

IR. L. P. BOUWMAN

HET 'KRUIPEN' VAN
ROTERENDE CONSTRUCTIEDELENU.D.C. 621.233;
621.824;
624.824

Twee constructiedelen die samen roteren blijken zich ten opzichte van elkaar in axiale richting te kunnen verplaatsen zonder dat er op grond van het statische evenwicht van belastingen en reacties een kracht in die richting werkzaam is.

Een beschrijving wordt gegeven van enkele proeven die in het Stevin-laboratorium zijn verricht om een nader inzicht in dit verschijnsel te verkrijgen.

Aansluitend wordt een theoretische benadering, uitgewerkt door Prof. Dr. Ir. W. L. H. Schmid en medewerkers (T.H. Eindhoven), ter verklaring van het verschijnsel weergegeven.

Besloten wordt met een korte beschrijving van enkele in de praktijk geconstateerde gevallen van zulk 'kruipen' en de maatregelen die hiertegen zijn genomen.

0 Inleiding

Onder 'kruipen' als hier bedoeld wordt verstaan het zich ten opzichte van elkaar in axiale richting verplaatsen van twee constructiedelen die samen roteren, terwijl op grond van het statische evenwicht geen kracht in de kruiprichting voorhanden is.

Enkele jaren geleden werd voor het eerst specifiek aandacht geschonken aan het bedoelde verschijnsel doordat er moeilijkheden waren met de oplegconstructie van de balans van een ophaalbrug. Van dit type brug roteert de balans samen met de beide oplegassen in daartoe bestemde legers boven op de hameistijlen (zie doorsnede-fig. 1).

Afgezien van de windbelasting is deze constructie alleen aan verticaal gerichte uitwendige krachten onderworpen. Toch is gebleken dat bij verschillende van dergelijke bruggen de oplegassen zich in het gebruik allengs in axiale richting zijn gaan verplaatsen, waarmede gepaard ging het ontstaan van aanzienlijke vervormingen van de lijfplaat van de balanspriem en van het tussenschot dat het geborgde aseinde draagt. Zelfs is hierbij eens een asborg gebroken.

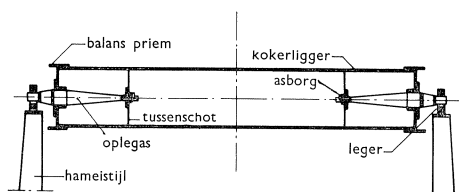


Fig. 1.

Indien middelen zijn aangebracht om deze verplaatsing te beletten dan blijkt tegen de kruiprichting in een kracht te moeten werken, die in bepaalde omstandigheden bijzonder groot kan zijn. In sommige gevallen beliep deze zelfs 30 à 40% van de verticale belasting van het leger.

Opmerkelijk is dat dit verschijnsel pas enkele jaren geleden zich voor het eerst zó duidelijk geopenbaard heeft, dat de gedachte post vatte dat er bij het ontwerpen en construeren terdege rekening mede gehouden moet worden. Vóór die tijd was het verschijnsel als zodanig ongetwijfeld vaak genoeg waargenomen. Een algemeen bekend voorbeeld is wel het omhoog kruipen van de pennen van deurscharnieren, wat op zichzelf echter nooit tot ernstige moeilijkheden leidt: zo'n scharnierpen wordt eenvoudig teruggetikt. Ook een verschoven rondsel wordt weer op zijn plaats teruggebracht, enz. Geval voor geval placht men derhalve de voor de hand liggende 'herstel'-maatregelen te treffen, zonder aan de oorzaak van het verschijnsel zelf aandacht te besteden of bij het construeren in geëigende maatregelen daartegen te voorzien.

Op grond van deze overwegingen is in het Stevin-laboratorium een onderzoek ingesteld naar de oorzaken die bij dit verschijnsel een rol spelen, naar hun invloed en naar de te treffen bestrijdingsmaatregelen. Hierbij is – zij het nog niet volledig – duidelijke overeenstemming gebleken tussen ontwikkelde theorie en praktijkuitkomsten, welke laatste in modelproeven konden worden nagebootst.

1 Beschrijving van enkele uitgevoerde proeven

Proef 1

In de klauwplaat van een draaibank is vastgezet een bus van blank assenstaal waarvan de holte twee einddraagvlakken heeft. Door deze bus is met enige speling ten opzichte van de draagvlakken een asje van hetzelfde staal aangebracht.

Het over een lengte l uitkragende asje wordt belast door een aan een kogelleger hangend gewicht P (fig. 2).

Bij draaiende klauwplaat roteert niet alleen de bus maar ook het daarin vrij beweegbare asje, daar de wrijving tussen bus en asje dit laatste doet afrollen over de omtrek van het gat. Door het geringe verschil in diameter van asje en gat draait het asje met een iets grotere hoeksnelheid dan die van de klauwplaat.

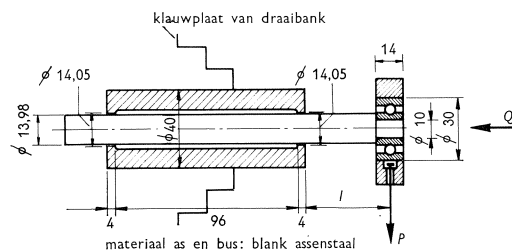


Fig. 2.

Bij deze proef zijn de bus met het asje:

- a. continu gewenteld;
- b. heen-en-weergedraaid over een hoek van 90° , aanvankelijk met de hand, later door middel van een kruk-drijfstaangmechanisme.

Gemeten zijn:

- a. de axiale verplaatsing v van het asje;
- b. de axiale kracht Q nodig om het verplaatsen van het asje te beletten.

De metingen zijn verricht bij rotatiesnelheden van de klauwplaat van 25 omw./min en 52 omw./min. Voor de uitkragende lengte l is 2,5 cm respectievelijk 5 cm gekozen en voor de belasting P aan het einde van de as 20,7 respectievelijk 40,7 kgf.

De bepaling van de factoren die de axiale verplaatsing v respectievelijk de axiale kracht Q beïnvloeden is bij deze proef in sterke mate bemoeilijkt door het onregelmatige karakter van de wrijvingscoëfficiënt langs de omtrek van bus en as, door de onrondheid van de as, en door de verandering van de wrijvingscoëfficiënt tijdens de beweging.

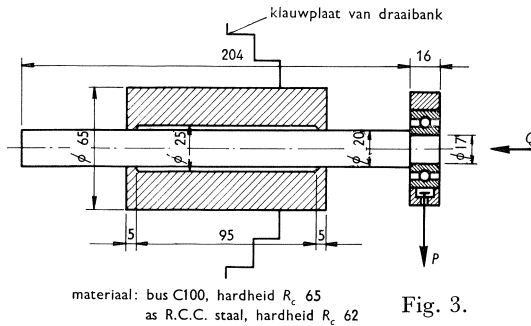
Bij de resultaten met deze proef verkregen is niettemin (onder enig voorbehoud) het volgende op te merken:

- a. De axiale verplaatsing van het asje geschiedt steeds in de richting van het met P belaste aseinde.
- b. De axiale verplaatsing v is binnen zekere grenzen niet afhankelijk van de rotatiesnelheid of van de wijze van draaien (continu of heen-en-weergaand).
- c. De axiale verplaatsingen zijn afhankelijk van de grootte van het uitwendige moment, echter niet lineair: bij een belasting $P = 20,7$ kgf blijkt voor $l = 2,5$ cm de axiale verplaatsing v ongeveer $2\frac{1}{3} \mu\text{m}/\text{omw.}$ te zijn, en voor $l = 5$ cm ongeveer $3 \mu\text{m}/\text{omw.}$
- d. De axiale verplaatsingen zijn ongeveer recht evenredig met de belasting P .
- e. De axiale kracht Q is niet afhankelijk van de rotatiesnelheid, echter wel van de wijze van draaien, namelijk bij oscillerend draaien groter dan bij continue rotatie. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in een sterkere toeneming van de wrijvingscoëfficiënt bij de heen-en-weergaande beweging. Bij de continue beweging verdraait het asje tengevolge van het afrollen ongeveer 1° per omwenteling ten opzichte van de bus. Bij de niet-continue beweging is de resulterende verdraaiing over elke heen-en-weergaande beweging nul; er treedt aldus waarschijnlijk plaatselijk een sterker uitwalsen van het materiaal van bus en as op, met als gevolg een grotere plaatselijke verruwing.
- f. De axiale kracht Q , nodig om het asje op zijn plaats te houden, kan bij heen-en-weerbewegen vrij groot zijn. Voor $P = 40,7$ kgf en $l = 5$ cm is als grootste waarde van Q gevonden 23 kgf, dus ongeveer 56% van P .

