
Octrooiraad



⑩ A **Terinzagelegging** ⑪ **8000171**

Nederland

⑲ NL

⑤4 **Gaslagers.**

⑤1 Int.Cl³: F16C32/06, G11B5/52.

⑦1 Aanvrager: Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation te Tokio.

⑦4 Gem.: Ir. F.X. Noz c.s.
Algemeen Octrooibureau
Boschdijk 155
5612 HB Eindhoven.

②1 Aanvraag Nr. 8000171.

②2 Ingediend 11 januari 1980.

③2 Voorrang vanaf 13 januari 1979, 3 juli 1979.

③3 Land van voorrang: Japan (JP).

③1 Nummers van de voorrangsaanvragen: 3202/79, 91516/79.

②3 --

⑥1 --

⑥2 --

④3 Ter inzage gelegd 15 juli 1980.

De aan dit blad gehechte stukken zijn een afdruk van de oorspronkelijk ingediende beschrijving met conclusie(s) en eventuele tekening(en).

Aanvrager: Nippon Telegraph & Telephone Public Corporation, Tokyo, Japan
Korte aanduiding: Gaslagers.

De uitvinding heeft betrekking op een gaslager van het type
5 waarin gecomprimeerd gas wordt toegevoerd door een bron van gecomprimeerd
gas aan een lagerruimte tussen een lager en een draaibare as voor het
draaibaar ondersteunen ervan, een gaslager van het type waarin gecompri-
meerd gas wordt toegevoerd door een bron van gecomprimeerd gas aan een
lagerruimte tussen een cirkelvormig, schijfvormig lager met zijloopvlakken
10 en een daardoor ondersteund onderdeel, een gaslager van het type waarin
een draaibare as is voorzien van een gedeelte met een geringere diameter
voor het ontvangen van een lager ten einde een radiaallager en een lager
met zijloopvlakken te definiëren en onder druk gebracht gas wordt toege-
voerd door een bron van onder druk gebracht gas in een radiale lagerruim-
15 te en een tussenruimte van het lager met zijloopvlakken dedefinieerd door
het lager en het gedeelte met de geringere diameter, een radiaal gaslager
van het type waarin onder druk gebracht gas wordt toegevoerd door een
bron van onder druk gebracht gas in een lagerruimte tussen een lager en
een draaibare as voor het draaibaar ondersteunen van de as, alsmede ook
20 een gaslager met zijloopvlakken van het type waarin onder druk gebracht
gas wordt toegevoerd door een bron van onder druk gebracht gas in een
lagerruimte tussen lager en een draaibare as voor draaibare ondersteuning
van de as.

In zijn algemeenheid heeft de uitvinding betrekking op gaslagers
25 en in het bijzonder op een hydrostatische en hybride gaslagers gebruik-
makend van een hydrostatisch effect en een hydrodynamisch effect en in
staat efficiënt te werken met een kleine lagerruimte van minder dan
10 micrometer.

Een dergelijk lager is onmisbaar voor het met een grote snelheid
30 werken van een massa-opslaggeheugeninrichting gebruik makend van een op-
neeminrichting met een draaibare kop. De opneeminrichting met een draai-
bare kop is voordeliger dan de magnetische band opneeminrichtingen met
een vaste kop volgens de stand van de techniek aangezien deze met een
grote opneemdichtheid kan opnemen en doordat de afmetingen van de opneem-
35 inrichting daardoor kunnen worden verkleind. De draaibare kop heeft echter
verscheidene nadelen, de gegevensoverdrachtsnelheid is laag en de sequen-
tiële toegangstijd is lang. Dit omdat de draaisnelheid van de thans be-
schikbare draaibare kop 5.600 omwentelingen per minuut is en de kopafast-

8000171

snelheid eveneens laag is, bijvoorbeeld 25,4 meter per seconde.

Wanneer men er in slaagt de draaisnelheid te doen toenemen tot rond 15.000 omwentelingen per minuut en de kopaftastsnelheid tot rond 50 meter per seconde, kunnen de hierboven beschreven problemen worden geëli-
5 mineerd. Vergroting van de snelheid boven 10.000 omwentelingen per minuut is onmogelijk met een kogellager vanwege de slechte betrouwbaarheid ervan, zodat het essentieel is gebruik te maken van een luchtlager.

De opneeminrichting met draaiende kop gebruik makend van een hydrostatisch type en/of hydrodynamisch luchtlager wordt nu gebruikt voor
10 uitzendings-VTR. Het luchtlager van het hydrostatische type echter vereist een heen en weer gaande compressor, zodat het moeilijk is een dergelijke opneeminrichting aan te passen aan computerrandapparatuur. Aangezien de as en het lager in contact met elkaar zijn voor het starten mist anderzijds het luchtlager van het hydrodynamische type betrouwbaarheid
15 wanneer dit wordt gebruikt in een opneeminrichting met een draaiende kop voor elektronische computers waarvan wordt geëist dat deze verscheidene jaren werken zonder zijn toevlucht te hoeven nemen tot welk onderhoud of welke reparaties dan ook. Overeenkomstig is het gewenst een hybride gas-
20 lager te verschaffen, dat wil zeggen een lager welke de as ondersteund door hydrostatische druk ten tijde van het starten en stoppen, maar door de hydrodynamische druk gedurende het draaien, welk kan werken met een groot rendement onder gebruikmaking van onder druk gebrachte lucht met een druk van rond $0,08 \text{ kg/cm}^2$ opgewekt door een conventionele blazer, ten einde een zeer betrouwbare, opneeminrichting met een zeer snel draai-
25 ende kop te verkrijgen, welke kan starten en stoppen in een contactloze conditie.

Voor het laten werken van een hydrostatisch gaslager van het zogenaamde inherente restrictortype was het noodzakelijk gebruik te maken van een heen en weer bewegende compressor zoals hierboven is beschreven
30 omdat het lagerrendement (een verhouding tussen toegevoerde onder druk gebrachte lucht en een druk beschikbaar voor het dragen van een as) laag is, bijvoorbeeld hoogstens rond de 50%. Aangezien bovendien de optimale lagerruimte groot is, is de lagerstijfheid (lagerrendement/lagerruimte) klein. Met andere woorden is het bij het conventionele lager onmogelijk
35 geweest de optimale lagerruimte beneden de 10 micrometer te brengen zonder merkbaar het lagerrendement te verlagen. Vanwege deze reden is het bij dit type lager onmogelijk gebleken niet alleen de lagerstijfheid voldoende te vergroten maar is het eveneens onmogelijk effectief gebruik

8000171

te maken van het hydrodynamisch effect opgewekt in een kleine lagerruimte ten tijde van het lopen met een grote snelheid, ten einde het lager effectief als hybride gaslager te laten werken.

Ten einde ten minste een gedeelte van het nadeel van het lager van het inherente restrictortype te elimineren is een lager van het oppervlakterestrictortype voorgesteld waarin de optimale lagerruimte werd gereduceerd tot minder dan 10 micrometer en een lagerdruk voor het dragen van een belasting wordt effectief opgewekt in een gebied inclusief de lageruiteinden, waardoor een lagerrendement wordt verschaft zoals in hoofdzakelijk gelijk is aan dat van het lager van het inherente restrictortype met een hogere lagerstijfheid. Bij het lager van het oppervlakterestrictortype is het echter vereist dat deze is uitgerust met vele longitudinale axiale sleuven welke moeilijk zijn aan te brengen. Aangezien bovendien dergelijke longitudinale sleuven discontinuïteiten in het lageroppervlak in de relatieve slipwerking veroorzaken, maakt dit effectief gebruik van het hydrodynamische effect opgewekt door de draaiing van de as onmogelijk, zodat dit type lager niet kan werken als een hybride gaslager.

Overeenkomstig is het een doel van de uitvinding een verbeterd hydrostatisch gaslager te verschaffen met een groot lagerrendement en een grote lagerstijfheid, welk eenvoudig is te vervaardigen.

Een ander doel van de uitvinding is verschaffing van een hybride gaslager met een groot rendement, welk ten tijde van het starten en het stoppen van een as de as op een contactloze wijze kan dragen onder gebruikmaking van onder lage druk gebrachte lucht opgewekt door een kleine draaiende compressor en welk een lange tijd kan werken zonder oliën en welke de as kan dragen door het hydrodynamisch effect opgewekt door de draaiing van de as gedurende het draaien met een grote snelheid.

De uitvinding beoogt de hierboven genoemde nadelen op te heffen en ten minste één van de hierboven gestelde doelen te bereiken en voorziet daartoe in een gaslager van het type waarin gecomprimeerd gas wordt toegevoerd door een bron van gecomprimeerd gas aan een lagerruimte tussen een lager en een draaibare as voor het draaibaar ondersteunen ervan, welk is gekenmerkt doordat het lager is voorzien van een aantal ringvorm omtreksgroeven welke zich uitstrekken rond het hele binnenoppervlak van het lager en welke axiaal op afstand van elkaar liggen en openen in de ruimte, alsmede een aantal onder een hoek met elkaar staande gastoevoerpoorten met

8000171

een kleine diameter en in communicatie met respectieve ringvormige groeven en een gasdoorgang voor het verbinden van het aantal gastoevoerpoorten met de bron van gecomprimeerd gas.

