

Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (3)

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

Het vermijden van speling

De aanwezigheid van een relatief kleine speling domineert al snel het dynamisch gedrag van een mechanisme. De speling brengt niet alleen een statische plaatsnauwkeurigheid mee maar ook de botsing, als gevolg van het doorlopen van de speling. Deze is de oorzaak van de dynamische plaatsnauwkeurigheid. De botskracht na het doorlopen van speling neemt al gauw aanzienlijke waarden aan, waarbij zelfs de nominale versnellingskrachten kunnen worden overtroffen. De keuze van de stijfheid is cruciaal in dit verband. Enerzijds zal men die hoog willen kiezen om de dynamische plaatsfout niet te groot te laten worden, anderzijds zal men de stijfheid laag willen houden om de botskracht te beheersen. De conclusie is dan ook dat speling in een mechanisme, ten aanzien van plaatsnauwkeurigheid, slijtage en lawaai funest is. In servosystemen is speling uit den boze. Speling betekent daar het tijdelijk niet gekoppeld zijn van delen van het systeem tijdens het doorlopen van de speling, hetgeen leidt tot instabiliteit.

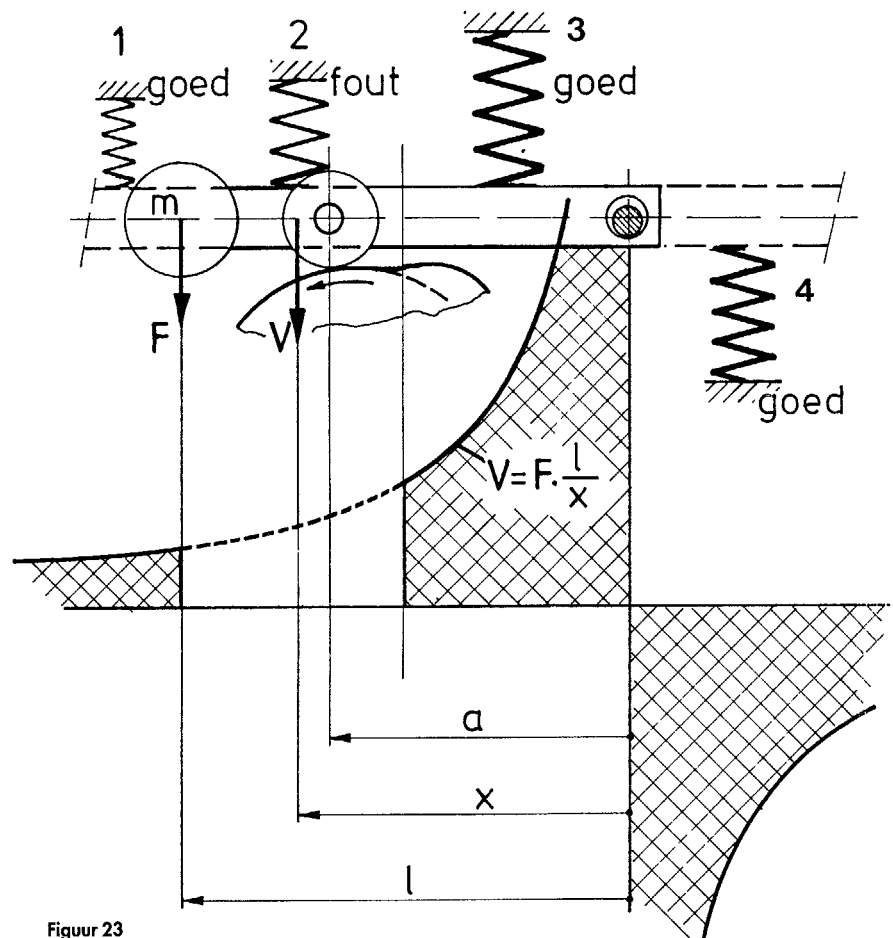
In dit hoofdstuk worden constructieve maatregelen voorgesteld die tot doel hebben speling in mechanismen en aandrijvingen te vermijden, dan wel te voorkomen dat speling wordt doorlopen.

Het vermijden van speling in mechanismen

Plaats van de volgveer

De functie van de volgveer is ervoor te zorgen dat de speling in het mechanisme onder geen enkele omstandigheid wordt doorlopen.