Proef 2

In verband met de grote spreiding in de waarnemingen bij proef 1, veroorzaakt door on rondheid, verschil in passing, variatie van de wrijvingscoëfficiënt en dergelijke, is de 2e proef uitgevoerd met een geslepen gehard stalen bus en dito assen.

Beproefd zijn twee van dergelijke asjes, met verschillende passingen ten opzichte van de bus, en wel asje I met een iets lichtere passing dan asje II (zie fig. 3 en 4).



materiaal: bus C100, hardheid R_c 65
as R.C.C. staal, hardheid R_c 62

Fig. 3.

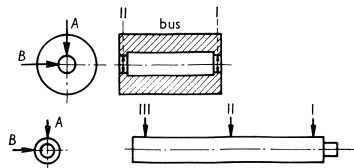


Fig. 4.

		A (mm)	B (mm)
Bus	I	20,206	20,202
	II	20,196	20,220
As I	I	20,176	20,176
	II	20,178	20,177
	III	20,180	20,180
As II	I	20,192	20,193
	II	20,192	20,195
	III	20,189	20,194

De bus met het asje zijn heen-en-weergedraaid over een hoek van 90° door middel van een kruk-drijfstaangmechanisme met een frequentie van 22 heen-en-weergaande bewegingen per minuut.

Gemeten zijn weer:

- de axiale verplaatsing v van het niet tegengehouden asje;
- de axiale kracht Q nodig om het verplaatsen van het asje te beletten.

De verwachting dat bij het geharde en geslepen materiaal de spreiding in de proefresultaten klein zou zijn is niet bewaarheid: ook hier weer grote spreiding in de uitkomsten, terwijl de as, ondanks zijn hoge hardheid, ter plaatse van de oplegvlakken sterk is vervuurd.

Door de uiteenlopende uitkomsten komt dan ook geen duidelijke invloed van de variatie van de uitkragende lengte l en de belasting P tot uiting. Van asje I met $P = 10$ kgf en $l = 5$ cm is als grootste axiale verplaatsing $1,55 \mu\text{m}$ per enkele oscillatie gemeten, overeenkomend met ca. $3 \mu\text{m}$ per omwenteling.

Van asje II (met de zwaardere passing) is de verplaatsing als functie van het aantal heen-en-weergaande bewegingen in grafiekvorm uitgezet in fig. 5.

Onder constante belasting $P = 62,5$ kgf, en met uitkragende lengte $l = 5$ cm aan het begin van de proef is deze lengte na 18000 heen-en-weergaande bewegingen aangegroeid tot $9,5$ cm.

Volgens de grafiek bedraagt de verplaatsing bij de eerste 1000 wisselingen gemiddeld ongeveer $0,6 \mu\text{m}$ per heen-en-weergaande beweging. Voor de laatste 1000 wisselingen is voor de axiale verplaatsing gemiddeld ongeveer $4 \mu\text{m}$ per heen-en-weergaande beweging gemeten.

Als grootste axiale kracht, nodig om asje I op zijn plaats te houden, is bij $P = 10 \text{ kgf}$ en $l = 4 \text{ cm}$ gevonden $0,74 \text{ kgf}$, dus $7,4\%$ van P .

Voor asje II (met de stijvere passing) is bij $P = 120 \text{ kgf}$ en $l = 5 \text{ cm}$ een axiale kracht gemeten van $41,5 \text{ kgf}$, dus ongeveer 35% van P .

Verdere proeven zullen nog moeten aantonen of het procentueel groter zijn van de axiale kracht een gevolg is van de stijvere passing of van de grotere radiale belasting P .

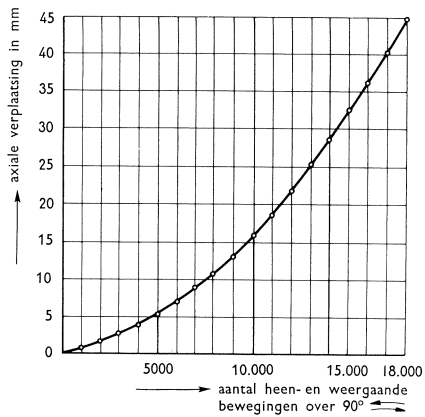


Fig. 5.

Proef 3

In de klauwplaat van de draaibank is nogmaals een bus met twee oplegvlakken bevestigd, welke vlakken nu echter geheel verschillend zijn uitgevoerd. Een oplegschot dat zich het dichtst bij de belasting P bevindt wordt gevormd door een $1,8 \text{ mm}$ dikke, slappe, perspex plaat, ten einde met behulp van de moiré-methode de vervormingen van dit schot te kunnen onderzoeken. De andere oplegging wordt gevormd door een zelfinstellend kogelleger waarin opgenomen een "ball bushing" (kogelleger voor axiale beweging), zodat door dit oplegvlak geen momenten of axiale krachten op de as kunnen worden uitgeoefend, maar uitsluitend radiaal gerichte krachten. Aldus is de mogelijkheid geboden de invloed na te gaan van slechts één oplegvlak nl. dat gevormd door de perspex plaat.

Fig. 6 geeft een doorsnede van de bus met de as en toebehoren.

Bij deze proef is voor de belasting resp. de uitkragende lengte gekozen: $P = 25 \text{ kgf}$, $L = 15 \text{ cm}$.

Van het perspex oplegschot zijn met behulp van de moiré-methode de vervormingen bepaald, veroorzaakt door:

- de belasting P (in rust);
- de belasting P en 20 omwentelingen rechtsom draaien;
- de belasting P en 20 omwentelingen linksom draaien.

Uit de verkregen moiré-foto's zijn de verplaatsingen in axiale richting van de perspex plaat ter plaatse van de omtrek van de as afgeleid, en in fig. 7 voor de drie gevallen (a, b, c) ten opzichte van punt VII als referentiepunt uitgezet.

Uit fig. 7a blijkt dat de axiale verplaatsing van het perspex oplegschot over

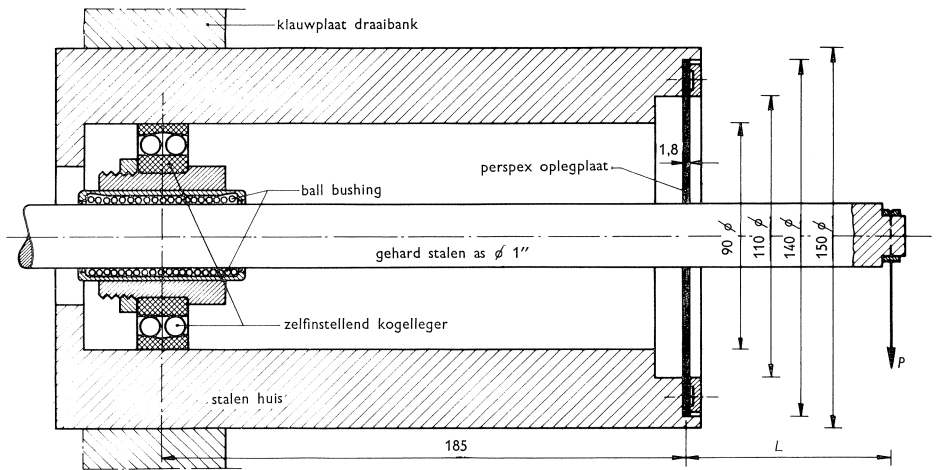


Fig. 6.