Verder voorziet de uitvinding met het oog op het direct hier-
5 bovenstaande doel in een gaslager van het type waarin gecomprimeerd gas wordt toegevoerd door een bron van gecomprimeerd gas aan een lagerruimte tussen een cirkelvormig, schijfvormig lager met zijloopvlakken en een daar-
door ondersteund onderdeel, welk is gekenmerkt doordat het lager is voor-
zien van een centrale opening, een aantal concentrische ringvormige groe-
10 ven gevormd in één oppervlak van het lager om te openen in de lagerruimte, waarbij de binnenste van de ringvormige groeven is aangebracht nabij de buitenomtrek van het lager, een aantal gastoevoerpoorten met een kleine diameter in communicatie met de respectieve ringvormige groeven en op afstand van elkaar geplaatst in de omtreksrichting van gasdoorgangen voor
15 het laten communiceren van het aantal gastoevoerpoorten met de bron van gecomprimeerd gas.

Eveneens voorziet de uitvinding hiertoe in een gaslager van het type waarin een draaibare as is voorzien van een gedeelte met een geringere diameter voor het ontvangen van een lager ten einde een radiaallager
20 en een lager met zijloopvlakken te definiëren en onder druk gebracht gas wordt toegevoerd door een bron van onder druk gebracht gas in een radiale lagerruimte en een tussenruimte van het lager met zijloopvlakken gedefinieerd door het lager en het gedeelte met de geringere diameter, welk is gekenmerkt doordat het radiale lager omvat:

25 een radiaal lageroppervlak,
een aantal ringvormige omtreksgroeven welke zich uitstrekken rond het gehele binnenoppervlak van het radiale lageroppervlak nabij tegenover elkaar liggende uiteinden ervan en axiaal op afstand van elkaar geplaatst, waarbij de ringvormige omtreksgroef opent in de tussenruimte
30 van het radiale lager,

een aantal onder hoeken met elkaar geplaatste gastoevoerpoorten met een kleine diameter in communicatie met respectieve ringvormige omtreksgroeven en

een gasdoorgang voor het verbinden van een aantal gastoevoer-
35 poorten met de bron;

en dat het lager met zijloopvlakken omvat:

oppervlakken van het lager met zijloopvlakken,

8000171

een aantal concentrische ringvormige groeven gevormd in elk oppervlak van het lager met zijloopvlakken om te openen in de tussenruimte van het lager met zijloopvlakken, waarbij de binnenste van de concentrische groeven is aangebracht nabij het oppervlak van het radiaal lager en
5 de buitenste van de groeven is aangebracht nabij de buitenomtrek van de draaibare as en

een aantal gastoevoerpoorten met een kleine diameter welke communiceren met de respectieve concentrische ringvormige groeven om zodoende te worden verbonden met de gasdoorgang,

10 en dat de overgangen tussen het oppervlak van het radiale lager en de oppervlakken van het lager met zijloopvlakken communiceren met de omgevende atmosfeer via afvoerdoorgangen welke zich uitstrekken door de as.

Voor het opheffen van de hierboven genoemde nadelen voorziet de uitvinding ook in een radiaal gaslager van het type waarin onder druk ge-
15 bracht gas wordt toegevoerd door een bron van onder druk gebracht gas in een lagerruimte tussen een lager en een draaibare as voor het draaibaar ondersteunen van de as, welk is gekenmerkt doordat, het lager is voorzien van een aantal onder hoeken met elkaar geplaatste kleine radiale gastoevoerpoorten openend in de ruimte, welke gastoevoerpoorten dicht bij
20 de tegenover elkaar liggende uiteinden van het lageroppervlak van het lager zijn aangebracht en een gastoevoerdoodgang welke de gastoevoerpoorten verbindt met de bron en dat de draaibare as is voorzien van een aantal ringvormige omtrekselgroeven welke liggen tegenover overeenkomstige gastoevoerpoorten en openend in de lagerruimte.

25 Eveneens voorziet de uitvinding voor het opheffen van hierboven genoemde nadelen in een gaslager met zijloopvlakken van het type waarin onder druk gebracht gas wordt toegevoerd door een bron van onder druk gebracht gas in een lagerruimte tussen lager en een draaibare as voor draaibare ondersteuning van de as, welk is gekenmerkt doordat
30 de draaibare as integrale zijloopplaten omvat welke liggen tegenover tegenoverelkaar liggende uiteinden van het lager, welke zijloopplaten zijn voorzien van een aantal concentrische ringvormige groeven openend in de lagerruimte, waarbij de binnenste van de groeven nabij het binnenomtreksoppervlak van de lager is aangebracht en de buitenste van de groeven is aangebracht nabij de buitenomtrek van de zijloopplaat en dat het
35 lager is voorzien van een aantal concentrische, kleine axiale gastoevoerpoorten openend in de lagerruimte, welke gastoevoerpoorten liggen tegenover de concentrische ringvormige groeven van de draaibare as en onder

8000171

hoeken met elkaar staan en een gastoevoerdoorgang voor het verbinden van de gastoevoerpoorten met de bron.

De uitvinding zal nu gedetailleerd worden beschreven aan de hand van de tekening waarin:

- 5 fig. 1 een perspectievische tekening, welke gedeeltelijk weggebroken is, voorstelt, welke één voorbeeld toont van een hydrostatisch gaslager van het inherente restrictortype volgens de stand van de techniek;
- fig. 2 een gedeeltelijk weggebroken perspectievische tekening is welke een voorbeeld toont van een hydrostatisch gaslager van het oppervlak
- 10 restrictortype volgens de stand van de techniek;
- fig. 3 een grafiek is welke het verband toont tussen het lagerrendement en de lagerruimte van het hydrostatische gaslager van het inherent restrictortype van fig. 1;
- fig. 4 een langsdoorsnede is welke een uitvoeringsvorm van de
- 15 uitvinding toont;
- fig. 5 een dwarsdoorsnede is van de uitvoeringsvorm getoond in fig. 4;
- fig. 6 een grafiek is welke het verband toont tussen het lagerrendement en de lagerruimte in de uitvoeringsvorm vertoond in fig. 4, waar-
- 20 bij de diepte van de ringvormige groeven als een parameter is genomen;
- fig. 7 een grafiek is welke het verband toont tussen het lagerrendement en de lagerruimte in de uitvoeringsvorm getoond in fig. 4 waarbij de uitgangslengte met betrekking tot de lagerlengte als parameter is genomen;
- 25 fig. 8 een grafiek is welke de omtreksdrukverdeling toont aan het lageroppervlak waarbij de diepte van de ringvormige groeven als parameter is genomen;
- fig. 9 een langsdoorsnede tekening is welke een gemodificeerde uitvoeringsvorm van de uitvinding toont;
- 30 fig. 10a een dwarsdoorsnede tekening is welke een andere uitvoeringsvorm van de uitvinding toont;
- fig. 10b een bovenaanzicht is van de uitvoeringsvorm getoond in fig. 10a;
- fig. 11 een voorbeeld toont van de drukverdelingskarakteristiek
- 35 in de axiale richting binnen het lager;
- fig. 12 een langsdoorsnede tekening is welke nog een andere uitvoeringsvorm van de uitvinding toont;
- fig. 13 een dwarsdoorsnede tekening is genomen langs de lucht-

8000171

toevoerpoorten van het radiaallager van de uitvoeringsvorm getoond in fig. 12;

fig. 14 een dwarsdoorsnede tekening is welke het oppervlak van het lager met zijloopvlakken van de uitvoeringsvorm, getoond in fig. 12, laat zien;

fig. 15 een langsdoorsnede tekening is welke een gedeelte toont van een andere uitvoeringsvorm van de uitvinding;

fig. 16 een langsdoorsnede tekening is welke nog een andere uitvoeringsvorm van de uitvinding toont.

Alvorens de uitvinding gedetailleerder te beschrijven zal voor een beter begrip van de uitvinding één voorbeeld van het lager van het inherente restrictortype volgens de stand van de techniek en één voorbeeld van het lager van het oppervlakte restrictortype worden beschreven.

Bij een hydrostatisch gasasblok 2 van het inherente restrictortype volgens de stand van de techniek is er voorzien in een aantal luchttoevoerpoorten 3 welke openen aan het lageroppervlak en op afstand zijn geplaatst in omtreks- en axiale richting, een gemeenschappelijk luchttoevoerkanaal 5 communicerend met de luchttoevoerpoorten 3 en voorzien van onder druk gebrachte lucht door een niet getoonde compressor. Het lager wordt gebruikt voor het ondersteunen van een as 1. Ofschoon niet getoond kunnen de openingen van de luchttoevoerpoorten 3 liggend tegenover de as gedeeltelijk wijd uitlopen voor het vormen van ondiepe putten waardoor dus het lager van het openingsrestrictortype wordt gevormd.

Ofschoon het lager van het inherente restrictortype of het openingsrestrictortype eenvoudig kan worden vervaardigd is het lagerrendement hoogstens 50%. Aangezien de optimale lagerruimte groot is, is de lagerstijfheid gering.

Fig. 3 toont het verband tussen het lagerrendement en de lagerruimte van de hierboven beschreven lagers. In het algemeen gesproken is de optimale lagerruimte waarbij het rendement maximaal wordt vergroot, bijvoorbeeld 20 tot 30 micrometer of meer en met een kleine lagerruimte van minder dan 10 micrometer nemen de belastingdragende capaciteiten van het lager aanzienlijk af. De optimale lagerruimte kan worden verkleind door het verkleinen van de diameter van de luchttoevoerpoorten en het aantal ervan, ten einde het weerstandseffekt (stromingsweerstand voor gas) van de luchttoevoerpoort te vergroten. Met de huidige vervaardigingstechniek echter is de diameter van de luchttoevoerpoorten 0,08 tot 0,1 mm., zodat het onmogelijk is de optimale lagerruimte te verkleinen tot

8000171

minder dan 10 micrometer zonder het opofferen van het lagerrendement omdat het lagerrendement afneemt wanneer het aantal luchttoevoerpoorten beneden zes komt. Vanwege deze reden is het bij het lager van dit type onmogelijk gebleken niet alleen de lagerstijfheid voldoende te vergroten
5 maar eveneens volledig gebruik te maken van het hydrodynamische effect opgewekt in een kleine lagerruimte ten tijde van het draaien met grote snelheid voor het ondersteunen van de draaibare as.

