

Plaatsbepaling van assen in wentellagers, consequenties voor de afrolling van wrijvingswielen

Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (15)

P.C.J.N. Rosielle, E.A.G. Reker,
M.P. Koster

Het spoorprobleem

Het lageren van wrijvingswielen en rollen verdient bijzondere aandacht. De situatie in figuur 168 is die van figuur 170: R is de rol en W is het wiel. De wielas A dient zuiver loodrecht te staan op de rijrichting x. Zoniet, dan rolt het wiel in de richting x' (\perp as A) totdat de lagerconstructie, met axiale stijfheid c, zover is ingedrukt (y) dat $c y > \mu N$ (N is de normaalkracht). Daarna slijpt het wiel terug en ontstaat de in de figuur aangegeven zaagtandbeweging.

Bij voorkeur treedt dwarsslip op, op een ogenblik in de machinecyclus (he- laas steeds op dezelfde plaats) dat N een relatief lage waarde bereikt. Er zal

zich op die plaats slijtage aftekenen en de zorgvuldig geconstrueerde rechtge- leiding of wrijvingswielaandrijving vertoont een andere voorkeurstand.

In zeer geringe mate kan het snelheids- verschil in dwarsrichting door elastische vervorming in het contact worden opgenomen, zonder dat het tot volledige slip hoeft te komen. In een deel van het contactvlak treedt dan wel micro- slip op.

Nokrollen, zie figuur 169a, zijn nooit exact evenwijdig met de nokas. De nokrollen zouden dus in een schroeflijn willen afrollen. De zijdelingse stijfheid van de hefboom verzet zich daartegen: de rol slijpt periodiek terug (in axiale richting) met name op de momenten dat de aanlegdruk relatief klein is. Men heeft dan kans op slijtplekken op de nok op de plaatsen A, in plaats van de in geval van hoge nokrolbelasting eer- der te verwachten "pitting" op de plaat- sen B.

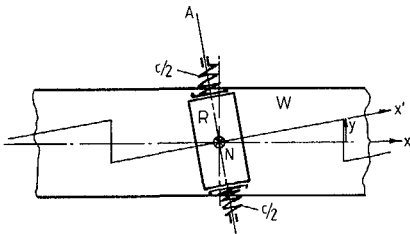
Als de hefboom zijdelings zeer stijf is kan hij de uitwijking niet opsparen tot een laagbelaste plaats A voorbij komt en slijpt de rol voortdurend. Bij de voor

nokrollen in zuivere afrolling nog toe- laatbare vlaktedruk is een gemiddelde zijdelingse slipsnelheid in de orde van 10 mm/sec al vaak funest.

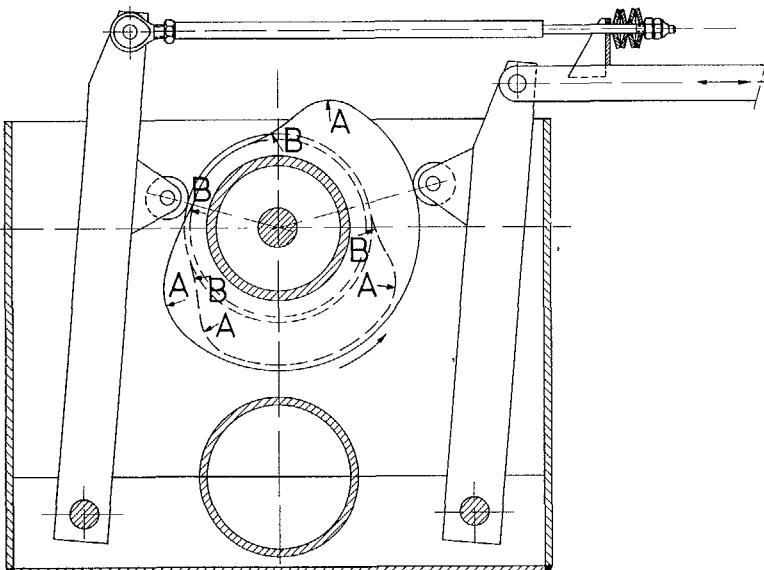
Afhankelijk van onder andere de smeertoestand kunnen dan 1 tot 10 mm³ materiaal per uur van de nok en nokrol afslijten. Dit dwingt ons om vooral bij hoge afrolsnelheden (dus bij grote nokschijfdiameter en bij snello- pendende machines) de drie betrokken as- sen (nokas, nokrolas en hefboomas) goed parallel te monteren.

Meestal zijn er veel onderdelen en dus opteltoleranties in het geding. Om dan toch een evenwijdigheid van 10^{-3} tot 10^{-4} [rad] te kunnen realiseren zal men eventueel moeten zorgen voor instel- mogelijkheden en een instelvoorschrift met de bijbehorende meetmogelijkhe- den. Het is evenwel heel lastig om de evenwijdigheid van korte ontoeganke- lijke asstompjes te meten.