In figuur 23 is een eenvoudig nokmechanisme geschetst. De massa aan het einde van de hefboom is representatief voor de in werkelijkheid aangedreven massa's (inclusief de massa van de hefboom zelf). Een volgveer, die vanzelfsprekend de juiste kracht moet leveren om de rol de nok te laten volgen, moet op een verstandig gekozen plaats op de hefboom



Figuur 23

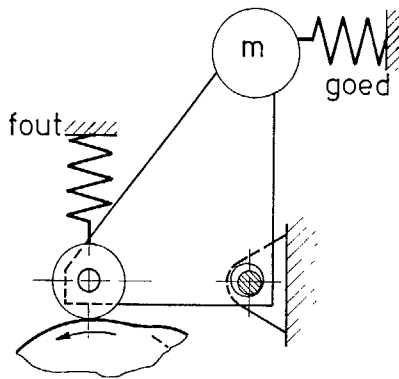
aangrijpen. In dit geval bijvoorbeeld juist *niet* boven de rol. Door het wisselend moment dat ontstaat doordat de versnelling van de massa m steeds van teken omkeert, zal namelijk de hefboom een beetje roteren om het momentaan vaste draaipunt dat de rol op de nok vormt. Als gevolg daarvan wordt de speling in het draaipunt aan de vaste wereld doorlopen.

Men kan de speling in het draaipunt echter steeds aan de ene (of aan de andere) kant gedrukt houden als men de volgveer zodanig plaatst dat het totale moment om de rol altijd positief of negatief blijft.

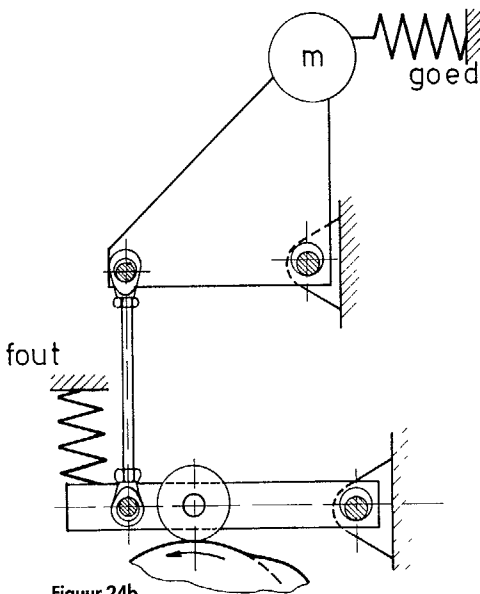
Het bruikbare gebied is in figuur 23 dubbel gearceerd

De veren zijn steeds als drukveren getekend. De getekende speling heeft betrekking op de veren 1, 2 en 4; voor 3 ligt hij andersom.

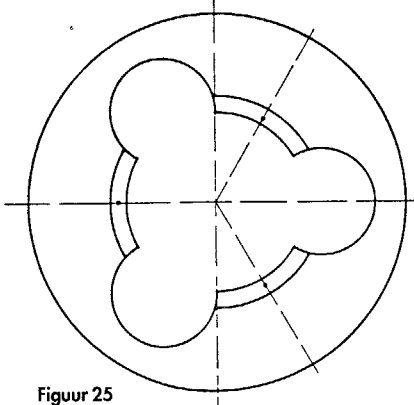
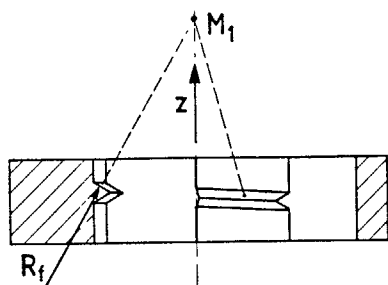
De figuren 24a en b laten iets ingewikkelder voorbeelden zien, met goede en ongewenste plaatsing van de volgveren. Wanneer het nokmechanisme uit een keten met meer schakels bestaat, moet de hele keten worden voorgespannen door de volgveer op de laatste schakel te plaatsen (figuur 24b).



Figuur 24a



Figuur 24b



Figuur 25

Spelingsvrije moeren

Een moer op een draadspil is wel het meest gebruikte middel om een lineaire verplaatsing te beheersen. De overbepaaldheid in de schroefdraad stelt echter grenzen aan de haalbare plaatsnauwkeurigheid en reproduceerbaarheid. Er zijn spoedvariaties rond de gemiddelde spoed, verschillen tussen gemiddelde spoed in spil en moer, verschillen in flankhoek, en al deze verschillen zijn weer een functie van de totale en locale belasting.

Een schroefdraadpassing moet top- en grondspeling hebben om te kunnen centreren op de draadflanken. Wanneer de spil draait is de zelfremmendheid opgeheven en bij afwezigheid van dwarskrachten of kantelkoppels tussen spil en moer wordt de centrering in bijvoorbeeld de x-richting verzorgd door de twee flanken op de y-as.