Ten einde gedeeltelijk de nadelen van lagers van het inherente restrictortype en het openingsrestrictortype te elimineren is een oppervlakte restrictortype lager zoals getoond in fig. 2 ontwikkeld, waarin
10 de optimale lagerruimte is gereduceerd tot minder dan 10 micrometer en de lagerdruk met betrekking tot het dragen van de belasting is opgewekt aan de uiteinden van het lager, waardoor dus in hoofdzaak dezelfde lagerefficiëntie wordt verzekerd als bij lagers van de hierboven genoemde typen
15 en een grotere lagerstijfheid. Zoals getoond in fig. 2 is het lager van het oppervlakterestrictortype voorzien van een aantal zich longitudinaal uitstreckende en langs de omtrek op afstand van elkaar liggende groeven 4 aangebracht voor een as 1 met uitzondering van gedeelten ervan welke liggen tegenover de tegenover elkaar liggende uiteinden van een lager 2'. Het
20 lager van het oppervlakterestrictortype dient dus te zijn voorzien van een aantal longitudinale groeven hetgeen een moeilijkere bewerking vereist. Bovendien wordt het hydrodynamische effect opgewekt door de draaiing van as 1' niet efficiënt benut. In het bijzonder is de lagerruimte niet continu in de omtreksrichting maar verdeeld door het aantal longitudinale
25 groeven 4 en daarnaast neigt de gecomprimeerde lucht in het lager naar buiten te ontsnappen door deze groeven zodat het hydrodynamische effect in hoofdzaak lager is dan dat van een lager niet voorzien van longitudinale groeven.

De uitvinding zal nu gedetailleerd worden beschreven onder verwijzing naar enkele uitvoeringsvormen getoond in de hierbij behorende tekening.

Een uitvoeringsvorm getoond in de figuren 4 en 5 omvat een as 11, een lager 12, zich langs de omtrek uitstreckende, rond het lager lopende, nauwe ringvormige groeven 13, welke zijn aangebracht op posities op afstand liggend van de tegenover elkaar liggende uiteinden van het lager
35 over een afstand L_1 welke rond 5 tot en met 15% is van de lengte L van het lager, waarbij de groef een diepte g heeft welke ongeveer 1,5 tot en met 6 keer de lagerruimte is, radiale luchttoevoerpoorten 14 met een klei-

8000171

ne diameter en openend in de ringvormige groeven en communicerend met een bron van gecomprimeerde lucht 16 via een luchtkamer 15. Het aantal luchttoevoerpoorten 14 wordt kleiner gekozen dan die in vaste lagers volgens de stand van de techniek voorkomt. De gecomprimeerde lucht toegevoerd door 5 de bron 16 wordt in de nauwe groeven 13 via luchtkamer 15 en luchttoevoerpoorten 14 geleid. De gecomprimeerde lucht aldus toegevoerd vloeit door de groeven 13 in de omtreksrichting en wordt daarna naar buiten door de lagerruimte gevoerd.

Het verdient de voorkeur de diameter van de luchttoevoerpoorten zo nauw mogelijk te maken, bijvoorbeeld minder dan 0,1 mm. 10 en het aantal rond 3 of 4 te kiezen. Zoals vertoont in fig. 5 zijn drie luchttoevoerpoorten 14 onder een hoek met elkaar geplaatst op in hoofdzaak gelijke omtreksafstand.

Het optimale werkpunt van het hydrostatische luchtlager wordt 15 verkregen wanneer de stroomweerstand R_1 van een doorgang van de luchtkamer 15 naar het lageroppervlak via toevoerpoort 14 en nauwe groef 13 gelijk wordt aan de stroomweerstand R_2 van de doorgang in de lagerruimte tussen de zijwanden van de groeven en de uiteinden van het lager. De stroomweerstand R_1 is omgekeerd evenredig met het kwadraat van diameter d 20 van de luchttoevoerpoorten en het aantal daarvan, terwijl de stroomweerstand R_2 omgekeerd evenredig is met de derde macht van de lagerruimte Cr (in fig. 5 is dit overdreven getoond ten einde de excentrische conditie van de as te tonen) en evenredig met de uitstroo lengte L_1 . Uitstroo lengte L_1 , diameter van de luchttoevoerpoorten en het aantal daarvan wor- 25 den zo klein mogelijk gemaakt om te voldoen aan de vergelijking $R_1 \doteq R_2$ in de smallere lagerruimte Cr . Zoals hierboven beschreven wordt de uitstroo lengte L_1 klein gemaakt voor het beperken van de uitstroo weerstand en het aantal luchttoevoerpoorten wordt verminderd ten einde de weerstand voor de luchtstroom te vergroten waarbij de in- 30 stroom weerstand en de uitstroo weerstand gelijk worden gemaakt voor het realiseren van de optimale werkconditie.

De figuren 6 en 7 zijn grafieken welke het verband tonen tussen het lagerrendement en de lagerruimte Cr voor de diameter van de luchttoevoerpoorten van 0,1 mm., het aantal luchttoevoerpoorten gelijk aan 3, en 35 een verhouding van lagerlengte tot lagerdiameter (L/D) van 1. In het bijzonder toont fig. 6 het verband tussen de lagerruimte en het lagerrendement wanneer L_1/L is 0,05 en de druk van de toegevoerde lucht gelijk is aan 1 kg/cm^2 met de groefdiepte g genomen als parameter. De optimale diep-

8000171

te van de ringvormige groef 13 is rond 4 keer de lagerruimte Cr , terwijl de optimale lagerruimte rond 7 micrometer is, waarbij een lagerrendement van rond 0,7 kan worden verkregen. Zelfs wanneer de diepte van de ringvormige groef en de lagerruimte lichtelijk afwijkt van de optimale waarde
 5 ervan, neemt het lagerrendement niet met een aanzienlijke hoeveelheid af. Wanneer de lagerlengte/diameter verhouding L/D afneemt van $2/3$ tot $1/2$, neemt het maximale lagerrendement toe van 0,8 naar 0,85. Afhankelijk van de druk van de toegevoerde lucht varieert de optimale lagerruimte lichtelijk. Voor een luchtdruk van 5 tot $0,1 \text{ kg/cm}^2$ varieert de optimale lagerruimte van rond 5 tot en met 9 micron.
 10

Fig. 7 is een grafiek welke het verband toont tussen de lagerruimte Cr en het lagerrendement wanneer de luchtdruk $0,1 \text{ kg/cm}^2$ is, de diameter van de luchttoevoerpoort $0,1 \text{ mm}$ is en de verhouding L_1/L wordt genomen als parameter. Opgemerkt wordt dat variatie van de verhouding L_1/L variatie van de optimale diepte van de ringvormige groeven welke
 15 het lagerrendement maximaliseren, veroorzaakt. Fig. 7 toont dat L_1/L kleiner dan 0,1 gemaakt dient te worden ten einde de lagerruimte kleiner dan 10 micron te krijgen. De waarde van L_1/L echter welke voldoet aan deze voorwaarde wordt groter wanneer de luchtdruk wordt vergroot en de
 20 diameter van de luchttoevoerpoort wordt verkleind. De aanwezigheid van de optimale ringvormige groefdiepte waarop het lagerrendement kan worden gemaximaliseerd zal beter worden begrepen aan een bespreking van de afhankelijkheid van de omtreksdrukverdeling op de ringvormige groefdiepte.

Fig. 8 toont de afhankelijkheid van de omtreksdrukverdeling
 25 opgewekt door de excentriciteit van de as op de diepte g van de ringvormige omtreksgröef, waarbij de breedte van de ringvormige groef 1 mm is en het aantal luchttoevoerpoorten gelijk is aan 3. Zoals kan worden opgemerkt neemt wanneer de diepte van de groef te groot is het kortsluit-effect tussen drukken in het brede lagerruimte gebied en in het smalle
 30 lagerruimte gebied toe, met andere woorden neemt het drukverschil tussen gebieden $-90^\circ < \psi < 90^\circ$ en $90^\circ < \psi < 270^\circ$ af, zodat de capaciteit van het lager afneemt. Er is dus een optimale waarde voor de diepte g van de ringvormige groef welke het lagerrendement maximaliseert.

Wanneer de lagerruimte wordt aangeduid door Cr , de lagerdiameter door D , het aantal luchttoevoerpoorten door n , de breedte van de
 35 ringvormige groef door b en de afstand tussen één zijde van de groef en het corresponderende lagereind door L_1 , wordt de optimale diepte g van de ringvorm bij benadering gegeven door de volgende vergelijking:

$$8000171$$

$$g = Cr \left[\left\{ \left(\frac{D}{2n} \right)^2 / bL_1 \right\}^{1/3} - 1 \right]$$

Zijn bijvoorbeeld $D=28$ mm, $n=3$, $b=1$ mm en $L_1=3$ mm, dan is g/Cr ongeveer gelijk aan 3. In het algemeen ligt de waarde van de verhouding g/Cr in het bereik van 1,5 tot en met 6. Wanneer de luchttoevoerpoorten en de ringvormige groeven dichterbij de lageruiteinden zijn aangebracht neemt het lagerrendement toe en neemt eveneens de optimale ruimte af. Wanneer echter de lengte L_1 van de uitstroomdoorgang te kort is zouden configuratiefouten resulteren in variatie in de lagerkarakteristiek zodat de lengte L_1 ten minste 1 mm dient te zijn. De luchttoevoerpoorten dienen te zijn aangebracht op plaatsen welke op afstand van de lageruiteinden liggen over rond 5 tot en met 15% van de lagerlengte.