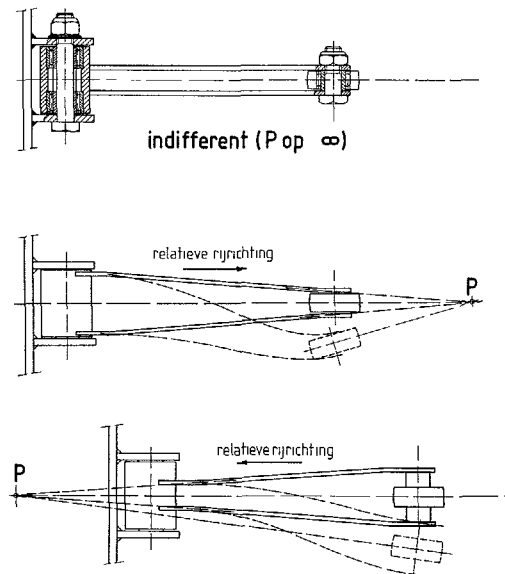
Er is verschil tussen de toestand bij de rechter rol en hefboom in figuur 169a en die bij de linker. Als de zijdelingse stijfheid in de hefboom het toelaat, loopt de rechterrol over de (van de hef- boomlagering af draaiende) nokschijf zoals een caravan achter een auto.



Figuur 168



Figuur 169a



Figuur 169b boven, c midden, d onder.

Onevenwijdigheid van de assen leidt tot een zijdelingse afwijking, waarbij de hoekfout van de nokrolas afneemt zodat de toestand zich stabiliseert en de rol in een vast spoor gaat lopen. De linker rol daarentegen is in een instabiele toestand zoals een caravan bij achteruitrijden; hoe groter de zijdelingse uitwijking wordt, hoe groter de scheefstand van de assen.

Wanneer men zeker weet dat de machine nooit achteruit zal draaien, dan kan men een goede poolligging combineren met een lage zijdelingse hefboomstijfheid. Het instelgebied is dan groot en uitgaand van grof getolereerde onderdelen en vlotte montage zonder in- en afstellen is men toch verzekerd van een slijpvrije stabiele loop.

Een hefboom uit twee staalplaten combineert zeer hoge stijfheid van het eigenlijke nokmechanisme met zeer lage dwarsstijfheid.

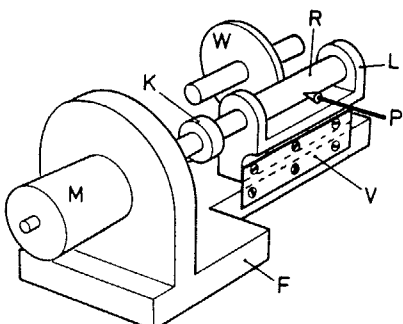
Door de hefboom als stangenmechanisme te beschouwen kan men de helling van de zijplaten zo kiezen dat de pool aan de gewenste kant komt te liggen; zie de figuren 169b, c en d.

Wrijvingswieloverbrengingen

Figuur 170 toont het principe. De rondselas R wordt door de voorspanveer tegen het wiel W gedrukt. De koppeling K laat kleine dwarsverplaatsingen van R toe.

Bij dit soort constructies treedt het spoorprobleem ten volle op. Zorgvuldig construeren met het doel de assen evenwijdig te houden is dan een vereiste.

Hieronder volgt een voorbeeld, de aandrijving van een precisie-goniometer.



Figuur 170. [A.J.J. Franken]

In de slede is een wrijvingswieloverbrenging ingebouwd. Bij het aanbrengen van de voorspanning tussen de wrijvingswielen zijn de assen door middel van elastische scharnieren in de zijplaten evenwijdig gehouden.

Figuur 171a toont de wagen met zijn looprollen en (elastisch) voorspanmechanisme.