Bij een draadtophoek van 60° is deze centrering nog bestand tegen dwarskrachten tot 60% van de axiale belasting. Dwarskrachten van die grootte kan men meestal wel vermijden, maar ook interne dwarskrachten ten gevolge van een koppel in de moer mogen deze waarde niet bereiken. Op het samenstel 'spil/moer' mogen geen buigende momenten: de langskrachten moeten zuiver axiaal worden ingeleid en er mogen geen inklemmomenten worden uitgeoefend buiten het voor de schroeffunctie noodzakelijke torsiemoment.

Dat betekent twee vrije kantelhoeken, bijvoorbeeld een bolscharnierfunctie, overbrugd door een torsiestijve koppeling om de spil aan te drijven respectievelijk de moer tegen de wereld op rotatie te fixeren (Het aandrijven van de moer kan uiteraard ook, maar meestal heeft de spil een kleiner traagheidsmoment en dat is van voordeel bij toepassing in een servo-systeem).

De schroefdraadfunctie kan in principe 'statisch bepaald' worden gerealiseerd, in duidelijk analogie met de voor statisch

bepaalde aslagering op 'rollichamen' gebruikelijke constructie wijze.

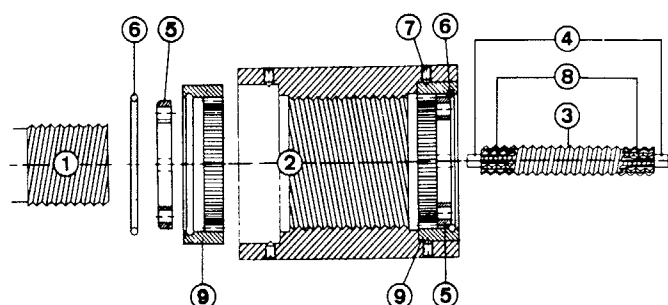
Men stelle zich voor een moer (met enkele of eventueel driegangige draad) en slechts drie korte stukken draad onder ca. 120°, zie figuur 25. Die fungeert op de flanken van de spindel draad praktisch als een boloplegging: Het punt M₁ van de moer is vastgelegd op de hartlijn van de spil (x₁, y₁, z₁).

Het is logisch om moer en borgmoer één geheel te laten zijn, in éénmaal te bewerken en door inzagingen van elasticiteit te voorzien. De borgmoer legt op oorspronkelijke wijze een punt M₂ in de spil vast. Zorgt men dat de x₂ en y₂ daarvan op de moer worden overgebracht, terwijl de z₂ ten opzichte van de z₁ de vering en voorspanning bepaalt, dan is de moer statisch bepaald op de spil uitgelijnd (x, y, z, φ en ψ ligt vast; zie figuur 27 voor de betekenis van deze grootheden), terwijl de rotatie θ extern wordt opgedrongen.

Van kogelomloopmoeren mag men niet verwachten dat zij spelingsvrij zijn. De constructie is namelijk vormgesloten, zonder een voorspanvoorziening.

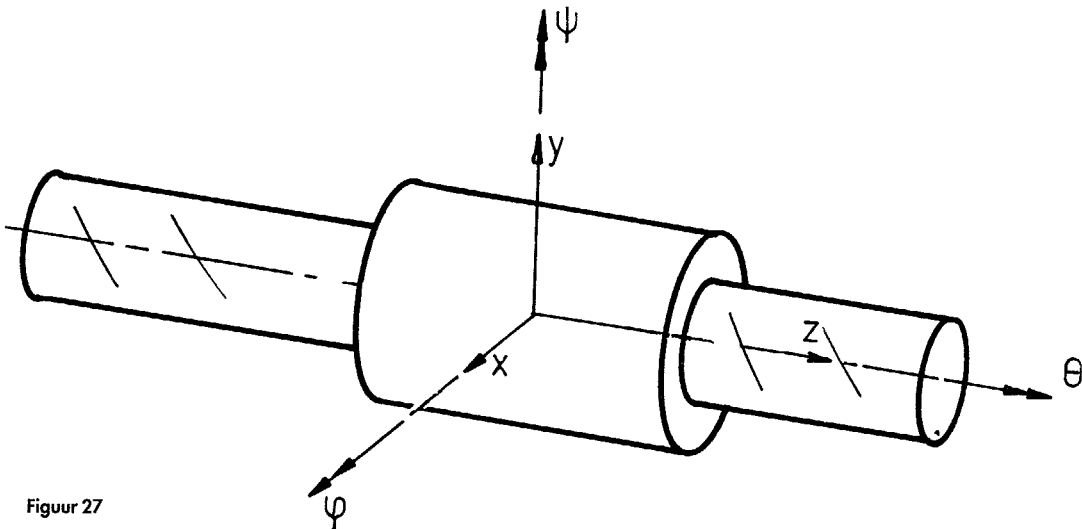
Hetzelfde geldt voor het op planetaire tandwielen gebaseerde principe van de transrol (SKF), zie figuur 26. Er is echter een groot voordeel van deze ten opzichte van de kogelomloopmoeren. In tegenstelling tot de daarbij optredende stuwving van de kogels, is er sprake van het afwikkelen van de rollichamen ten opzichte van elkaar. Weliswaar vindt geen zuivere afroling plaats, maar omdat de tandhoogten klein zijn ten opzichte van de diameters kenmerkt de transrol zich als een lichtlopende moer.