Zoals duidelijk kan worden opgemerkt aan de hand van de hiervoor gegeven beschrijving verschaft de uitvinding een gas- of luchtlager met een eenvoudige constructie welke een groot lagerrendement kan verschaffen voor een hydrostatische gaslager met een smalle ruimte van slechts verscheidene micrometers. Bij gevolg is het mogelijk een goedkoop hydrostatisch gaslager te verschaffen welk een grote belastingsdragende capaciteit heeft alsmede een grote lagerstijfheid. Bovendien is het overgrote deel van het lageroppervlak zo glad om effectief en efficiënt een hydrodynamische druk op te wekken wanneer de as draait. Volgens de hierboven beschreven uitvoeringsvorm wordt dus een hybride gaslager verkregen welke werkt als een hydrostatisch lager ten tijde van het starten en stoppen waarbij de as wordt gedragen in een contactloze conditie, tot deze werkt als een hydrodynamische lager ten tijde van het draaien met grote snelheid. In het geval bijvoorbeeld waarin een asdiameter 30 mm is, een effectieve lagerlengte 50 mm en een druk van de toegevoerde lucht van $0,07 \text{ kg/cm}^2$ is het mogelijk een draaibare asbelasting van 700 g te dragen dankzij een optimaal ontwerp van het lager. Vanwege deze reden verschaft de uitvinding wanneer deze wordt toegepast op een opneeminrichting met een draaibare kop met het gewicht van minder dan 500 g een compact en betrouwbaar gaslager in staat onder een contactloze conditie te starten en te stoppen en welk werkt als een hydrodynamisch lager onder een conditie waarin de as met grote snelheid draait, van 10.000 tot 30.000 omwentelingen per minuut onder gebruikmaking van lucht onder lage druk gebracht en toegevoerd door een draaiende compressor, zonder de noodzaak te oliën voor een lange tijd.

Wanneer vergeleken met een goed ontworpen hydrostatisch gas-

8000171

lager van het inherente restrictor-of openings restrictortype volgens de stand van de techniek, kan het lager volgens de uitvinding de belasting dragende capaciteit van het lager met 30 tot 40% verbeteren en de lagerstijfheid met meer dan 5 keer. Aangezien het aantal luchttoevoerpoorten klein is en de lagerruimte gering is het mogelijk bovendien de noodzakelijke hoeveelheid onder druk gebracht gas te verminderen met 1/10 met betrekking tot de stand van de techniek. Eveneens maakt de uitvinding het mogelijk een hybride gaslager met een groot rendement te realiseren welke nooit zal kunnen worden gerealiseerd met een hydrostatisch gaslager van het inherent restrictortype volgens de stand van de techniek. Aangezien de ringvormige groeven eenvoudig kunnen worden aangebracht, zijn de vervaardigingskosten van het lager volgens de uitvinding vergelijkbaar met die van de eenvoudigste inherente restrictorlagen.

Terwijl de hoeveelheid onder druk gebracht gas in hoofdzaak gelijk is aan die van een oppervlakte restrictor hydrostatisch gaslager, zijn de belastingdragende capaciteiten en de stijfheid van het lager volgens de uitvinding meer dan 1,5 keer verbeterd en de vervaardigingskosten zijn gereduceerd tot minder dan een fractie.

Fig. 9 toont een modificatie van de uitvinding welke in zoverre verschilt van die getoond in de figuren 4 en 5 dat een as 11' is voorzien van een aantal op zich bekende nauwe groeven gerangschikt in een haringgraatpatroon. Een lager voorzien van dergelijke schuin op elkaar staande groeven voor het aanzuigen van lucht van buiten in de lagerruimte voor het creëren van een hydrodynamische druk voor het dragen van de as is wel bekend. Met deze constructie echter, aangezien de as contact maakt met het lageroppervlak ten tijde van het starten en stoppen, is het noodzakelijk het lageroppervlak te verharderen onder gebruikmaking van keramiek. Dit verhoogt niet alleen de vervaardigingskosten, maar reduceert eveneens de betrouwbaarheid. Wanneer echter het lageroppervlak is geconstrueerd zoals getoond in overeenstemming met de uitvinding wordt het mogelijk te starten en stoppen onder contactloze conditie door het intermitterend gebruikmaken van gecomprimeerde lucht toegevoerd door een dergelijke kleine en betrouwbare bron als een turbocompressor.

De figuren 10a en 10b vertonen de toepassing van de uitvinding op een lager met zijloopvlakken 22 ingericht voor het dragen van een orgaan 21. Het cirkelvormige schijfvachtige lager 22 is voorzien van een centrale opening 29 en twee concentrische ringvormige groeven 23 en 24, waarbij de ene 23 is aangebracht nabij de centrale opening 29, terwijl de

8000171

andere 24 is aangebracht nabij de buitenomtrek. Elke groef is voorzien van een aantal (in de figuren 10a en 10b drie) op de omtrek op afstand van elkaar geplaatste luchttoevoerpoorten 25 communicerend met een respectieve gemeenschappelijke ringvormige luchtkamer 26 welke op zijn beurt is verbonden met een bron van onder druk gebracht gas 27. Het onder druk gebrachte gas wordt afgevoerd naar buiten uit het lager door een lagerruimte 28 en de centrale opening 29. De ringvormige groeven 23 en 24 kunnen op dezelfde wijze worden ontworpen als bij de hieraan voorafgaand beschreven uitvoeringsvorm met uitzondering dat de waarde van de diameters van de binnen- en buiten-ringvormige groeven 23 en 24 worden gebruikt als D in de hiervoor gegeven vergelijking.

Bij de uitvoeringsvorm getoond in de figuren 4 en 5, waar de lagerlengte L klein is en de afstand tussen de ringvormige groeven 13 aan tegenover elkaar liggende uiteinden van het lager kleiner is dan de omtreksafstand van de luchttoevoerpoorten 14 (een booglengte welke een centrumhoek van 120° overspant), is de drukvariatie in de richting van de lagerlengte klein, zodat de axiale drukverdeling varieert met toeneming of afnemning van de lagerruimte zoals getoond door de trapezivormige curves A en A' in fig. 11. Wanneer de lagerlengte groter is dan de lagerdiameter of wanneer het aantal luchttoevoerpoorten groot is, neemt de stroomweerstand in axiale richting van het lager toe tot een waarde die niet kan worden verwaarloosd met betrekking tot de omtreksstroomweerstand, zodat de druk in het hoge druk gebied afneemt zoals getoond door curve B en de druk in het lage druk gebied toeneemt zoals getoond door de curve B'. Dit is een gevolg van het feit dat fluïdum in het hoge druk gebied langs de omtrek wordt gericht en binnendringt in het lage druk gebied. Een dergelijke drukverdeling is niet voordelig door de werking van het lager.

Fig. 12 toont een andere uitvoeringsvorm van de uitvinding ontworpen voor de eliminering van dit probleem. Fig. 12 toont een combinatie van een asblok met een relatief lange lagerlengte en een lager met zijloopvlakken zoals getoond in de figuren 10a en 10b.

Zoals getoond in de figuren 12, 13 en 14 is een hoofdlichaam 32 van het lager gevat in een ringvormige groef gedefinieerd door een gedeelte 31a met een verkleinde diameter van as 31 en verticale zijwanden 31b op de tegenover elkaar liggende zijden ervan. De overgangen tussen het radiale lageroppervlak 32a van het lager hoofdlichaam 32 en de twee oppervlakken 32b van het lager met zijloopvlakken zijn afgeschuind

8000171

en de afgeschuinde gedeelten grenzen aan de omtrekskanalen 34 welke communiceren met de omgeving via afvoerdoorgang 33 aangebracht voor de draaibare as 31. Het voorzien in het kanaal 34 en de uitlaatdoorgang 33 voorkomt interferentie tussen het radiale lager en het lager met zijloopvlakken.

In het middelpunt van het radiale lageroppervlak 32a is een ringvormige afvoergroef 35 gevormd welke het oppervlak 32a in tweeën deelt. De ringvormige afvoergroef 35 communiceert met buiten via een radiale afvoerdoorgang 36 in de draaibare as 31. Ringvormige groeven 37 zijn gevormd nabij het kanaal 34 en de deelgroef 35. Elke ringvormige groef 37 is voorzien van drie kleine luchttoevoerpoorten 39 welke op gelijke afstand zijn geplaatst in de omtreksrichting en communiceren met een gasdoorgang 38 in het hoofdlichaam van het lager 32. Elk oppervlak 32b van het lager met zijloopvlakken is voorzien van ringvormige groeven 310 waar- bij de binnen- en buitenranden ervan elke ringvormige groef 310 communiceert met de luchtdoorgang 38 via drie op gelijke afstand geplaatste luchttoevoerpoorten 311. Er is voorzien in een nippel 312 ten einde de luchtdoorgang 38 te verbinden met de bron van onder druk gebracht gas en een reserve afvoeropening 313 is aangebracht voor een constructie waar- bij de opening 33 is gesloten.

Het onder druk gebrachte gas toegevoerd aan de nippel 312 wordt overgedragen naar de spleten tussen het radiale lageroppervlak 32a en het gedeelte van de draaibare as 31 met de verkleinde diameter en tussen de oppervlakken 32b van het lager met zij-oppervlakken en zijwanden 31b van de draaibare as 31 via de luchtdoorgang 38 en luchttoevoerpoorten 39 en 311 voor het opwekken van lage drukken voor het dragen van de as.