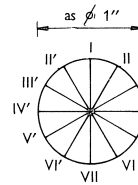
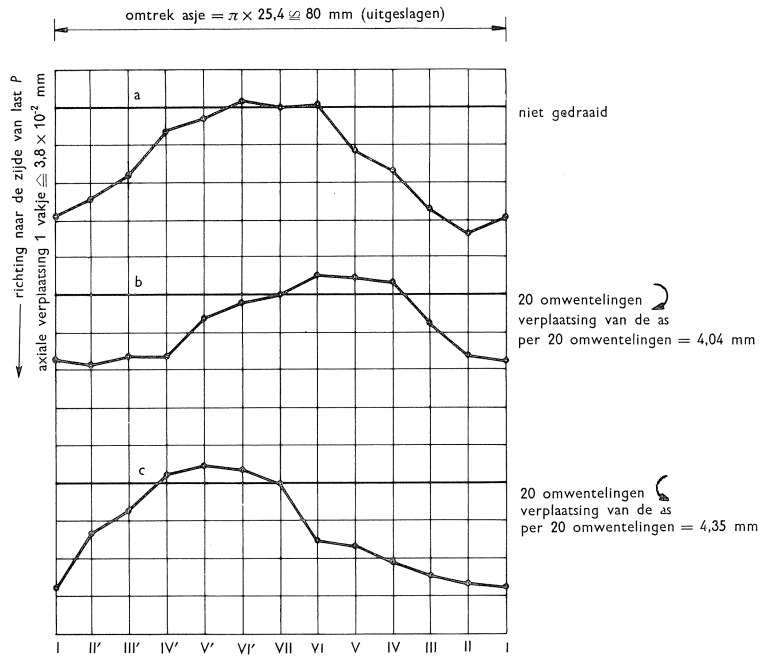


Fig. 7.



de omtrek van de as, indien alleen de belasting P werkt en de as niet draait, nagenoeg symmetrisch is ten opzichte van punt VII (het laagste punt van de asomtrek).

Uit fig. 7b en fig. 7c blijkt echter dat als de bus, met belast aseinde, gerooteerd wordt een axiale verplaatsing van het perspex schot ontstaat die asymmetrisch is ten opzichte van punt VII.

Ter plaatse van het contactvlak stelt zich de perspex plaat enigszins schuin op de as.

Bij vergelijking van de figuren 7b en 7c blijkt dat de afwijkingen van de zuiver dwarse stand van het perspex oplegschot ter plaatse van het punt VII onderling tegengesteld zijn. Men constateert derhalve dat door het keren van de rotatierichting de helling van het perspex schot ten opzichte van de as mede omkeert.

Hierin ligt waarschijnlijk de verklaring voor het feit dat de as, onafhankelijk van de draairichting, steeds een axiale verplaatsing vertoont in de richting naar de last P .

Ter toelichting diene het volgende (zie fig. 8).

Als A—B en C—D b.v. de contactbogen voorstellen tussen schot en as dan zal bij linksom draaien een punt van de as bijvoorbeeld voor het eerst dragend contact met het schot krijgen bij A. Indien ter plaatse van het contactvlak geen glijden tussen schot en as optreedt zal dit punt van de as door het

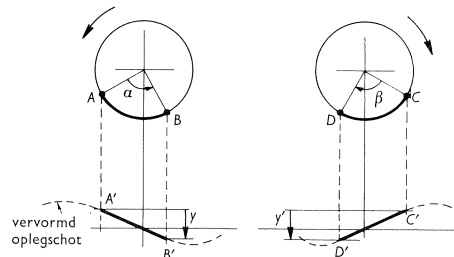


Fig. 8.

niet meer zuiver „dwars” staande schot over de projectie A'—B' meegenomen worden, waarna het contact van dit punt met het schot bij B weer verloren gaat. Bij de wenteling over een hoek α is de as zodoende over de afstand y in axiale richting verplaatst. Voor rechtsom draaien geldt eenzelfde beschouwing: een punt van de as zal dan bij C voor het eerst contact met het schot krijgen en bij D dit contact verliezen. Het beschouwde punt heeft zich hierbij over de projectie C'—D' verplaatst, en gedurende de wenteling over een hoek β is de as dienovereenkomstig over een afstand y' verplaatst, en wel in *dezelfde* richting als bij het voorafgaande andersom draaien.

Proef 4

Bij deze proef is een einde van de as in de klauwplaat gespannen, terwijl een bus (vervaardigd van messing) met schuifpassing vrijdragend op de as is aangebracht.

De belasting P wordt uitsluitend door de as gedragen, de bus blijft hier buiten en zal eventueel slechts onderworpen zijn aan secundaire krachten en momenten voortvloeiende uit de kromming van de belaste as. Om beschadigingen van de as te voorkomen en tevens ter betere inklemming is het betreffende aseinde door tussenkomst van een stalen busje in de klauwplaat vastgezet.

Fig. 9 geeft deze opstelling weer.

Hoewel de messing bus in wezen alleen onder invloed staat van zijn eigen gewicht, is toch een axiaal verplaatsen van deze bus ten opzichte van de draaiende as opgetreden.

Van dit ogenschijnlijk vreemde gedrag kan als verklaring gelden dat door de kromming van de as onder invloed van de belasting secundaire krachtweringen op de bus ontstaan. Deze hangen samen met de kromming van de as, de stijfheid van de bus met zijn oplegvlakken, en van de passing ter plaatse van deze oplegvlakken.

Denkt men zich op een as twee dunne schijfjes op enige afstand van elkaar aangebracht dan zullen, als de as gebogen wordt, deze schijfjes ongehinderd hun stand loodrecht op de as behouden (zie fig. 10a).

Bij rotatie van de as wentelen de schijfjes dan in hetzelfde vlak als de dwarsdoorsnede van de as ter plaatse.

Zijn deze schijfjes echter door een stijf element onderling verbonden, wat bij een bus als hier bedoeld het geval is, dan zullen tijdens draaiing van de as op de schijfjes krachten worden uitgeoefend, zodat zij (hier de oplegvlakken) een scheve stand ten opzichte van de as verkrijgen (fig. 10b).

Bij rotatie wentelen de schijfjes dan in een ander vlak dan de doorsnede van de as ter plaatse. Naast de belasting door het eigen gewicht van de bus treedt dientengevolge tussen as en bus nóg een krachtenspel op. Bij rotatie kunnen deze gezamenlijke belastingen een axiale verplaatsing tot gevolg hebben: de losse bus verschuift, al meewentelend, over de (gekromde) as.

In deze proef is getracht de kruiprichting van de bus te bepalen, enerzijds met de pasrand A aan de zijde van de as-inklemming, anderzijds met pasrand B in die positie. De pasrand A had een stijvere passing dan B.

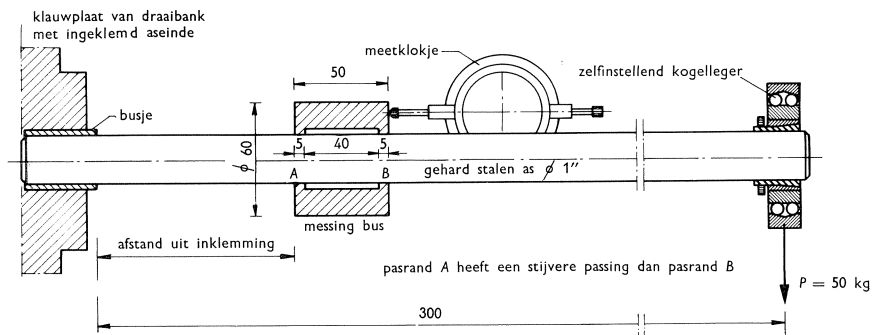


Fig. 9.

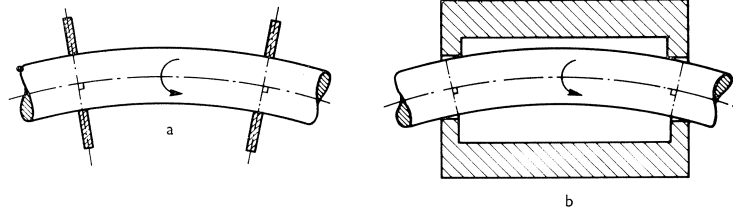


Fig. 10.