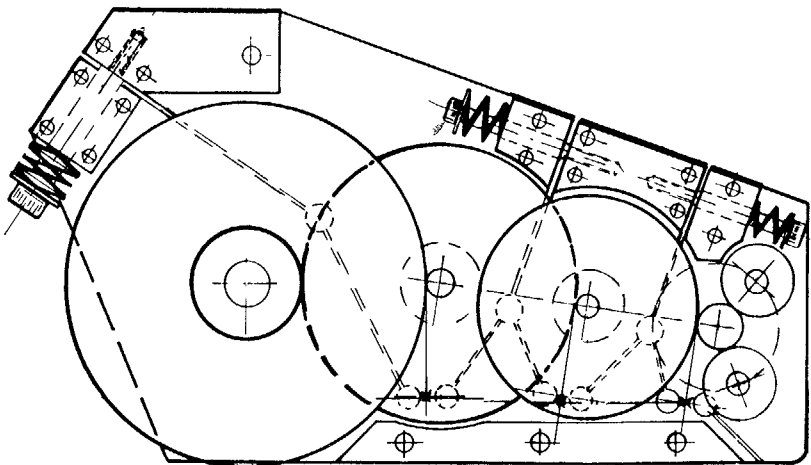
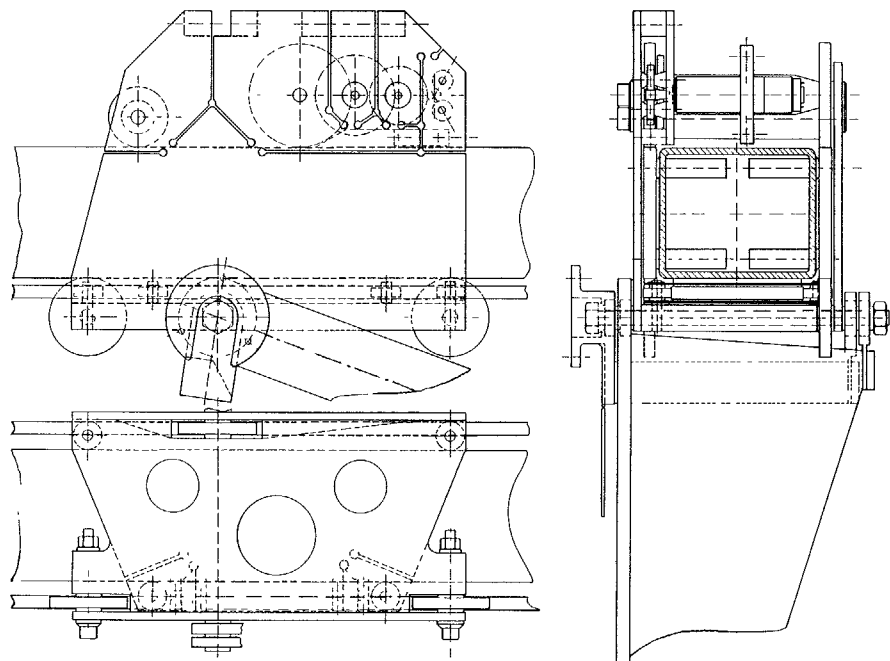
Figuur 171b geeft de aandrijving van de wagen door middel van servomotor en wrijvingswielvertraging weer.

Hier is nauwkeurige paralleliteit van de assen essentieel: de kleinste scheefstand kan al tot axiale slip leiden, met eventueel zelfs sterke slijtage.

De beide lagerplaten zijn gezamenlijk geboord en geruimd en zodanig van elastische scharnieren voorzien dat in elk contactpunt de contactkracht kan worden ingesteld door voorspanning in een veerpakket in hetzelfde axiale vlak, met behoud van de evenwijdigheid der assen.

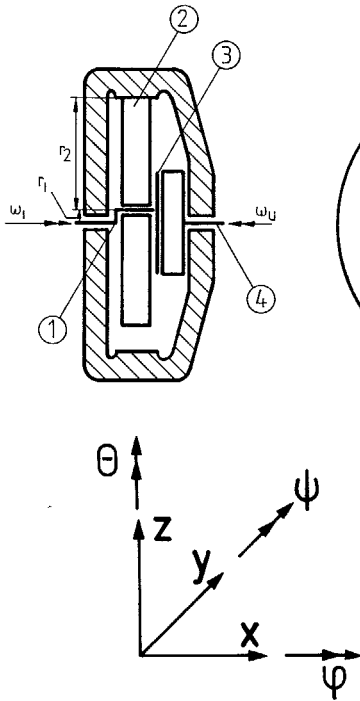
Grote reducties als in figuur 171b (bijvoorbeeld 1:80) kunnen ook in één trap worden gerealiseerd zie figuur 172.

De kruk (1) heeft een omtreksnelheid ω_{r1} . Voor het wiel (2) geldt dat P de momentane pool is. De hoeksnelheid



Figuur 171a boven, 171b onder. [P. Brinkgreve]

Plaatsbepaling van assen in wentellagers, consequenties voor de afrolling van wrijvingswielen