Deze uitvoeringsvorm wordt gekenmerkt doordat het radiale lageroppervlak 32a is verdeeld in twee gedeelten door de centrale ringvormige afvoergroef 35 waarbij de verhouding van de lagerdiameter tot de lagerlengte in hoofdzaak kleiner dan 1 is gemaakt, bijvoorbeeld rond 0,5. Volgens deze uitvoeringsvorm wordt dus de effectieve lagerlengte verkleind door de centrale ringvormige groef, waardoor dus de drukverdeling zoals getoond bij de curven A en A' in fig. 11 worden gehandhaafd ten einde het lagerrendement te verbeteren. In hoofdzaak is het geschikt de axiale ruimte van de luchttoevoerpoorten te kiezen als zijnde rond $\frac{2}{3}$ tot en met $\frac{1}{2}$ van de lagerlengte. Een afstand van minder dan $\frac{1}{2}$ van de lagerlengte kan het lagerrendement niet verbeteren.

Wanneer het gewenst is de radiale belastingsdraagcapaciteit te

8000171

vergroten door het vergroten van de lengte van het radiale lager, kan het lageroppervlak worden verdeeld in drie of vier gedeelten door het aanbrengen van 2 of 3 afvoergroeven in welk geval twee ringvormige groeven en daarmee geassocieerde toevoerpoorten voor het toevoeren van lucht
5 daaraan kunnen worden aangebracht voor elk gedeelte.

Ofschoon bij de uitvoeringsvorm getoond in fig. 12 het radiale lageroppervlak is opgedeeld door ringvormige afvoergroef 35 ten einde de drukverdeling voor een relatieve brede lagerlengte uniform te maken, wordt in een modificatie getoond in fig. 15 hetzelfde doel verwezenlijkt door
10 het onderling verbinden van ringvormige groeven 37 met een aantal axiale groeven 314 welke elk ondieper zijn dan groeven 37.

Ofschoon in de voorgaande uitvoeringsvormen ringvormige groeven zijn aangebracht voor de lagerzijde dient te worden begrepen dat de uitvinding niet is beperkt tot deze constructies. Gelijksortige voordelen
15 kunnen worden bereikt door het verschaffen van ringvormige groeven aan de as zoals getoond in fig. 16 . In het bijzonder is een draaibare as 41 voorzien van ringvormige omtreksgraven 43a rond de omtrek ervan, terwijl een lager 42 is voorzien van luchttoevoerpoorten 44a welke liggen tegenover de ringvormige groeven 43a. Een plaatvormlager met zijloopvlakken
20 48 is integraal met de as aangebracht in de concentrische ringvormige groeven 43b zoals getoond in fig. 10b en luchttoevoerpoorten 44b van het lager liggend tegenover de ringvormige groeven 43b. De luchttoevoerpoorten 44a en 44b communiceren met een luchtkamer 45. Afvoerdoorgangen 47a openen in de radiale lageroppervlak en afvoerdoorgangen 47b zijn aange-
25 bracht voor het voorkomen van interferentie tussen de radiale lagers en lagers met zijloopvlakken. Verwijzingscijfer 46 geeft afvoergroeven aan voor het verdelen van het radiale lageroppervlak.

30

35

8000171

-CONCLUSIES-

CONCLUSIES:

1. Gaslager van het type waarin gecomprimeerd gas wordt toegevoerd door een bron van gecomprimeerd gas aan een lagerruimte tussen een
5 lager en een draaibare as voor het draaibaar ondersteunen ervan, met het kenmerk, dat het lager is voorzien van een aantal ringvormige omtreks-groeven welke zich uitstrekken rond het hele binnenoppervlak van het lager en welke axiaal op afstand van elkaar liggen en openen in de ruimte, alsmede een aantal onder een hoek met elkaar staande gastoevoerpoorten met een
10 kleine diameter en in communicatie met respectieve ringvormige groeven en een gasdoorgang voor het verbinden van het aantal gastoevoerpoorten met de bron van gecomprimeerd gas.

2. Gaslager volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat elke ringvormige groef op afstand ligt van één uiteinde van het lager over een af-
15 stand gelijk aan 5 tot en met 15% van de lengte van het lager.

3. Gaslager volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de diepte van de ringvormige groef rond 1,5 tot en met 6 keer de lagerruimte is.

4. Gaslager volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat de gastoevoerpoorten in hoofdzaak op gelijke afstand van elkaar liggen in de
20 omtreksrichting.

5. Gaslager volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat een aantal schuin op elkaar staande groeven, welke zijn geordend in een haringgraat, zijn gevormd op het oppervlak van de draaibare as.

6. Gaslager van het type waarin gecomprimeerd gas wordt toegevoerd door een bron van gecomprimeerd gas aan een lagerruimte tussen een
25 cirkelvormig, schijfvormige lager met zijloopvlakken en een daardoor ondersteund onderdeel, met het kenmerk, dat het lager is voorzien van een centrale opening, een aantal concentrische ringvormige groeven gevormd in één oppervlak van het lager om te openen in de lagerruimte, waarbij de
30 binnenste van de ringvormige groeven is aangebracht nabij de centrale opening, terwijl de buitenste van de groeven is aangebracht nabij de buitenomtrek van het lager, een aantal gastoevoerpoorten met een kleine diameter in communicatie met de respectieve ringvormige groeven en op afstand van elkaar geplaatst in de omtreksrichting van gasdoorgangen voor het
35 laten communiceren van het aantal gastoevoerpoorten met de bron van gecomprimeerd gas.

7. Gaslager volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat de ringvormige binnen- en buitengroeven op afstand liggen van respectievelijk

8000171

de centrale opening en de buitenomtrek van het lager over een afstand van rond 5 tot en met 15% van de diameter van het lager.

8. Gaslager volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat de ringvormige groeven een diepte hebben van rond 1,5 tot en met 6 keer de lagerruimte.

9. Gaslager volgens conclusie 6, met het kenmerk, dat de gastoevoerpoorten in hoofdzaak op gelijke afstand van elkaar liggen in de omtreksrichting.

10. Gaslager volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat deze verder ten minste één ringvormige omtreksgroef omvat voor het delen van het binnenoppervlak van het lager welke communiceert met een radiale afvoerdoorgang, aanvullende ringvormige omtreksgroeven in communicatie met de gasdoorgang en aangebracht nabij de deelgroef en een aantal gastoevoerpoorten openend in respectieve aanvullende ringvormige groeven.

15 11. Gaslager volgens conclusie 1, met het kenmerk, dat deze verder een aantal axiale groeven omvat voor het onderling verbinden van het aantal ringvormige groeven, waarbij de axiale groef een ondiepere diepte heeft dan de ringvormige groef.

12. Gaslager van het type waarin een draaibare as is voorzien van een gedeelte met een geringere diameter voor het ontvangen van een lager ten einde een radiaallager en een lager met zijloopvlakken te definiëren en onder druk gebracht gas wordt toegevoerd door een bron van onder druk gebracht gas in een radiale lagerruimte en een tussenruimte van het lager met zijloopvlakken gedefinieerd door het lager en het gedeelte met de geringere diameter, met het kenmerk, dat het radiale lager omvat:

een radiaal lageroppervlak,

een aantal ringvormige omtreksgroeven welke zich uitstrekken rond het gehele binnenoppervlak van het radiale lageroppervlak nabij tegenover elkaar liggende uiteinden ervan en axiaal op afstand van elkaar geplaatst, waarbij de ringvormige omtreksgroef opent in de tussenruimte van het radiale lager,

een aantal onder hoeken met elkaar geplaatste gastoevoerpoorten met een kleine diameter in communicatie met respectieve ringvormige omtreksgroeven en

35 een gasdoorgang voor het verbinden van een aantal gastoevoerpoorten met de bron;

en dat het lager met zijloopvlakken omvat:

oppervlakken van het lager met zijloopvlakken,

8000171

een aantal concentrische ringvormige groeven gevormd in elk oppervlak van het lager met zijloopvlakken om te openen in de tussenruimte van het lager met zijloopvlakken, waarbij de binnenste van de concentrische groeven is aangebracht nabij het oppervlak van het radiaal lager en de buitenste van de groeven is aangebracht nabij de buitenomtrek van de draaibare as en

een aantal gastoevoerpoorten met een kleine diameter welke communiceren met de respectieve concentrische ringvormige groeven om zodoende te worden verbonden met de gasdoorgang,

10 en dat de overgangen tussen het oppervlak van het radiale lager en de oppervlakken van het lager met zijloopvlakken communiceren met de omgevende atmosfeer via afvoerdoorgangen welke zich uitstrekken door de as,

13. Gaslager volgens conclusie 12, met het kenmerk, dat deze verder ten minste één ringvormige omtrekselgroef omvat voor het delen van het binnenoppervlak van het radiaal lager dat communiceert met de radiale afvoerdoorgang, aanvullende ringvormige omtrekselgroeven communicerend met de gasdoorgang een aangebracht nabij de deelgroef en een aantal gastoevoerpoorten openend in de respectieve aanvullende ringvormige groeven.

14. Radiaal gaslager van het type waarin onder druk gebracht gas wordt toegevoerd door een bron van onder druk gebracht gas in een lagerruimte tussen een lager en een draaibare as voor het draaibaar ondersteunen van de as, met het kenmerk, dat het lager is voorzien van een aantal onder hoeken met elkaar geplaatste kleine radiale gastoevoerpoorten openend in de ruimte, welke gastoevoerpoorten dicht bij de tegenover elkaar liggende uiteinden van het lageroppervlak van het lager zijn aangebracht en een gastoevoerdoorgang welke de gastoevoerpoorten verbindt met de bron en dat de draaibare as is voorzien van een aantal ringvormige omtrekselgroeven welke liggen tegenover overeenkomstige gastoevoerpoorten en openend in de lagerruimte.