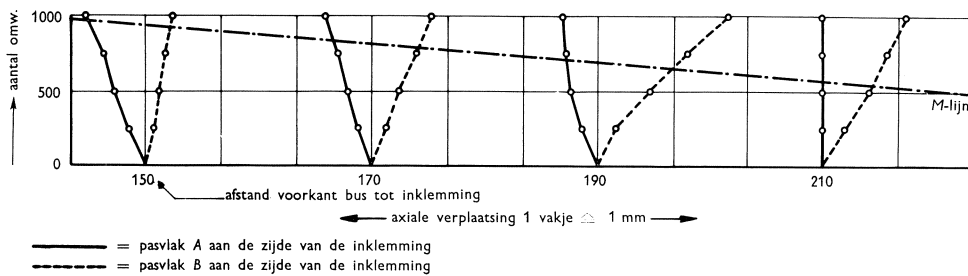


Fig. 11.

In fig. 11 zijn de gemeten verplaatsingen in grafiekvorm voorgesteld. Als grootste waarde van de axiale verplaatsing is hier ongeveer $1,8 \mu\text{m}$ per omwenteling waargenomen. Bij gekeerde stand van de bus verliep de axiale verplaatsing in omgekeerde zin.

Van deze uitkomsten is de volgende verklaring te geven (zie fig. 12).

Zij G het eigen gewicht van de bus. Wanneer de passing ter plaatse van pasrand A stijver is dan die bij pasrand B, dan kunnen bijvoorbeeld de krachten U , V en W op de bus ontstaan, waarbij

$$U = V + G + W, \text{ zodat } U > V$$

Hier is nu dezelfde situatie aanwezig als bij de proeven 1 en 2, waarbij de bus in de klauwplaat was gespannen, het oplegvlak aan de zijde van P aan de onderzijde, en het andere oplegvlak aan de bovenzijde was belast.

De as werd toen door de werking der beide oplegvlakken naar buiten gedreven (zie ook de theoretische verklaring in 2).

Daar in proef 4 de as onverplaatsbaar is zal de bus naar links, dus naar de inklemming toe, bewegen.

Keren we de bus om, hetgeen we in gedachten gemakshalve kunnen doen door ons de as-inklemming aan het andere uiteinde voor te stellen, dan blijven de krachten als boven getekend en zal de bus van het nu ingeklemde aseinde af bewegen.

De proef heeft aangetoond dat, ook bij geringe verschillen in passing der beide oplegvlakken, de kruiprichting zich kan wijzigen. Het zal derhalve, in verband met toleranties, voor een dergelijk geval niet goed mogelijk zijn in de praktijk de kruiprichting te voorspellen, tenzij men één passing bewust ruimer maakt.

Dat het kreupeffect hierbij soms verrassend kan uitwerken is bij deze proef nog eens duidelijk gebleken. Zoals eerder vermeld werd, was de as door middel van een stalen busje in de klauwplaat gespannen. Bij het meten van de axiale

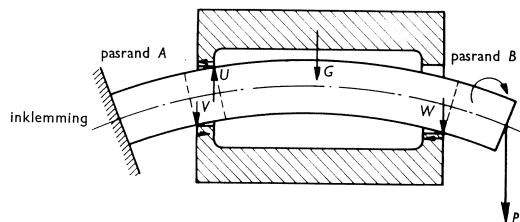


Fig. 12.

verplaatsingen van de messing bus met zijn twee pasranden deden zich op een gegeven moment zeer vreemde resultaten voor. Bij nader onderzoek bleek toen dat de as zelf uit het busje, dat hem vastklemde in de klauwplaat, was gaan kruipen.

Proef 5

Beproefd is een model met slechts één oplegvlak, waarbij het mogelijk was dit excentrisch te belasten. Het stalen model is voorzien van vier V-groeven, met in één ervan een V-snaar waaraan een gewicht G hangt, zie fig. 13. In het model is een verwisselbaar draagvlak aangebracht, zodat de invloed van de graad van passing nagegaan is kunnen worden (zie doorsnede in fig. 14).

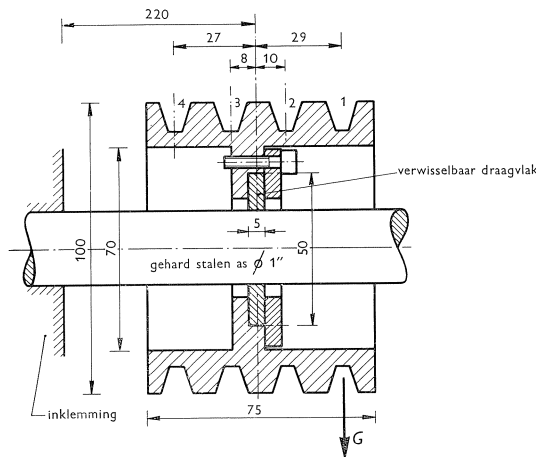


Fig. 13.

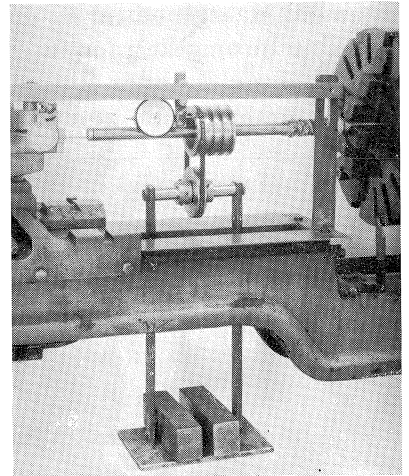


Fig. 14.

Het oplegvlak, op een afstand van 220 mm uit de inklemming op de as aangebracht, wordt belast door een gewicht $G = 22,8$ kgf. Voor de passing van de verwisselbare draagvlakken is een zware schuifpassing (draagvlak A) respectievelijk een zeer lichte schuifpassing (draagvlak D) gekozen. De gemeten axiale verplaatsingen van het model na volbrachte aantallen omwentelingen zijn grafisch in fig. 15 weergegeven.

Hieruit is te zien dat het model zich naar links verplaatst als de belasting aan de rechterzijde van het oplegvlak aangebracht wordt (groeven 1 en 2).

In fig. 16 zijn de krachten aangegeven die volgens het statische evenwicht op het model werken:

$$R_b = (b/a) \cdot R_0; \quad \text{daar } b > a \text{ is dus } R_b > R_0, \text{ terwijl } R_b - R_0 = G$$

Bij de bus van de proeven 1 en 2 is bij het draagvlak dat het verst van de belasting G ligt ook aan de bovenzijde van de as de oplegdruk het grootst.

Bovendien hebben as en bus daar een scheve stand ten opzichte van elkaar in dezelfde richting zoals bij dit model. Bij de proeven 1 en 2 werd de as door

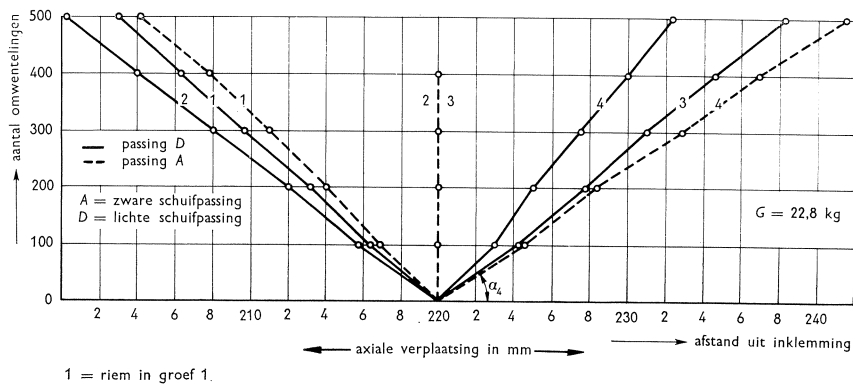


Fig. 15.

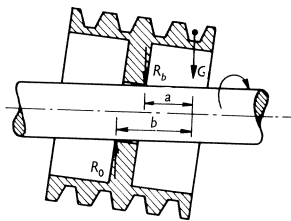


Fig. 16.

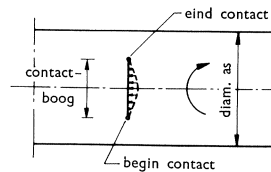


Fig. 17.

het genoemde oplegvlak naar rechts geduwd; in het onderhavige geval beweegt het *model* zich naar links, hetgeen dus met elkaar in overeenstemming is.

Vooruitlopend op de theoretische verklaring zij hier reeds beredeneerd in welke richting door het bovenste contactvlak een axiale kracht op het model wordt uitgeoefend.