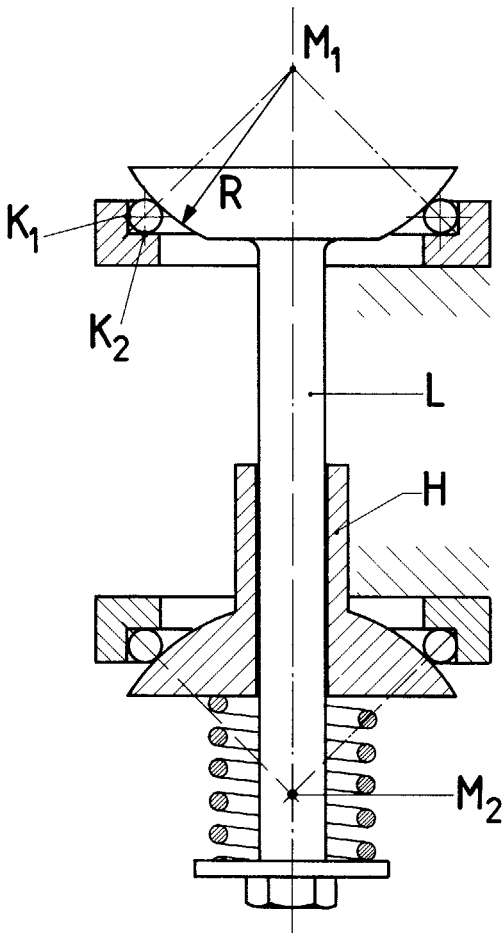
Figuur 172

van (2) om P, ten opzichte van de vaste wereld is:
 $\omega_2 = \omega_1 r_1 / r_2$.
 De koppeling (3) brengt deze rotatie onvervormd over op de uitgaande as (4): $\omega_2 = \omega_u$, zodat voor de overbrengingsverhouding geldt:
 $i = \omega_u / \omega_1 = r_1 / r_2$.

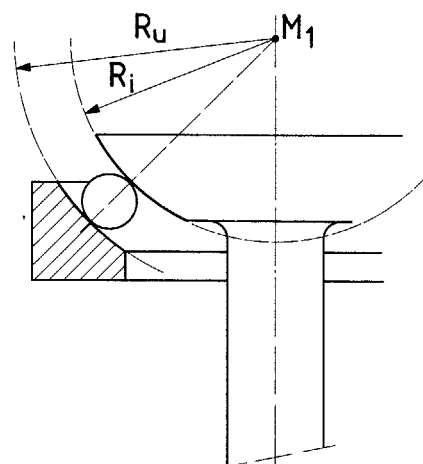
Voorgespannen kogellagers

Als men een schijf of as op afrolling (kogels) wil lagere met als enige graad van vrijheid de hoekrotatie θ , zie figuur 173a, dan gebruikt men meestal ingekochte kogellagers. Daarbij steunt men terecht op het goede denk- en maakwerk van de kogellagerfabrikant zodat men zich zelden gedwongen voelt om zelf het probleem te doordenken. Toch kan dit verhelderend werken.

Stel we willen een roterend lichaam lagere op kogels, liefst statisch bepaald en met beheerste vóórspanning. Figuur 173a toont een principe-schets met boven een vaste loopring met drie



Figuur 173a



Figuur 173b

kogels die een bolvlak dragen. De kogels bepalen de ligging van het bolmiddenpunt M_1 en daarmee één punt van de rotatiehartlijn van het te lagere lichaam L.

We moeten nu nog twee vrijheidsgraden, de hoeken ϕ en ψ vastleggen, bijvoorbeeld door van een ander punt M_2 van de hartlijn van het lichaam de x en de y vast te leggen (niet de z).

Dat kan bijvoorbeeld met een hulpbol H die zelf gelagerd is door een analoge constructie als bij M_1 , en die zich *zonder zijdelingse speling* axiaal kan verplaatsen ten opzichte van het te lagere lichaam L.

Om op basis van dit principe tot een betrouwbaar werkend geheel te komen, moeten we een aantal principiële deelproblemen oplossen, namelijk het lagere op veel kogels, de spinbeweging van de kogels en het elastische voorgespannen.

Het lagere op veel kogels

De ligging van M_1 zou statisch bepaald zijn door drie kogels onder ca. 120° op de loopring.

Bij rotatie zou echter de plaats van M_1 voortdurend veranderen tengevolge van onrondheid van de kogels en axiale en radiale slingering van zowel de vaste loopring als de loopbaan op L.

Deze veranderingen vertonen een grillig patroon: men realiseert zich dat als L 100 onwentelingen maakt, de kogels bijvoorbeeld 30 maal hun baan doorlopen, daarbij dus 70 maal door de baan op L overrold worden en tevens enkele honderden malen om hun as draaien.

Zouden we (aanzienlijk) méér kogels invoeren en de lagere zóver voorgespannen dat de elastische inverting groot genoeg is om *alle* kogels *altijd* tot meedragen te nopen, dan zou de invloed van axiale en radiale slingering van de beide loopbanen tot nul zijn gereduceerd!

(Pas op: Bij vóorgespannen complete kogellagers houdt men slingering, maar die treedt op tussen loopvlak en passing op de as respectievelijk in het huis.)