15. Gaslager met zijloopvlakken van het type waarin onder druk gebracht gas wordt toegevoerd door een bron van onder druk gebracht gas in een lagerruimte tussen lager en een draaibare as voor draaibare ondersteuning van de as, met het kenmerk, dat de draaibare as integrale zijloopplaten omvat welke liggen tegenover tegenoverelkaar liggende uiteinden van het lager, welke zijloopplaten zijn voorzien van een aantal concentrische ringvormige groeven openend in de lagerruimte, waarbij de binnenste van de groeven nabij het binnenomtreksoppervlak van de lager is aangebracht en de buitenste van de groeven is aangebracht nabij de buitenom-

trek van de zijloopplaat en dat het lager is voorzien van een aantal concentrische, kleine axiale gastoevoerpoorten openend in de lagerruimte, welke gastoevoerpoorten liggen tegenover de concentrische ringvormige groeven van de draaibare as en onder hoeken met elkaar staan en een gas-
5 toevoerdoorgang voor het verbinden van de gastoevoerpoorten met de bron.

Windhoven, januari 1980.

8000171

FIG.1

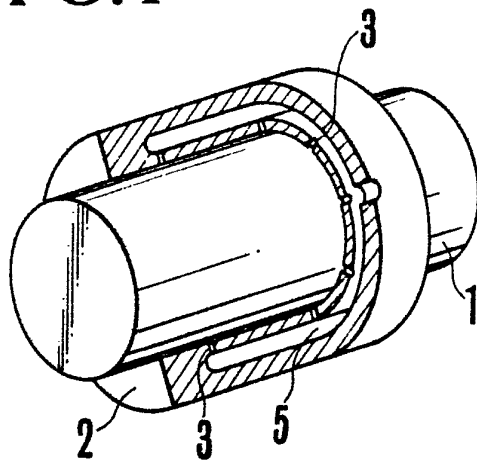


FIG.2

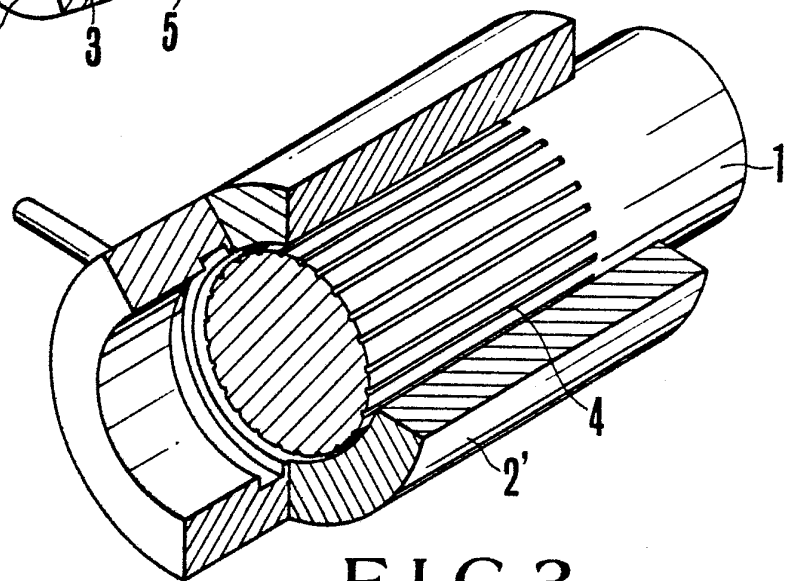
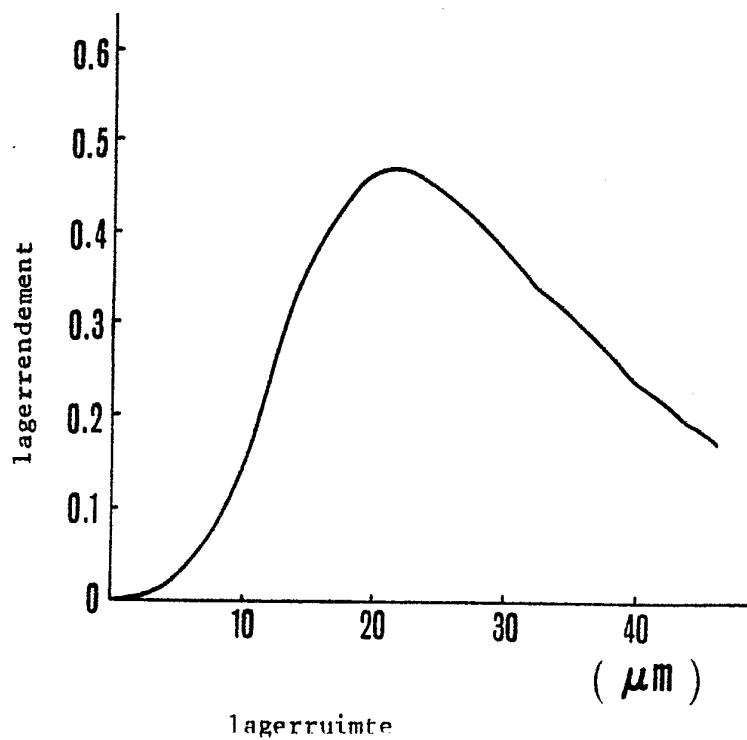


