakt van dezelfde octrooifamilie

Datum waarop het nieuwheidsonderzoek van internationaal type werd voltooid

15 Januari 1997

Verzenddatum van het rapport van het nieuwheidsonderzoek van internationaal type

Naam en adres van de instantie

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+ 31-70) 340-3016

De bevoegde ambtenaar

Ramboer, P

VERSLAG VAN HET NIEUWHEIDSONDERZOEK VAN
INTERNATIONAAL TYPE

Nummer van het verzoek om een nieuwheidsonderzoek
NL 1003175

C.(Vervolg). VAN BELANG GEACHTE DOCUMENTEN

Categorie *	Geciteerde documenten, eventueel met aanduiding van speciaal van belang zijnde passages	Van belang voor conclusie nr.
A	WO,A,88 02845 (RENISHAW PLC) 21 April 1988 zie bladzijde 5, regel 11 - regel 16; figuur 5 -----	6,7,9

VERSLAG VAN HET NIEUWHEIDSONDERZOEK VAN
INTERNATIONAAL TYPE

Informatie over leden van dezelfde octrooifamilie

Nummer van het verzoek om een nieuwheidsonderzoek

NL 1003175

In het rapport genoemd octrooigeschrift	Datum van publicatie	Overeenkomend(e) geschrift(en)	Datum van publicatie
EP-A-0373644	20-06-90	JP-A- 2161301 JP-B- 7089045 US-A- 4972597	21-06-90 27-09-95 27-11-90
EP-A-0236777	16-09-87	DE-A- 3605107 JP-A- 62254002	10-09-87 05-11-87
EP-A-0240023	07-10-87	DE-A- 3611337 JP-C- 1763620 JP-B- 4057202 JP-A- 63040803 US-A- 4785180	22-10-87 28-05-93 10-09-92 22-02-88 15-11-88
WO-A-8802845	21-04-88	GEEN	