Men houdt alleen de invloed van onrondheid van de kogels, maar die is gering en door het grote aantal statistisch goed uitgemiddeld.

De eis is nu dat enerzijds de lagere als geheel stijf genoeg is, maar anderzijds

de stijfheid per kogel (2 Hertze contacten in serie, zie aflevering 7 in Mikroniek nummer 4- 1992 p. 100) laag genoeg om de gezamenlijke vormtoleranties te overbruggen bij een belasting die bij de gewenste levensduur toelaatbaar is. Men komt zo gauw tot hoge eisen aan de vormnauwkeurigheid van de loopbanen. In het bijzonder zijn daarbij onregelmatigheden met een periodiciteit gecorreleerd met het aantal kogels ontoelaatbaar. Als simpel voorbeeld denke men aan een eenmalige axiale overbelasting waarbij elke kogel een putje in de loopring gedrukt heeft. Zo'n lager is nooit meer goed te krijgen en het middelt niet uit. Aangezien de fouten die bij het slijpen van de loopbanen optreden het sterkst tot uiting komen in de periodiciteiten van 2 en 3 maal per omwenteling, prefereert men kogelaantallen die niet door 2 of 3 deelbaar zijn, dus de priemgetallen 5, 7, 11, 13, 17, enz.

Toch lijkt de oplossing met voorspanning op veel kogels beter dan de "statistisch bepaalde" met drie kogels: M_1 is zo beter gedefinieerd en de stijfheid is, door het grote aantal kogels die bovendien voorgespannen zijn, aanzienlijk groter. Niet te onderschatten is het uitmiddellende effect van een locale oneffenheid, zolang de kogels voorgespannen zijn. Het lager heeft de eigenschappen van een verennest (zie aflevering 5 Mikroniek nummer 2- 1992 p. 39).

Kogellagers zijn een propositie sinds de bewerkingsnauwkeurigheid de toelaatbare (Hertze) indrukking overtreft!

De spinbeweging van de kogels

In de uitvoering volgens figuur 173a rollen de kogels om de lijn door de contactpunten K_1 en K_2 .

In de contactpunten treedt niet alleen afrolling op doch ook spin en dat geeft extra slijtage en rolweerstand; in de praktijk een extra rolweerstand van ca. 0,002.

Het voordeel van deze uitvoering is de goede plaatsbepaling van de kogels. In hun baan kan men de kogels zich vrij laten verdelen, of men kan de verdeling bewerkstelligen met een kogelkooi, of om en om een gewone en een iets kleinere kogel. De verdeling van de kogels is in het algemeen een moeilijke technische opgave en vaak een bron van

zorg, met name als de kogels en de eventuele kogelkooi versnellingskrachten ondervinden.

Een alternatief met (nog wel geen zuivere maar toch veel) betere afrolling tussen twee concentrische bolvlakken geeft figuur 173b. Hier is echter een kogelkooi – met eigen borging tegen kanteling! – noodzakelijk.

Kogellagerfabrikanten kozen voor het alternatief van figuur 174.

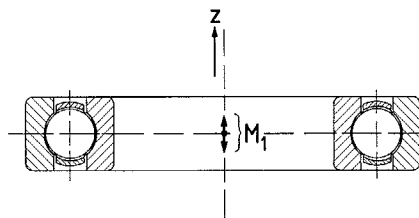
De kogelkooi ontleent zijn borging tegen kantelen aan de kogels zelf. Het Hertze contact is gunstig omdat de loopringen de kogel met een (negatieve) kromtestraal omhullen.

Het punt M_1 uit figuur 173a is in eerste instantie in het middendeelvlak van het kogellager gekomen.

Van dat punt worden de x en y goed vastgelegd als althans de fabrikant voor de goede voorspanning heeft gezorgd en als die ongeacht de passingen in het huis en op de as, temperatuurverschillen en slijtage, ongewijzigd gehandhaafd zou blijven.

De z wordt veel minder goed vastgelegd; het is in eerste instantie een "indifferent evenwicht". Zodra axiale belasting optreedt stellen de kogels zich anders in, kiezen als het ware een nieuw punt M_1 en leggen nu daarvan de x, de y en – naarmate M_1 verder uit het middenvlak ligt – ook de z steeds stijver vast.

De axiale kracht wordt opgenomen onder een zeer ongunstige hoek, het lager zou snel overbelast raken. Daarom geven de meeste kogellagerfabrikanten hun groefkogellagers bewust enige positieve speling. De hoek waaronder de axiale belasting wordt opgenomen, wordt nu gunstiger. Het axiale draagvermogen en de axiale stijfheid zijn dan ook groter naarmate de speling groter is. Het "uitmiddelen" van de fouten van baan en kogels in x- en y-richting



Figuur 174

gaat nu echter verloren zodra de axiale belasting daarvoor ontoereikend is.