FIG.3



8000171

FIG.4

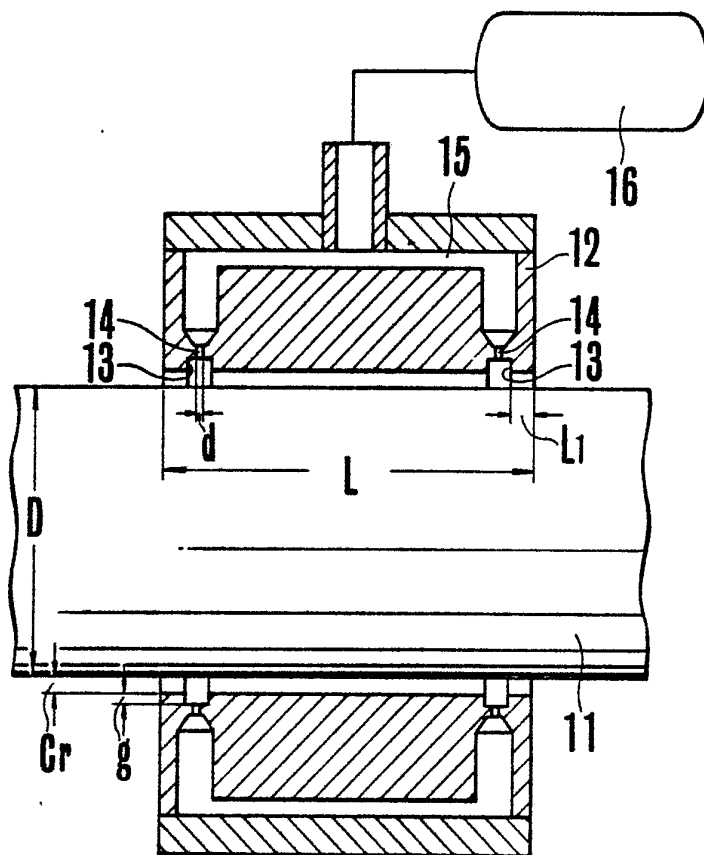


FIG.5

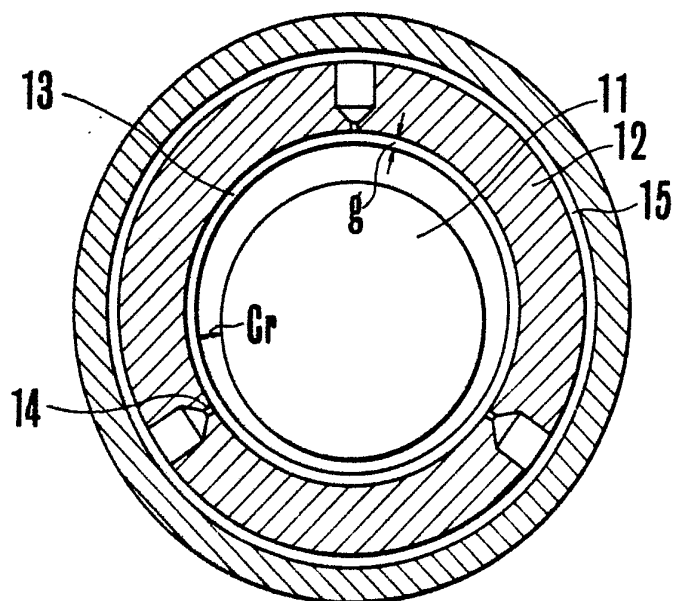


FIG.6

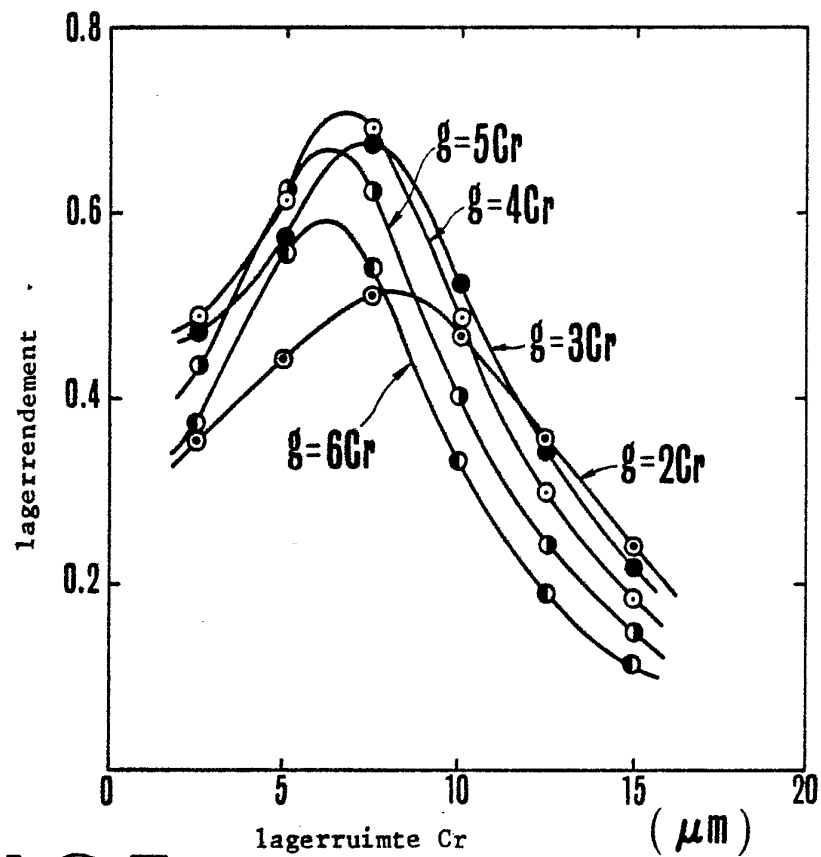
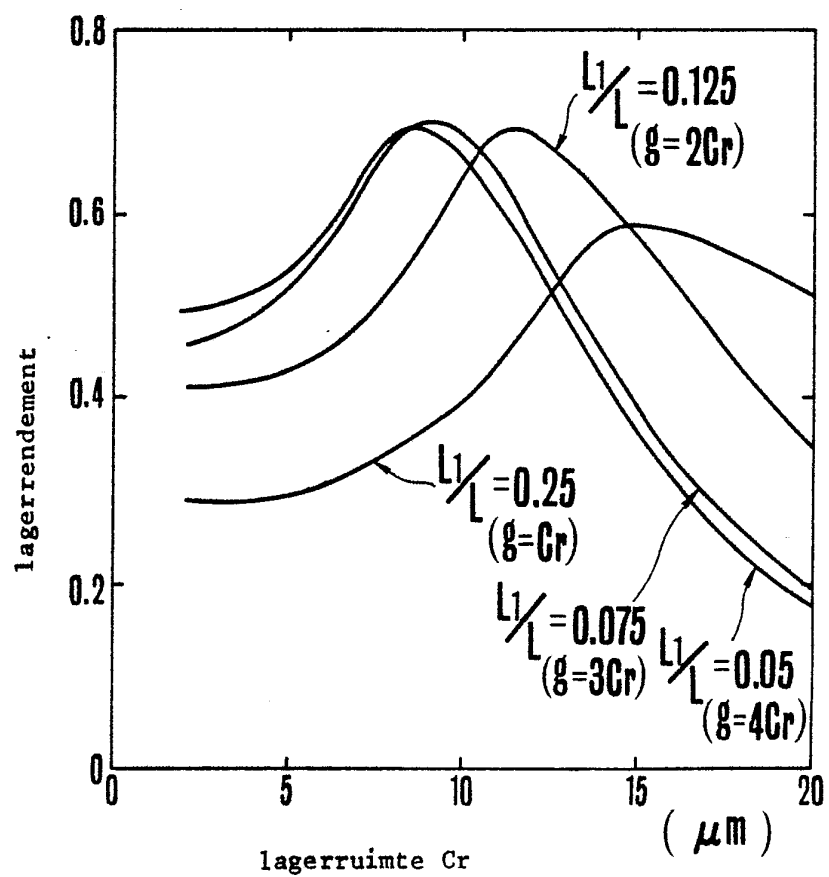


FIG.7



8000171

FIG.8

drukniveau van de toe-
gevoerde lucht

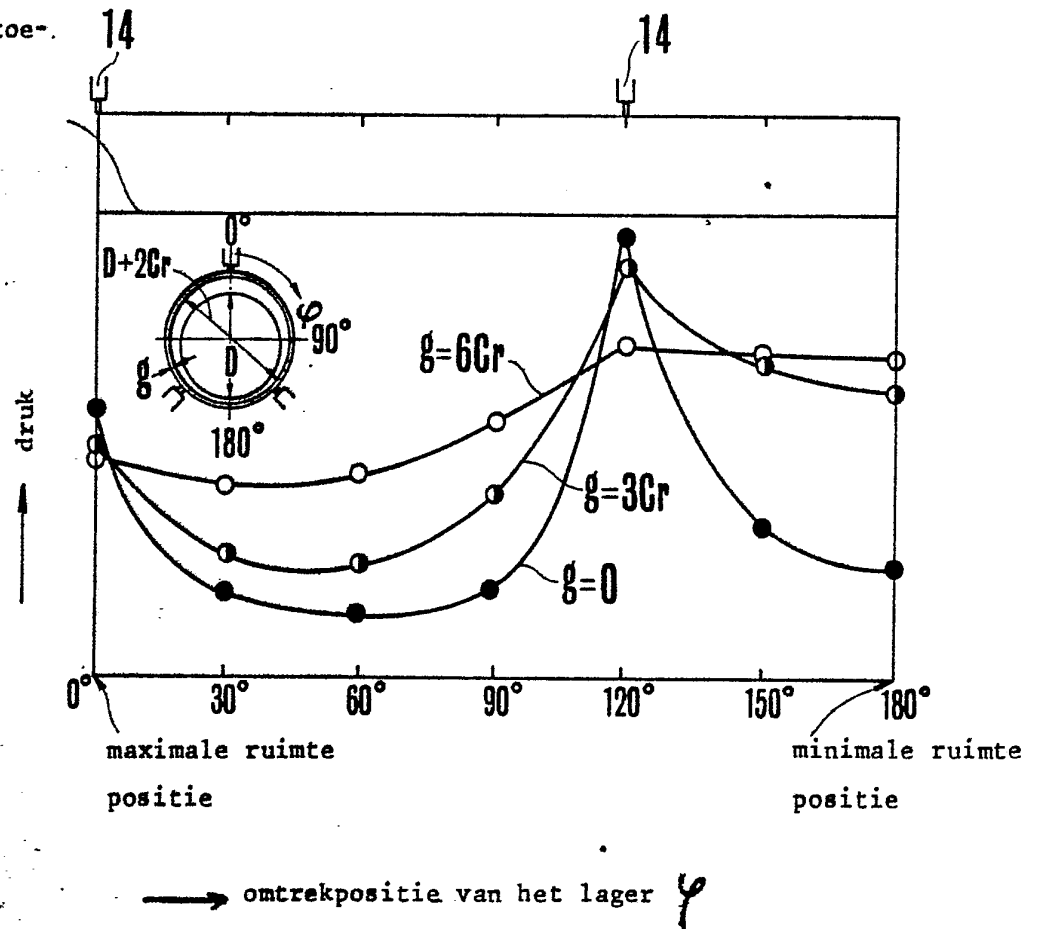
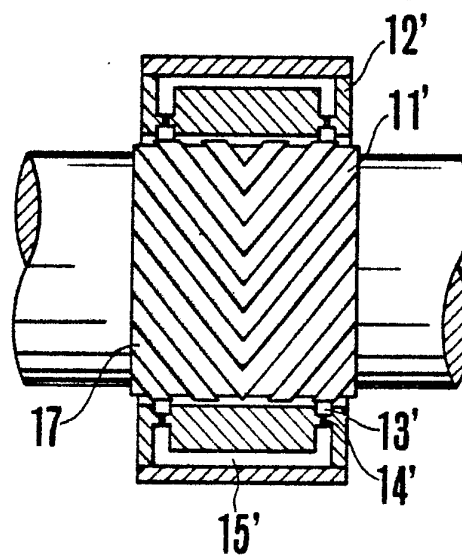
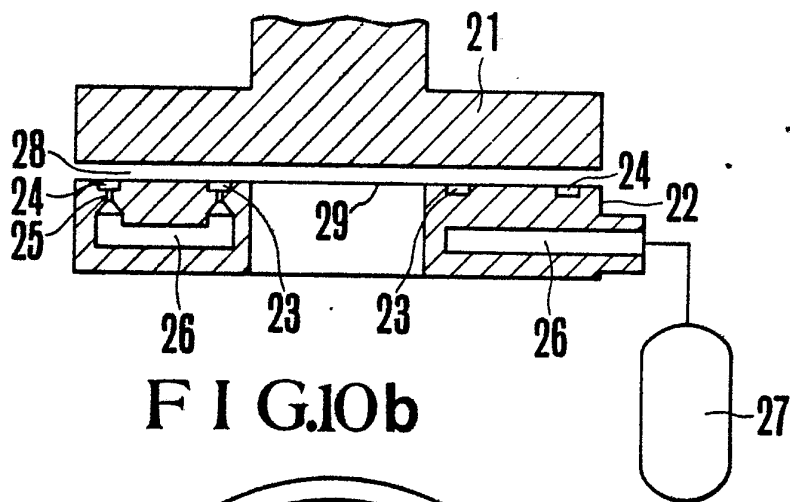