Om spelingsvrijheid te realiseren zal men, ook in het geval van kogelomloop- of transrolmoeren toch twee moeren, verend voorgespannen, moeten toepassen. Voorgespannen moerparen hebben ten opzichte van de spil slechts één graad



Figuur 26

Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (3)



Figuur 27

van vrijheid, namelijk het bewegen in de schroefrichting. Wordt de rotatie van de moer geblokkeerd, dan heeft de moer, bij een vrij roterende spil nog steeds één graad van vrijheid, namelijk het bewegen langs (de hartlijn van) de spil. De bedoeling is nu de positie van de aan te drijven slede in zijn bewegingsrichting voor te schrijven vanuit de axiale positie van de moer, veronderstellende dat alle andere vrijheidsgraden van de slede in zijn geleiding reeds zijn vastgelegd. Als men van de veronderstelling uitgaat dat de resterende vrijheidsgraad van de slede volkomen samenvalt met die van de moeren zou men moeren en slede star

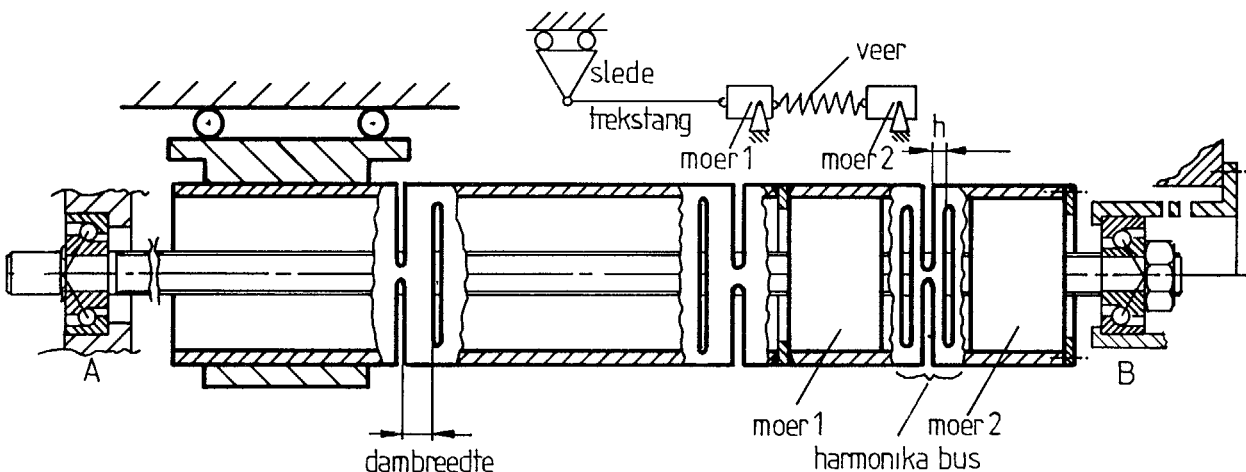
kunnen verbinden, hetgeen leidt tot een conflictsituatie in 4 vrijheidsgraden (x, y, φ en ψ ; zie figuur 27). Slechts twee vrijheidsgraden van de moer kunnen aan de slede worden ontleend, namelijk zijn axiale positie (z) en de rotatie om de hartlijn θ

De verbinding van de moer aan de slede in de z -richting moet bij voorkeur samenvallen met de hartlijn van de spil om te voorkomen dat de moer met een moment loodrecht op de hartlijn zou worden belast. Dat zou immers leiden tot vermindering van de stijfheid in z -richting en een grotere benodigde voor-