Het standaard enkelrijg diepgroefkogellager komt zo uit de bus als een aantrekkelijk relatief hoog belastbaar en door de massafabricage toch zeer goedkoop en verrassend nauwkeurig constructie-element, dat evenwel voor exacte plaatsbepaling niet optimaal is.

Opgemerkt moet worden dat de fabrikanten in de loop der jaren hun assortiment hebben uitgebreid met verscheidene typen als kegellagers, tonlagers, hoekcontactlagers en vierpuntscontactlagers, waarbij de voorspanning vaak wel in- en nastelbaar is.

Het elastisch voorspannen

Om van het principe van figuur 173a een betrouwbaar werkend geheel te maken, moeten nog een spelingsvrije axiale lagering van de hulpbol H op de te lagere as L gevonden worden en een verende voorspanning. Voor de hand ligt dan een lagering op vlakke membranen onder de gewenste voorspanning.

Voor een goede axiale lagering zijn twee evenwijdige membranen nodig die op twee plaatsen een x en y van de hartlijn vastleggen.

We willen in ons geval echter alleen in punt M_2 de x, y van H vastkoppelen aan de x, y van L.

We kunnen dus met één membraan volstaan *mits dit ligt in het vlak van het bolmiddenpunt M_2 .*

Figuur 175a is het ontwerp van een lagering voor een preparaat-rotatietafel in een elektronenmicroscop. M_1 is hier in het beeldpunt gekozen.

Voor een op straal R en straal r ingeklemd membraan met dikte δ , uit materiaal met elasticiteitsmodulus E en dwarsconcentratiecoëfficiënt ν (staal: $\nu = 0,3$) geldt voor de zakking z:

$$Z = \frac{3F_{ax}(1-\nu^2)}{(4\pi E\delta^3)} \cdot [R^2-r^2 - \frac{4R^2r^2}{R^2-r^2} (\ln \frac{R}{r})^2]$$

en

$$\sigma_{max} = \frac{3F_{ax}(1-\nu^2)}{(2\pi\delta^2)} [1 - \frac{2R^2}{R^2-r^2} (\ln \frac{R}{r})].$$

De vering mag ook in de buitenbaan zitten, zie figuur 175b, mits het vlak

Plaatsbepaling van assen in wentellagers, consequenties voor de afrolling van wrijvingswielen

van het membraan door het bolmiddenpunt M_2 gaat.

Als wordt voorbijgegaan aan de spin kan men in principe met één kogelkrans volstaan; figuur 175c geeft hiervan een voorbeeld.

Volkomen analoog is de in aflevering 4 van Mikroniek nummer 1-1992 p. 12 toegepaste harmonicabus.

Een uitvoeringsvorm als figuur 175d met één membraan ter hoogte van M_2 voldoet. Hierbij is hoek α kleiner dan 45° gekozen om bouwhoogte te winnen. Al te ver kan men hiermee niet gaan in verband met eisen aan diameter toleranties, ongelijke kogelbelastingen en zelfremmendheid.

Uiteraard kan men de voorspanning desgewenst ontlenen aan apart aangebrachte veerpakketten in plaats van aan de membranen.

De toepassing van zelfinstellende wentellagers

Als men een schijf of as op afrolling (kogels of rollen) wilageren met als vrijheidsgraden de asrotatie en (in beperkte mate) de twee kantelhoeken, dan neemt men gewoonlijk standaard "zelfinstellende" kogel- of rollagers. Meestal hebben die een inwendige bolvormige buitenring. Inzicht in de juiste toepassing leidt er dan toe de opstelling volgens figuur 176a te prefereren voor roterende assen die gebogen worden door een stationaire kracht (het eigen gewicht) en die van figuur 176b voor de assen met buiging door roterende belasting (bijvoorbeeld onbalanskrachten).

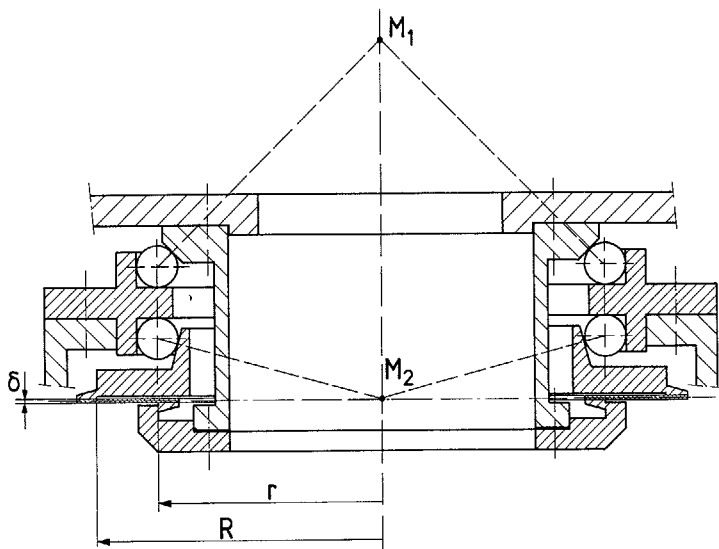
Mikroniek aflevering 4-1991 figuur 17 geeft een fraai alternatief met niet zelfinstellende (dus in het geval van kogel-

lagers aanzienlijk hoger belastbare) lagers in elastische freemplaten die elk alleen x en y vastleggen.