In verband met de door excentrische belasting bewerkte „scheve” stand zou een deeltje van het model bij het roteren een baan willen volgen zoals in fig. 17 met een streeplijn is aangegeven. Stel dat ter plaatse van het contactvlak geen glijden optreedt, dan zal bij het begin van de contactboog een deeltje van de as een deeltje van het model vastgrijpen en dit punt genoopt worden de wenteling van de as te volgen. In dit verloop worden door de as op het model krachtjes naar *links* uitgeoefend, resulterend in een verplaatsing van het model naar links. Een meer diepgaande theoretische verklaring volgt in 2.

Op dezelfde wijze is te verklaren dat ter plaatse van het beneden-contactvlak de as een kracht naar *rechts* op het model uitoefent. Beide gelijktijdig optredende krachten werken elkaar tegen; de grootste oplegkracht zal echter de overhand hebben, mede in verband met de grotere lengte van de contactboog.

Uit de grafiek (fig. 15) blijkt verder dat bij geringere excentriciteit (riem in groef 2) een grotere verplaatsingssnelheid optreedt, ondanks het constante verschil (G) van de twee oplegkrachten. Hieruit volgt dat niet alleen het verschil van de oplegkrachten van belang is voor de snelheid van de axiale verplaatsing maar ook hun absolute grootte. Bij een constant verschil (hier = G) van de oplegkrachten treedt bij kleine waarden hiervan een grotere snelheid van verplaatsing op dan bij grotere oplegkrachten.

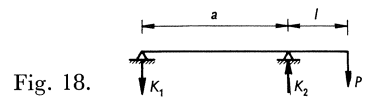
2 Theoretische verklaring van het ,kruipen' van roterende constructiedelen

Voor de aan het kruipverschijnsel ten grondslag te leggen theorie kan dank zij de welwillende medewerking van Prof. Dr. Ir. W. L. H. SCHMID, Ir. C. P. M. v. D. BUYS en Drs. E. A. DIJKSMAN (allen T.H. Eindhoven), die daarover een analyse ter verklaring uitwerkten, in dit hoofdstuk het volgende worden vermeld. Hierdoor hebben in de eerste plaats de oorzaken van het ontstaan, de richting en de grootte van de axiale beweging als waargenomen bij proef 1 een theoretische basis gevonden.

Volgens het schema (fig. 18) zijn de steunpuntsreacties:

$$K_1 = \frac{Pl}{a}$$

$$K_2 = \frac{P(l+a)}{a}$$



Ter plaatse van de steunpunten zijn de hellingshoeken met de horizontaal:

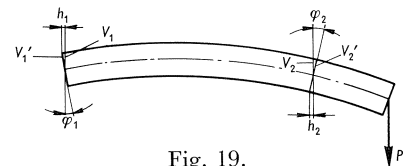
$$\varphi_1 = \frac{P \cdot al}{6EI} \quad \text{resp.} \quad \varphi_2 = \frac{P \cdot al}{3EI}$$

Bij het waargenomen stationair kruipen in axiale richting naar de zijde van P over een kleine afstand s per volle omwenteling is de spoedhoek γ van de schroeflijnen waarlangs punten van het buitenoppervlak van de as (straal= r) zich verplaatsen:

$$\gamma = \frac{s}{2\pi r} \quad (\text{voor kleine hoeken is } \gamma \approx \text{tg } \gamma)$$

De as behoudt steeds de in fig. 19 geschetste vorm in aanzicht.

Zonder andere uitwendige krachten dan de verticale steunpuntsreacties bewegen alle deeltjes van de wentelende as zich in vlakken loodrecht op zijn doorgebogen hartlijn, dus bij de steunpunten in de vlakken V_1' en V_2' .



De vlakken V_1 en V_2 zijn verticale vlakken door de snijpunten van de neutrale lijn van de gebogen as met de vlakken V_1' resp. V_2' .

De as is ter plaatse van V_1 aan de bovenkant, bij V_2 aan de onderkant over een beperkte booglengte (b) in aanraking met de wand van het gat in de steunplaat. Tussen as en gat is nl. een kleine speling aanwezig. Hier wordt aangenomen dat de wrijving zo groot is dat de oppervlakken van as en gat niet in asrichting langs elkaar verschuiven. Indien de as niet kruipt worden over het gehele dragende oppervlak de deeltjes van de draaiende as iets naar links (van P af) bewogen. Hierbij behoren wrijvingskrachten die op de as naar rechts

werken, bij het ene zowel als het andere steunpunt, hoe de draairichting ook zij.

Zijn er geen afzonderlijke, naar links gerichte uitwendige krachten werkzaam, dan zal de as onder invloed van de resultante van de vorenbedoelde wrijvingskrachten naar rechts bewegen met zodanige snelheid, dat op de beide contactvlakken samen juist evenveel weerstand naar links als naar rechts werkt.

Verwaarloosd wordt hierbij dat even vóórdat het contact wordt verbroken de wrijving niet groot genoeg kan zijn om een deformatie te veroorzaken ter grootte van de daar te overbruggen afstand:

$$b \cdot \gamma = \frac{b \cdot s}{2\pi r},$$

waarin b = booglengte en γ = spoedhoek van de schroeflijn waarlangs de punten van het buitenoppervlak van de as zich verplaatsen.

Kort voor het einde van de contactbooglengte b glijdt het asoppervlak dus iets naar rechts (naar P toe) onder een snel afnemende wrijvingskracht. Bij verwaarlozing van dit laatste punt wordt dus een iets lagere kruipsnelheid gevonden dan in werkelijkheid het geval zal zijn.

Een andere – hier niet verder uitgewerkte – mogelijkheid is dat bij K_1 de contactdruk te klein is om de wrijvingskrachten te laten ontstaan die bij de axiale verschuivingen in het materiaal behoren, terwijl de contactdruk bij K_2 wel voldoende is om daar glijding tegen te houden. Dan is er bij K_1 het heenen-weerglijden, dat hier buiten beschouwing gelaten wordt, terwijl bij K_2 de situatie optreedt die hier is behandeld. Nu ontstaat welbeschouwd bij K_1 een kortere contactboog dan bij K_2 , en bij K_1 meer relatieve uitbuiging der asdeeltjes naar links, bij K_2 meer naar rechts. Gezien de vele punten van onzekerheid, naast de reeds genoemde en wel in het bijzonder de grootte der speling in beide gaten, wordt hier een benadering ingevoerd waarbij K_1 en K_2 geacht worden te rusten op één contactvlak bij een scheefstandshoek ter grootte:

$$\varphi_m = \frac{K_1 \varphi_1 + K_2 \varphi_2}{K_1 + K_2}$$

met een contactbooglengte b_m . Gezocht worden nu de spoedhoek γ en de spoed s bij zodanig kruipen, dat op dit ene contactvlak evenwicht van axiaal gerichte wrijvingskrachten bestaat.

Aangenomen wordt dat deze wrijvingskrachten recht evenredig zijn met de relatieve verplaatsing der punten uit hun evenwichtsstand, en niet worden beïnvloed door verplaatsingen van naastgelegen punten.

Om dit aanschouwelijk te maken wordt het oplegvlak opgebouwd gedacht uit radiaal gerichte en in een stijve bus ingeklemde naaldjes. Worden de naaldjes door de wrijvingskrachten beneden de evenredigheidsgrens belast dan zijn de verplaatsingen evenredig met de krachten die op de naaldjes worden uitgeoefend. In tegenstelling tot een ononderbroken oplegvlak kan verder zo'n

naaldje vrij vervormen zonder dat beïnvloeding van naastliggende punten optreedt (fig. 20).

Het beeld wordt nu dat van een enkel vlak V' onder een hoek φ_m met een verticaal vlak V , zoals nader in fig. 21 voorgesteld.

Bij niet zeer ruime contactboog zal de totale te

overbruggen verschuiving, dus in dit geval de maximum uitbuiging van een naaldje, als de as niet zou verplaatsen in axiale richting, slechts $h_m - h_0$ bedragen.

De in fig. 21 weergegeven uitslag van het cilindervlak over de onderhelft van de as geeft het verloop aan van de uitwijkingen en dus van de krachten op de naaldjes uitgeoefend voor het geval dat de as zich *niet in de axiale richting verplaatst*.