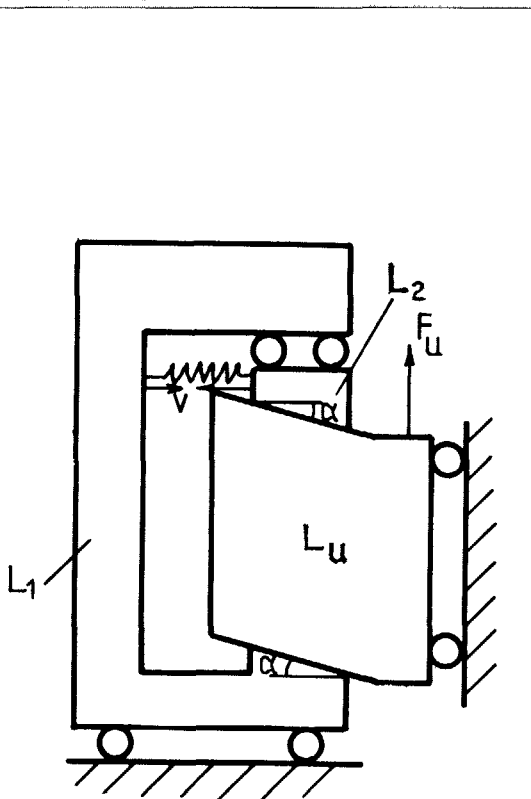
spanning.

Een holle stang (een pijp), met twee, door inzagingen verkregen, elastische cardankoppelingen conform figuur 28, vervult de functie van stijve trek-drukstang in z -richting (mits de dambreedte tussen de inzagingen voldoende groot is), die in het hart van de moer aangrijpt en bovendien de θ -rotatie van de moer vastlegt.

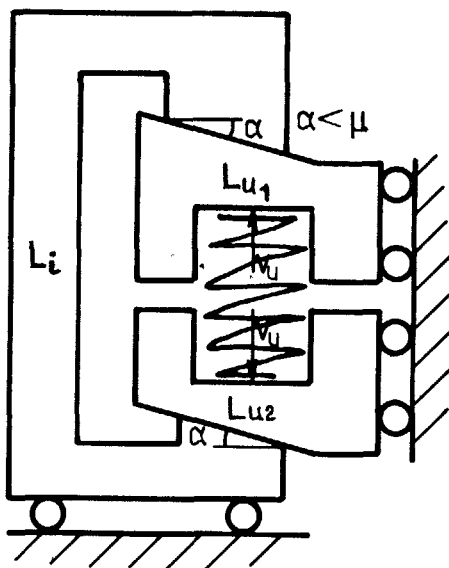
Het elastisch op elkaar voorspannen van de moeren geschiedt door middel van een deel van de pijp dat door inzagingen axiaal elastisch is gemaakt, zodanig dat een relatief kleine dambreedte (h) overblijft.



Figuur 28



Figuur 30



Figuur 31

Voorgespannen worm-overbrenging

Het probleem laat zich duidelijk maken aan de hand van figuur 30, een schematische weergave van twee voorgespannen zelfremmende overbrengingen.

De ingaande beweging is een horizontale translatie van lichaam L_1 . L_1 stelt voor de ingaande as van een zelfremmende overbrenging. L_2 stelt voor de ingaande as van een tweede zelfremmende overbrenging. De uitgaande assen van deze overbrengingen zijn star doorverbonden, gezamenlijk voorgesteld door lichaam L_u . (Dit is in tegenstelling tot figuur 29a waar de ingaande assen star waren doorverbonden en de uitgaande assen door middel van een torsie-veer op elkaar voorgespannen.) In figuur 30 is de voorspanning verkregen met een trekveer. De uitgaande beweging is een verticale translatie van L_u . De voorspankracht V van de trekveer is ruim voldoende om in een wrijvingsloze situatie bij maximaal verwachte belasting F_u aan de uitgang (L_u) krachtsluiting te waarborgen.

Een poging om door duwen van L_1 naar rechts L_u naar boven te verplaatsen leidt tot blokkeren. De normaalkracht op L_2 neemt toe.

Trekken aan L_1 naar links, terwijl de belasting op L_u nog naar boven staat, kan leiden tot verplaatsing van L_u naar beneden (gewenst) indien de voorspankracht van de trekveer $V > F_u \tan(\alpha + \mu)$. Daarin is μ de wrijvingshoek, die evenals de wighoek α (figuur 30), voor de bovenste en de onderste wig gelijk wordt verondersteld. Het gaat immers om 2 identieke overbrengingen op elkaar voorgespannen. Is $V < F_u \tan(\alpha + \mu)$, dan ontstaat speling.