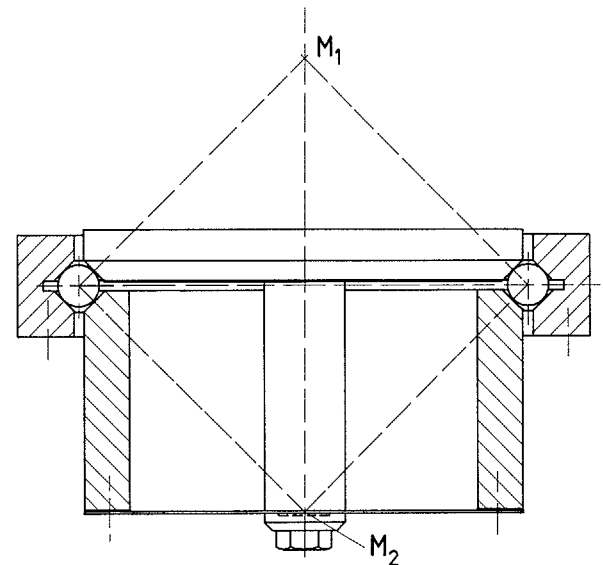
Het schommel-oog

Wanneer een as of pen in een lagerbus gaat draaien (figuur 177a) begint hij zich af te rollen op een lagerwand en klimt daarbij geleidelijk tegen de helling op (figuur 177b). Tegen dat de tangens van de hellingshoek ϕ de waarde van de wrijvingscoëfficiënt heeft bereikt glijdt de as uit en schiet terug naar beneden.

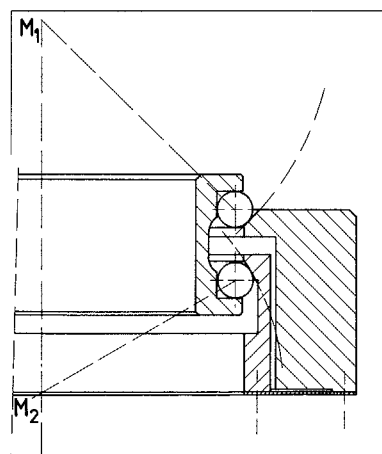
Bij een niet volledig gesmeerd glijlager zal zo niet, dan onder bijzonder gunstige omstandigheden een stationaire toestand worden bereikt. Voor kleine verdraaiingshoeken is zuiver afrollen mogelijk. Men moet dan wel de configura-



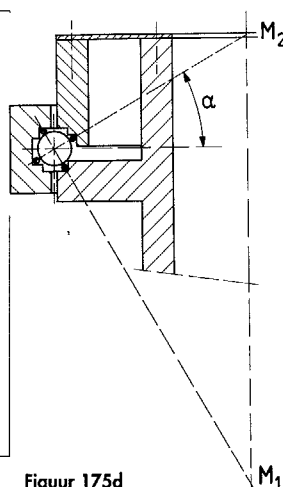
Figuur 175a. [C.W.B. v.d. Berg]