Op de naaldjes werkt derhalve een kracht naar links en dus op de as een kracht naar rechts, waardoor een axiale verplaatsing van de as naar rechts zal optreden.

Ingevolge een axiale verplaatsing van de as naar rechts over een afstand s per omwenteling zullen echter de naaldjes ter plaatse van het contactvlak uitwijkingen krijgen, zoals in fig. 22 in uitslag voorgesteld.

Bij doorbuigen en axiaal verplaatsen van de as moeten deze gelijktijdig optredende uitwijkingen gesuperponeerd worden en wordt het resultaat aan uitwijkingen van de naaldjes zoals beneden in fig. 22 getekend.

Onder de gemaakte veronderstellingen is er evenwicht wanneer de resultante van de krachtjes naar links gelijk is aan die van de krachtjes naar rechts: de oppervlakken van de vlakjes met de pijltjes moeten dus onderling gelijk zijn. Dit is het geval wanneer het oppervlak van het kapje met basis b gelijk is aan dat van de driehoek met dezelfde basis.

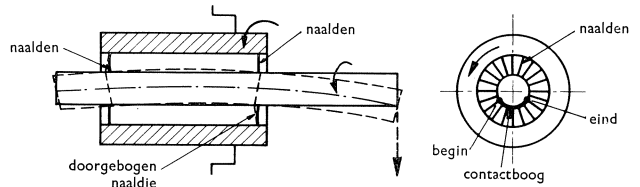


Fig. 20.

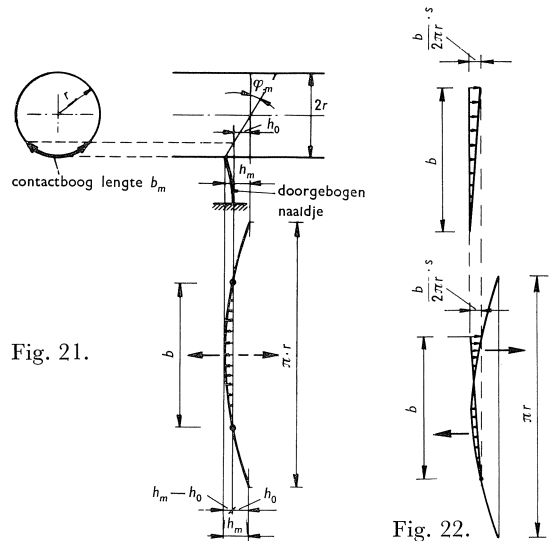


Fig. 21.

Fig. 22.

Uit de gelijkstelling van deze twee oppervlakken volgt de spoed s waarmee het asje zich in de stationaire toestand in axiale richting zal verplaatsen. Hier- toe diene de volgende afleiding (zie fig. 23):

De sinuslijn wordt weergegeven door

$$y = h_m \sin \frac{x}{r}, \text{ terwijl } x_0 = \frac{\pi}{2} r - \frac{b}{2}.$$

Dan is

$$y_0 = h_m \cos \frac{b}{2r}$$

en volgt het oppervlak van het kapje uit:

$$\int_{\frac{\pi r - b}{2}}^{\frac{\pi r + b}{2}} h_m \sin \frac{x}{r} dx - y_0 b = 2h_m r \sin \frac{b}{2r} - h_m b \cos \frac{b}{2r}$$

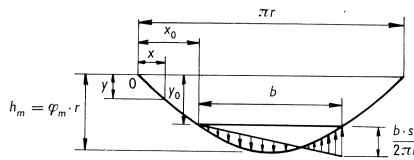


Fig. 23.

Voor kleine waarden van $b/2r$ kan als benadering worden volstaan met de eerste 2 termen der reeksontwikkeling, voor een sinus- respectievelijk cosinusfunctie, wat leidt tot:

$$\text{opp. kapje} \approx \frac{1}{12} h_m \cdot \frac{b^3}{r^2}$$

Het oppervlak van de driehoek is

$$\frac{1}{2} b \cdot \frac{bs}{2\pi r} = \frac{b^2 s}{4\pi r}$$

Bij een zodanig axiaal verplaatsen dat evenwicht van axiale krachten aanwezig is moet nu:

$$\frac{1}{12} h\pi \frac{b^3}{r^2} = \frac{b^2 s}{4\pi r}$$

Hieruit volgt als spoed s van de axiale verplaatsing

$$s = \frac{\pi \cdot b h_m}{3r}$$

3 In de praktijk geconstateerde gevallen van axiale beweging bij constructiedelen welke samen roteren

3.1 Axiale beweging van de assen der oplegging van de balans op de hameistijlen bij een ophaalbrug

Fig. 24 toont in langsdoorsnede de kokervormige koppelbalk tussen balanspriemen van I-doorsnede, waarmee de balans door middel van aseinden in legers op de hameistijlen is opgelegd. Bij het openen en sluiten van de brug

wentelen deze assen met de balans mee; dit is dus typisch een geval waarbij twee constructiedelen *samen* roteren.

Ten behoeve van eenvoudige montage is de constructie zodanig uitgevoerd dat de as van terzijde ingebracht kan worden, waarna alleen ter plaatse van het tussenschot het betreffende aseinde door een moer of asplaat geborgd wordt.

Hoewel uitwendig alleen *radiaal* gerichte krachten op hen werken (afgezien van de windbelasting), zijn bij deze assen toch duidelijke *axiale* verplaatsingen in de richting naar de hameistijlen waargenomen.

Deze verplaatsingen gingen gepaard met grote vervormingen van het lijf van de balanspriem en van het tussenschot.

Bij een inspectie bleek zelfs dat het tussenschot ter plaatse van de as ongeveer 15 mm doorgebogen was. De dikte van het schot was 30 mm, zodat een en ander erop wees dat hier grote axiale krachten in het spel waren.

Het was dan ook noodzakelijk voorzieningen te treffen om deze krachten voortaan zonder hinderlijke of gevaarlijke vervormingen te kunnen opnemen. De brug moest hiertoe gedemonteerd worden, bij welke gelegenheid enige metingen aan de oplegschotten konden worden verricht ter bepaling van de grootte van de axiale kracht die deze schotten vervormd had.

Deze metingen zijn beschreven in rapport 6-60-2-KA-2 van het Stevin-laboratorium.

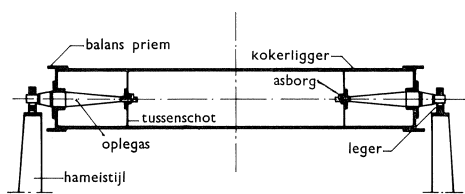


Fig. 24.

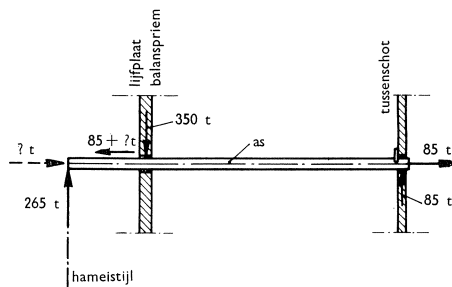


Fig. 25.

Hier worde volstaan met het weergeven van het krachtenschema van de as dat op grond van deze metingen kon worden afgeleid (fig. 25).

De verticale krachten zijn ontleend aan de ontwerpgegevens en berekening, de horizontale kracht is uitkomst van de evengenoemde metingen. De axiale verplaatsing van de hameistijl was niet bekend, zodat het ook niet mogelijk was de axiale kracht te bepalen die door de hameistijl op de as uitgeoefend werd. Daar de hameistijl echter relatief vrij slap verondersteld mag worden, zou deze kracht verwaarloosd kunnen worden, en dit leidt dan tot de conclusie dat de axiale kracht overeenkomt met ca. 32% van de oplegkracht ter plaatse van de hameistijl.

Het is duidelijk dat bij het ontwerpen van dergelijke constructies terdege met het optreden van een axiale kracht rekening gehouden dient te worden.

Voor een constructie als de onderhavige, waarbij de richting van de axiale beweging bekend is, levert dit geen bijzondere constructieve bezwaren op.

Voorziet men de as van één vaste rand, dan is dit voldoende om de axiale verplaatsing van de as te beletten.