FIG.9

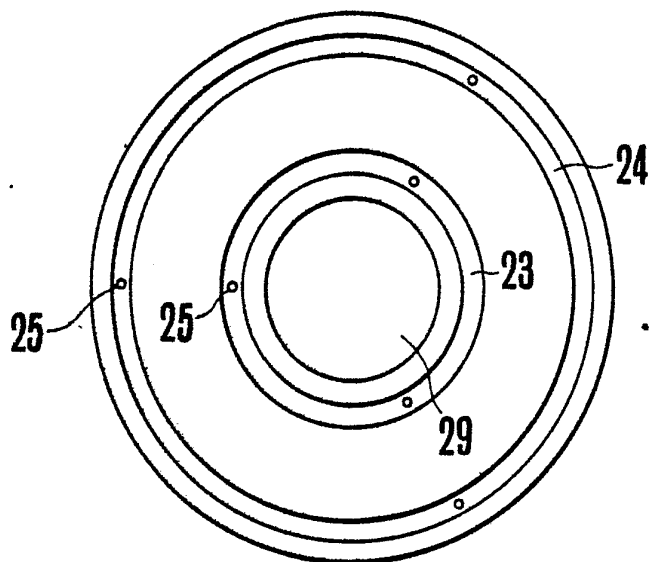


8000171

F I G.10a



F I G.10b



F I G.11

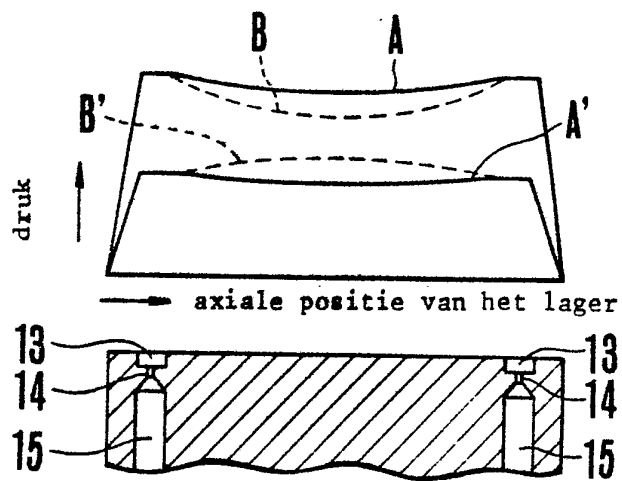


FIG.12

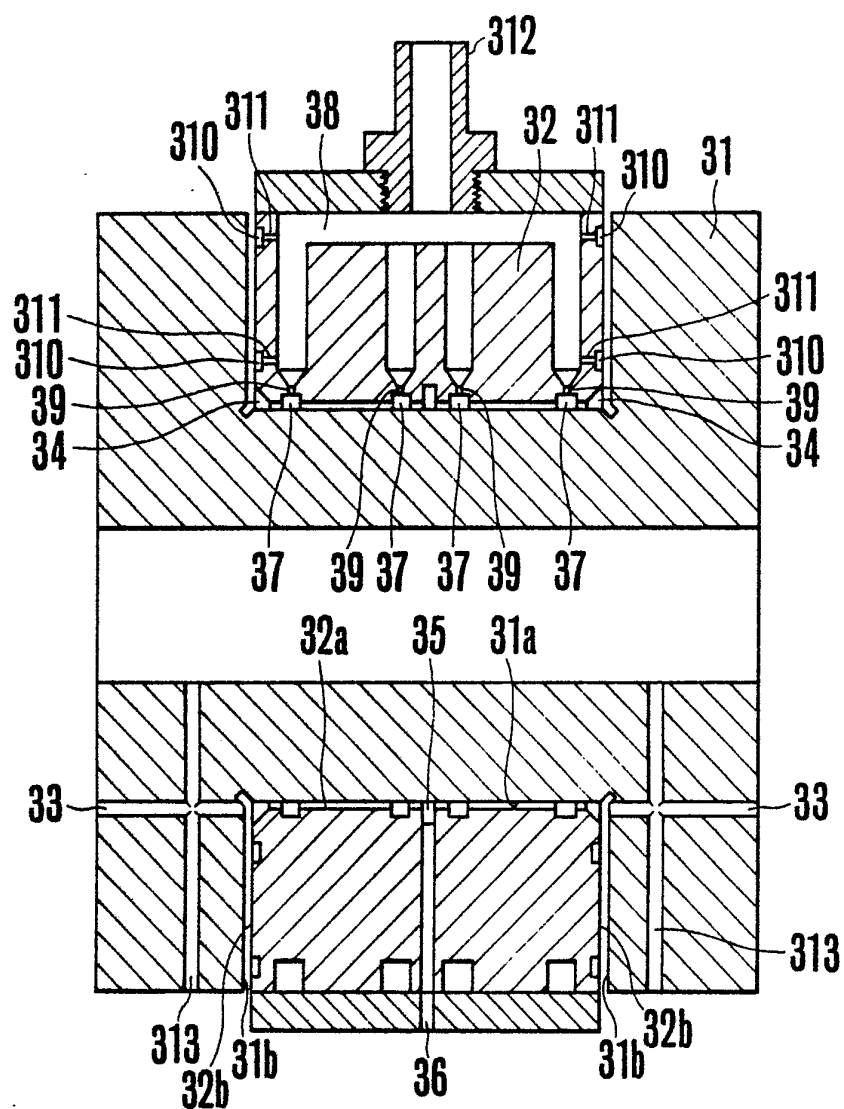
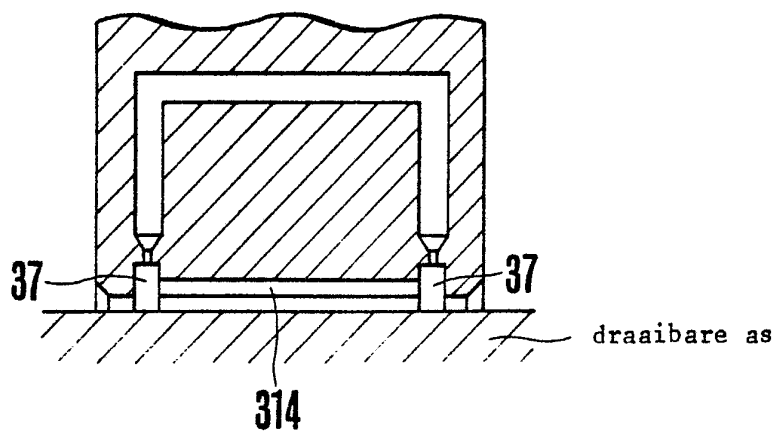


FIG.15



8000171

FIG.13

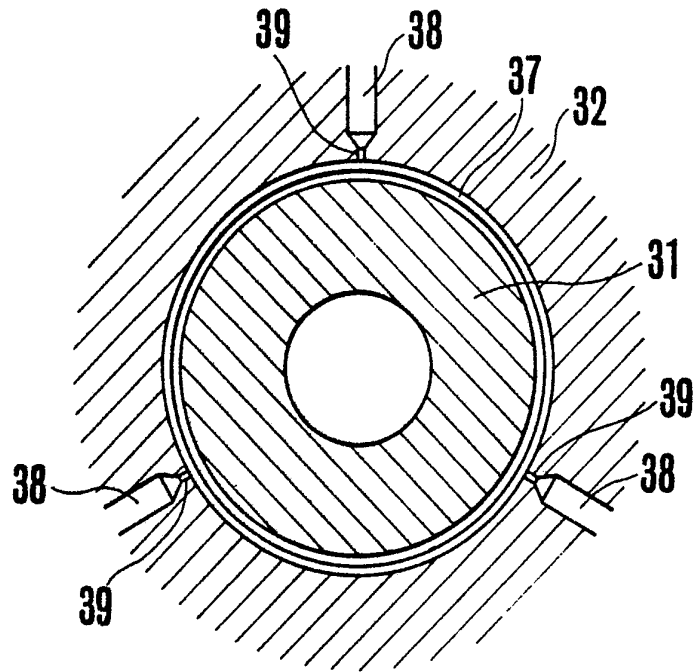


FIG.14

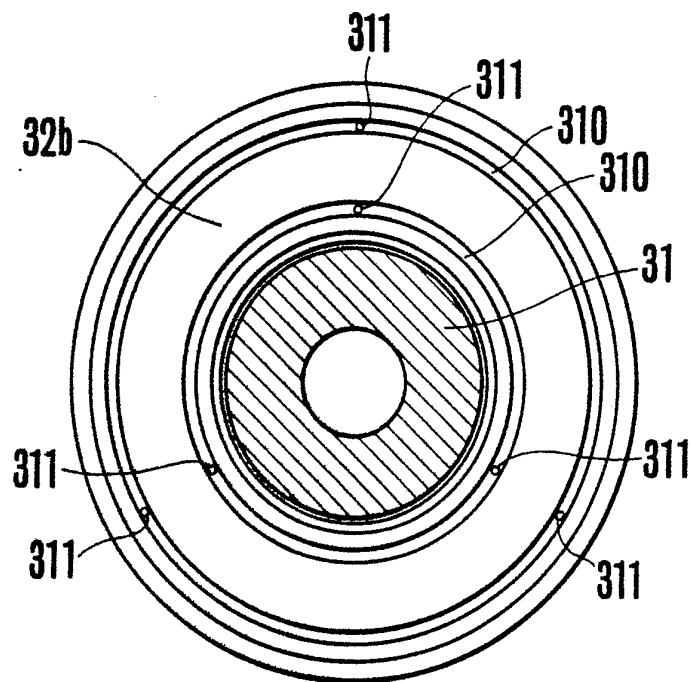


FIG.16