Staat de belasting op L_u naar beneden en duwen we op L_1 naar rechts, dan treedt nog altijd blokkeren op. Trekken we L_1 naar links terwijl de belasting op L_u nog omlaag staat, dan daalt L_u terwijl de voorspanveer L_2 blijft aantrekken zodat geen speling ontstaat.

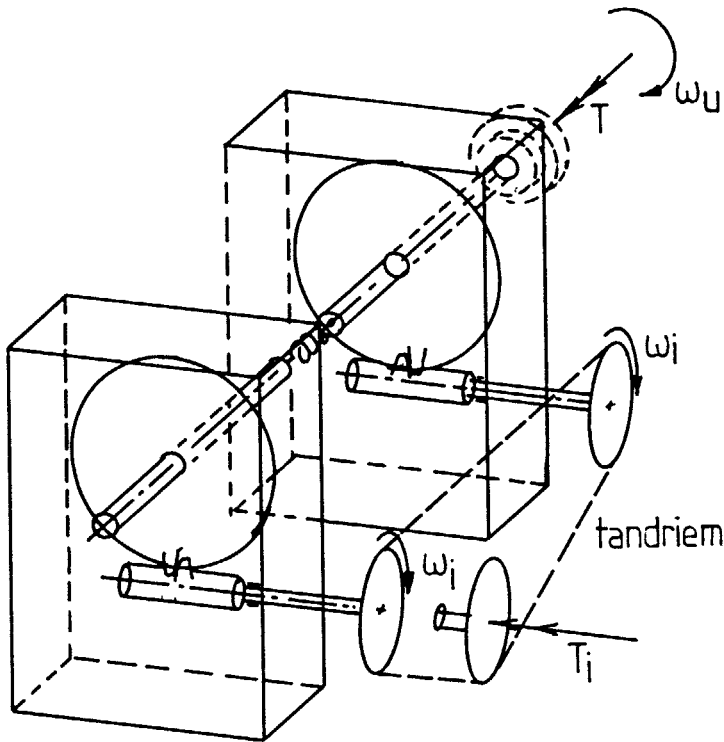
De conclusie is dat de constructie van figuur 30, met een voorspanelement aan de ingaande zijde, slechts goed functioneert als de uitwendige belasting een zodanige richting heeft, dat hij het aangedreven ingaande lichaam direct belast en als de richting van de uitgaande beweging samenvalt met die van de uitwendige belasting. Op deze wijze kan met een last laten dalen.

De uitvoering van figuur 29a kan onder veel meer omstandigheden werken zoals blijkt uit de schematische weergave in figuur 31.

Een voorspanveer, met een drukkracht V_u , is aangebracht aan de uitgaande zijde tussen de lichamen L_{u1} en L_{u2} . Aan de ingaande zijde zijn de beide ingaande lichamen gekoppeld tot één star lichaam (L_i).

Er is geen combinatie van uitwendige belasting en bewegingsrichting aan te wijzen die blokkering oplevert, anders dan die waarbij onvoldoende ingaande kracht wordt aangebracht om de wrijving te overwinnen. Maar dat geldt voor elke zelfremmende overbrenging. Men lette ook op de symmetrie van deze oplossing.

Constructies voor het nauwkeurig bewegen en positioneren (3)