Om ten aanzien van de kruiprichting geen enkel risico te nemen is de nieuwe as in dit geval tegen axiale verplaatsing in *beide* richtingen geborgd door hem van *twee* vaste randen (één geheel met de as) te voorzien. Voor het opsluiten van de oplegstoel tussen de beide vaste randen zijn ter plaatse van de kleinste rand twee halve ringen om de as aangebracht (zie fig. 26).

De axiale krachten tussen oplegvlak en as (actie=reactie) kunnen direct via de vaste rand evenwicht met elkaar maken (zie de streeplijn).

Er ontstaat daarbij dus een inwendig krachtenspel dat zich alleen plaatselijk afspeelt.

De vaste rand moet natuurlijk in staat zijn die axiale kracht op te nemen, hetgeen niet tot abnormale afmetingen hoeft te leiden, daar deze belasting hoofdzakelijk in druk en afschuiving resulteert, terwijl de grote as-diameter een groot oppervlak ter beschikking stelt.

Men bedenke echter dat de axiale kracht niet gelijkmatig over de gehele asomtrek verdeeld gedacht kan worden, daar deze kracht zich voornamelijk ter plaatse van het contactvlak concentreert.

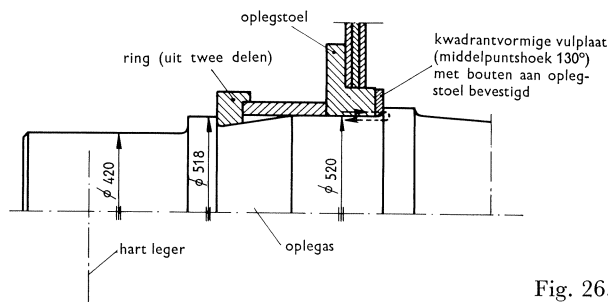


Fig. 26.

3.2 Axiale beweging van de kabelwielen voor de evenwichtskabels bij een hefbrug

Fig. 27 toont schematisch een kabelwiel met as en tonlegers van een hefbrug, waarbij axiale beweging opgetreden is. In totaal zijn er zo 8 wielen (4 per heftoren).

Na drie maanden in bedrijf te zijn geweest bleken bij 2 tonlegers de binnenringen een breuk te vertonen. Elke keer openen en sluiten van de brug komt overeen met ongeveer 6 omwentelingen van de kabelwielen. In de eerste periode van 3 maanden is de brug ongeveer 2000 maal open geweest, zodat de breuken moeten zijn opgetreden toen de assen circa 12.000 omwentelingen gemaakt hadden.

Bij demontage bleek de naaf van het kabelwiel over de as verschoven te zijn en hierbij de binnenring over de co-

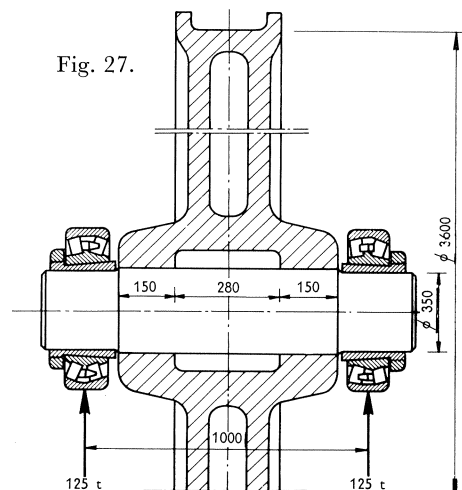


Fig. 27.

nische drukbus te hebben opgedrukt, waardoor breuk in deze binnenring van het tonleger was ontstaan. De conische drukbussen waren met de grootste zorg aangebracht, zodat aangenomen mag worden, dat voor het opduwen tenminste 50 ton aanvangskracht nodig is geweest.

Bij de twee wielen met de gebroken legers lagen de navens stijf tegen de legers aan; de overige wielen toonden afwijkingen van hun middenstand, die uiteraard de oorspronkelijke centrale montagestand was geweest.

De wielen waren oorspronkelijk niet op de assen geborgd; nadat de axiale beweging geconstateerd was zijn per wiel 3 gaten $\varnothing 30$ mm radiaal door het hart van de naaf en tot zekere diepte in de as geboord en hierin ter borging cilindrische pennen aangebracht.

Wegens de constructieve symmetrie zou er zich theoretisch geen axiale beweging kunnen voordoen; dat deze wel is opgetreden kan worden toegeschreven aan het feit dat praktisch nooit volkomen symmetrie aanwezig is.

Altijd zijn er a-symmetrische belastingen, verschillen in afmetingen, ongelijke passingen en oppervlaktegesteldheden ter plaatse van de pasvlakken, enz. als storingsfactoren in het spel.

3.3 Axiale beweging van een tankkwadrant bij een met handkracht te bewegen ophaalbrug voor dubbel spoor

Fig. 28 toont het draaipunt van het kwadrant van een ophaalbrug waarbij axiale beweging is opgetreden.

De naaf is met een perspassing op de as bevestigd, en tegen tangentiële verplaatsing geborgd door middel van twee inlegspieën.

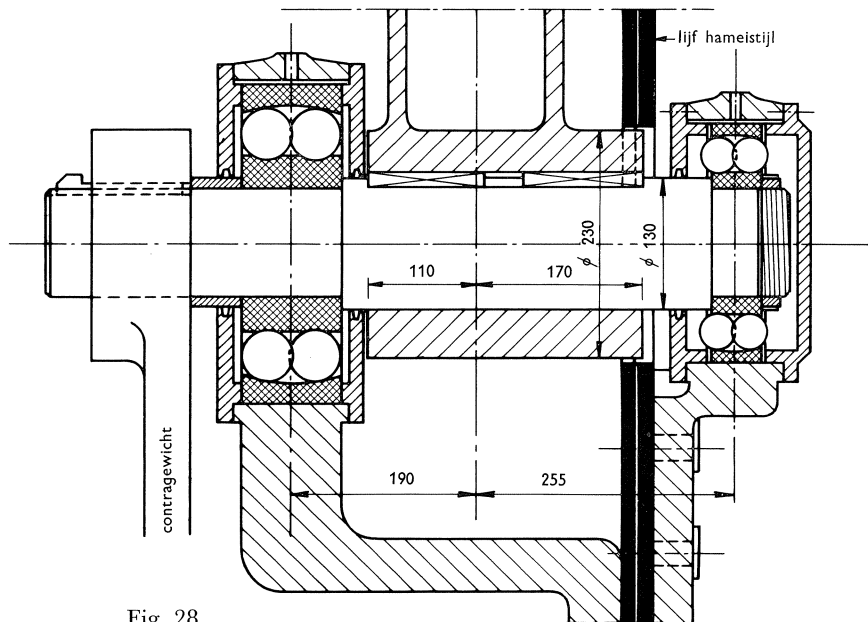


Fig. 28.

Ook hier heeft de naaf zich in axiale richting over de as verplaatst, en wel in de richting van de hameestijl, met als gevolg dat het tandkwadrant bij het openen van de brug tegen de balans opliep.

Deze axiale beweging had in dit geval ook weer voorkomen kunnen worden door de as te voorzien van een ervan deel uitmakende rand, zodat de krachten door de as en de naaf op elkaar uitgeoefend direct evenwicht met elkaar maken (zie de streeplijn in fig. 29a).

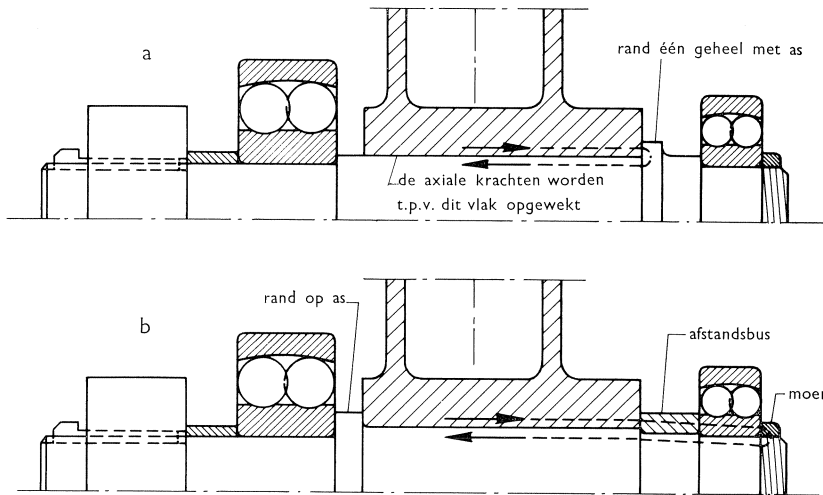


Fig. 29.