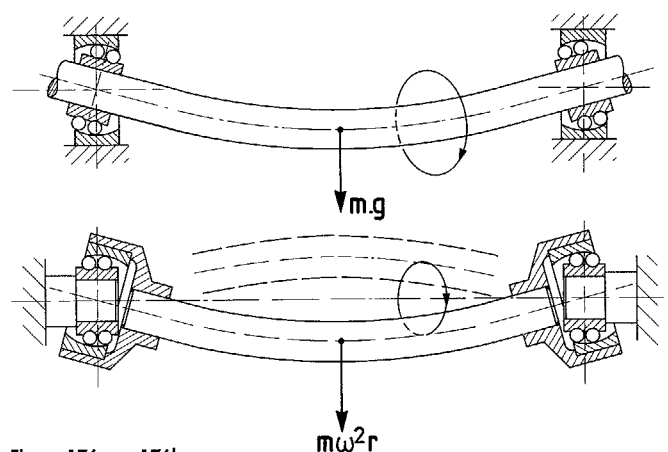
Figuur 175c



Figuur 175b

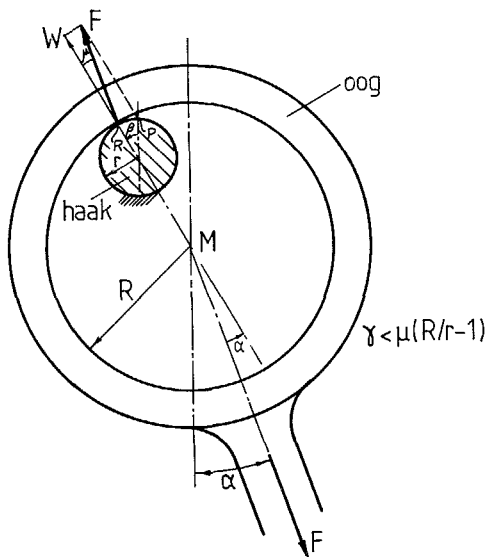
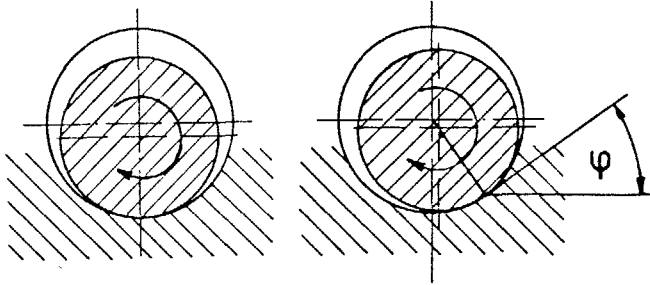


Figuur 175d

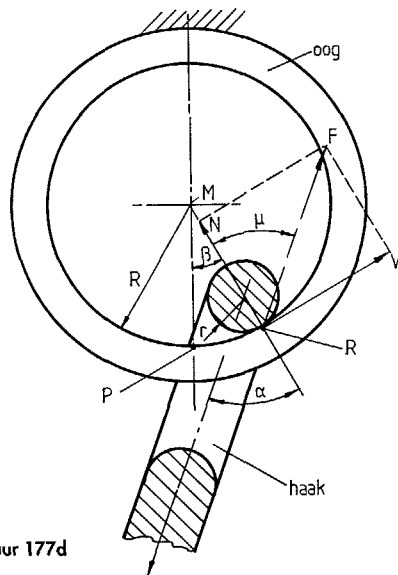


Figuur 176a en 176b.

Figuur 177a links, b rechts.



Figuur 177c



Figuur 177d

tie volgens figuur 177c kiezen en niet die volgens figuur 177d. Sommige ophangogen van kinderschommels, aansluitingen van ankerkettingen, etc. maken bij voortdurend een knerpend geluid en zijn in korte tijd doorsgesleten. Door het ophangoog 90° te draaien, gaat men van de situatie volgens figuur 177d (waar het afrolpunt juist die helling op loopt waar de kracht "vanaf" draait) over op de situatie volgens figuur 177c die over een veel grótere hoek α_{\max} zuivere afrolling toelaat. Dit constructieprincipe kan als volgt worden samengevat:

het lichaam dat ten opzichte van de krachtvector relatief niet roteert (de schommel) moet het lichaam dat dat wel doet (het freem) omhullen. [J. Oostvogels]

De aanhaakpunten van een veer in een mechanisme dienen volgens dit inzicht te worden uitgevoerd.

"Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren" is een selectie uit de verzameling constructieprincipes die op initiatief van prof ir W v d Hoek in 1962 is opgezet en die nog steeds wordt uitgebreid. Door ir P C J N Rosielle en E A G Reker (TU-Eindhoven) is speciaal voor de lezers van *Mikroniek* een selectie gemaakt die in 18 afleveringen wordt gepresenteerd. Bijdragen van lezers als kritiek, suggesties of eigen ervaring worden door de auteurs op prijs gesteld.

hft

DEN HARTOG

fijnmechanische techniek b.v.

vervaardiging en reparatie van
fijnmechanische onderdelenkunststofmatrijzen
snijstempelsbuigstempels
prototypen

bewerken van

kunststofonderdelen

Nijverheidsweg 8
3481 MB Harmelen
Tel.. 03483 - 3504
Fax: 03483 - 4187**INSTRUMENTMAKERIJ**

MEDEJA

Industrieweg 13A
1566 JN Assendelft
Tel 075 - 211277, Fax 075 - 286744**Gespecialiseerd in:**

- ⇒ Ontwikkelen, fabriceren van medische apparaten
- ⇒ Vervaardigen van onderdelen
- ⇒ Volgens tekening of model
- ⇒ Draai- en freeswerk, ook kunststoffen, CNC en conventioneel
- ⇒ Lassen argon-arc, mig
- ⇒ Slijpen en Reparatie medische instrumenten