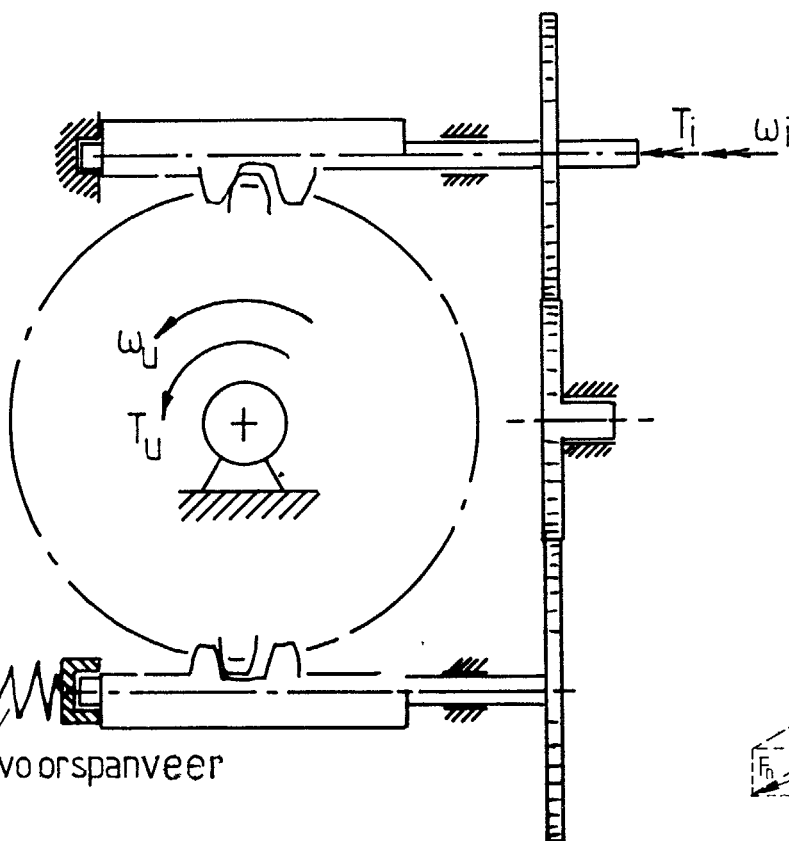
Figuur 29a

Het vermijden van speling in aandrijvingen

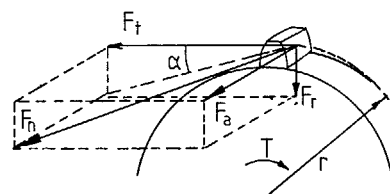
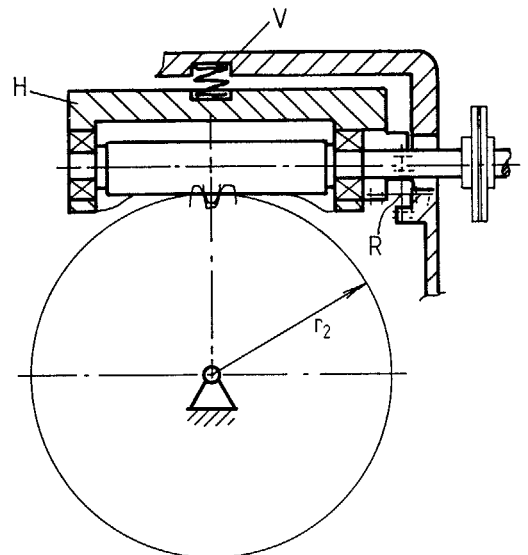
Voorgespannen zelfremmende overbrengingen

Wanneer men een lus van op elkaar voorgespannen aandrijfcomponenten wil maken en men wil dit realiseren in combinatie met zelfremmende overbrengingen, dan is extra voorzichtigheid geboden ten aanzien van de plaats waar men het slappe voorspan-element aanbrengt. Men dient namelijk de lus te sluiten met een elastisch voorspan-element uitsluitend in het gedeelte na de overbrenging, dus in de langzaam draaiende assen zoals in figuren 29a en b is aangegeven.

De overwegingen die tot deze stelling voeren worden behandeld in het kader op de vorige pagina

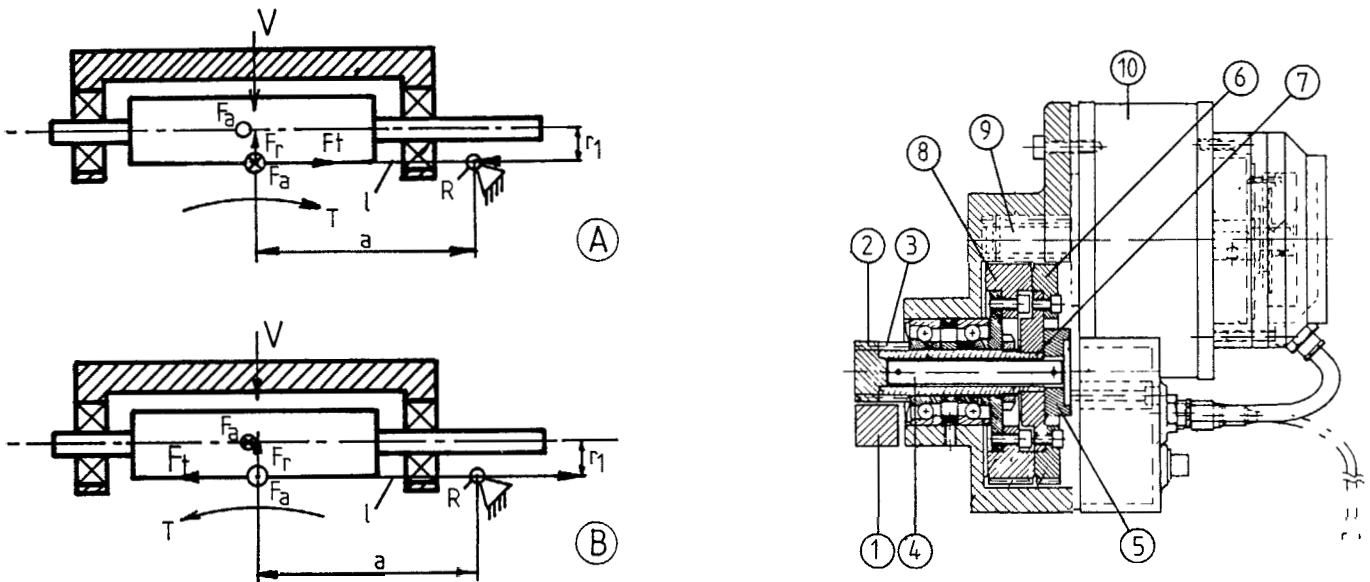


Figuur 29b



- F_n normaalkracht
- F_t tangentele kracht
- F_a axiale kracht
- T koppel uitgaande as

Figuur 32 a en b



Figuur 32 c

Voorgespannen worm-overbrenging

De oplossing van de voorafgaande figuur 29b is een manier om een compacte spelingsloze overbrenging te krijgen, als men de gelegenheid heeft zelf een wormoverbrenging te maken. Hierbij kan men de worm en het wormwiel op de, ten aanzien van de vertanding bedoelde wijze gebruiken namelijk op de juiste hartafstand. Een constructie die daaraan niet beantwoordt, doch wel leidt tot meer eenvoud, is die van de hier afgebeelde figuur 32a.

De worm, opgenomen in een apart huis (H), is draaibaar om punt R. Een veer (V) drukt de tanden van de worm met een zodanige kracht in die van het wormwiel, dat zelfs bij de maximale bedrijfsbelasting twee flanken van de worm in aanraking blijven met twee flanken van het wiel.

Gegeven het koppel (T) op de uitgaande as toont figuur 32b de belasting op het wormwiel.

Is P de pool op de straal r_2 dan geldt voor de radiale kracht op het wormwiel:

$$F_r = T/r_2 \times \tan \alpha.$$

Ter plaatse van P moet de worm met minstens deze kracht worden aangedrukt om tussen twee respectievelijke flankparen contact te houden.

Het scharnierpunt R van het huis H ligt, zie figuur 32c, op de werklijn van F_t (de kracht die van richting wisselt). De effectieve voorspankracht is daarmee, zoals

het behoort, onafhankelijk van de belastingsrichting.

Omdat de hoekverdraaiingen van de worm om R relatief klein zijn, is in R een elastische scharnier aangebracht. Volstaan zou kunnen worden met een bladveer langs de werklijn l en evenwijdig aan de wormwielas. Omdat de veer (met de kracht V) niet precies op de werklijn van F_r staat, is F_t niet de enige kracht door R. In figuur 32a is daarom een volledig kruisveerscharnier toegepast (draaipunt R). Enige overbepaaldheid is hierdoor niet geheel vermeden.

Tandwielen voorgespannen door middel van veren

Een voorbeeld van in een lus voorgespannen aandrijfelementen is de bekende oplossing waarbij twee op elkaar voorgespannen tandwielen in een gemeenschappelijk rondsel grijpen.

Een fraai voorbeeld toont figuur 33, waar, in een tweetrapsoverbrenging, één torsieveer de beide trappen voorspant. Deze overbrenging wordt toegepast in een cartesisch, programmeerbaar manipulatorsysteem waarin een servomotor een rondsel aandrijft, waarmee een slede langs een rondsel wordt voortbewogen. Men realiseert zich, dat het door te leiden koppel voor beide trappen gelijk is. Het koppel opgebracht door de torsieveer, dat het maximale bedrijfskoppel overschrijdt, voldoet dus voor de beide trappen.

Figuur 33,

- 1 heugel,
- 2 voorspanrondsel,
- 3 vaste rondsel met holle as,
- 4 bladveer,
- 5 voorspannschijf,
- 6 voorspantandwiel,
- 7 lagerbus (holle as van pos 3),
- 8 vaste tandwiel,
- 9 motorrondsel,
- 10 servomotor

'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. Onder redactionele leiding van Prof. dr. ir. M. P. Koster (TU-Twente) is door Ir. P. C. J. N. Rosielle en E. A. G. Reker (TU-Eindhoven) 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.