Daar het in de praktijk voor een dergelijk geval niet mogelijk is vooraf de richting van de axiale beweging te voorspellen, kan men bijvoorbeeld de rand op de as aan de linkerzijde aanbrengen en aan de rechterzijde een afstandsbus, die opgesloten wordt tussen de naaf en de binnenring van het kogellegger. In dit geval zullen, als de axiale beweging naar rechts gericht is, de bijbehorende krachten evenwicht kunnen maken via de afstandsbus, de binnenring van het kogellegger en de moer (zie streeplijn in fig. 29b).

3.4 Axiale beweging van een afstandsbus op een wielas van een diesel-elektrische locomotief

Dit geval van axiale beweging is door Ir. F. J. HEYLIGERS beschreven in „De Ingenieur” van 26 augustus 1960.

In fig. 30 is de wielas met de afstandsbus afgebeeld. De gietstalen afstandsbus is aangebracht tussen een leger van de elektromotor en de naaf van het loopwiel; deze is gedeeld uitgevoerd en ter plaatse van de pasvlakken stijf op de as geklemd. Na montage bedroeg de speling tussen leger en bus ca. 1 mm; verwacht mocht worden dat deze speling in verband met slijtage steeds groter zou worden. Tot ieders verbazing werd de speling echter steeds kleiner en werd zelfs het witmetaal van het leger van de elektromotor ernstig beschadigd.

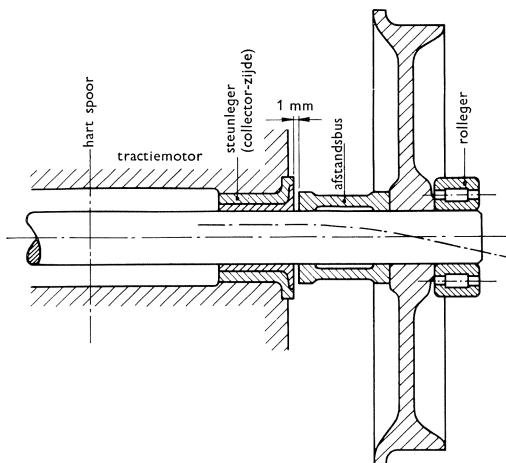


Fig. 30.

De eerste veronderstelling was dat de bus niet vast genoeg op de as geklemd zat: men heeft daarom de passing van de bus stijver gemaakt door wat materiaal ter plaatse van de deelvlakken van de bus te verwijderen en hem zo vast mogelijk te monteren. Dit mocht echter niet baten, de bus bleef zich in bedrijf in axiale richting ten opzichte van de as verplaatsen.

Toen werd de passing aan de zijde van het loopwiel minder stijf gemaakt. Hierdoor bleef de bus nog wel met de as meedraaien, maar was inderdaad een einde gekomen aan de axiale beweging van de bus.

De proeven in het Stevin-laboratorium hebben overeenkomstige verschijnselen opgeleverd. Maakte men aan een zijde de passing zó wijd dat de bus de stand kon innemen waartoe hij door de as ter plaatse van het stijve pasvlak gedwongen wordt, dan traden geen inwendige krachten in de bus op welke axiale beweging zouden veroorzaken.

3.5 Tangentiale en axiale beweging bij een kabelwiel van een hefbrug voor spoorwegverkeer

Ir. C. J. Th. C. Roos (Ned. Spoorwegen N.V.) deelde enige tijd geleden mede dat een kabelwiel voor de evenwichtskabels van de hefbrug voor spoorwegverkeer over de Koningshaven te Rotterdam zich vreemd gedroeg.

Tijdens het openen en sluiten van de brug schokte het betreffende wiel af en toe even, welke schokken zelfs duidelijk waarneembaar waren in het bedieningshuis onder in de toren.

Bij deze brug bevinden zich op elke toren 4 kabelwielen welke door middel van twee tonlegers afzonderlijk geleverd zijn.

In fig. 31 is een doorsnede van een kabelwiel met as en legers getekend. De naven van deze kabelwielen zijn in verband met krimpspanningen tijdens het gieten op drie plaatsen gedeeld. In deze delingen is lood aangebracht, terwijl verder om de naven zware ringen ge-

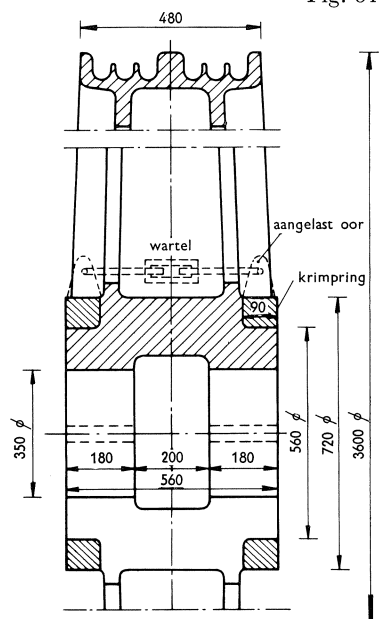


Fig. 31.

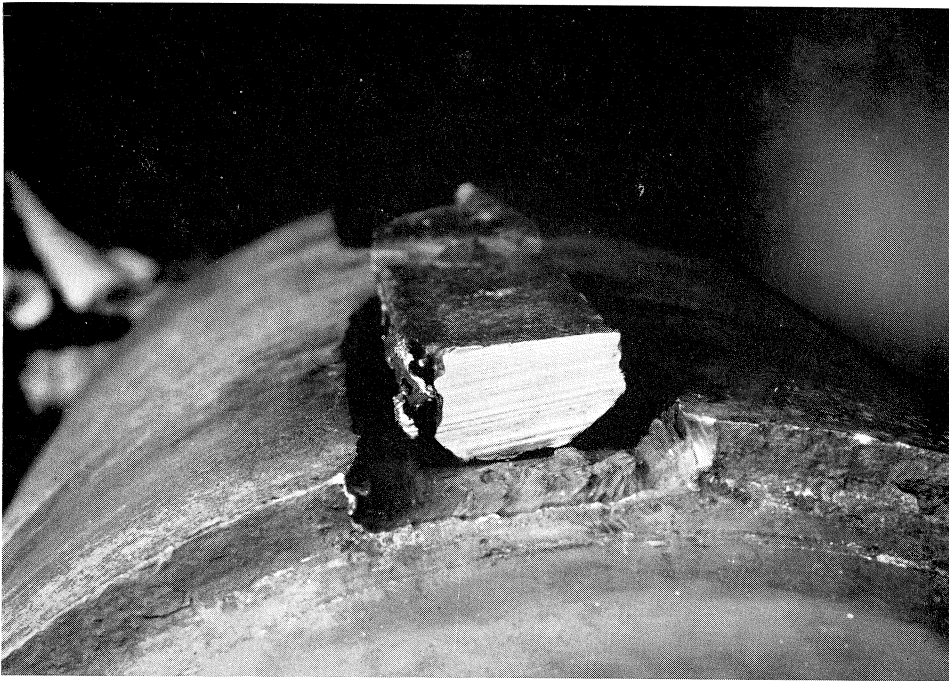


Fig. 32. Inlegspie in spiebaan; tussen spie en spiebaan is een zeer grote speling ontstaan.

krompen zijn. Daar de oorzaak van het schokken niet vastgesteld kon worden en men het niet verantwoord achtte dit wiel te handhaven, heeft men besloten om een nieuw wiel aan te brengen, hetgeen inmiddels is geschied.

Bij demontage van het oude wiel bleek nu dat het kabelwiel zich in tangentielle richting over de as verplaatst had en hierdoor de inlegspieën en de spiebaan in de as zeer zware beschadigingen opgelopen hadden, zie fig. 32. Door dit tangenciaal verplaatsen is ook de as, ter plaatse van de pasranden van het kabelwiel, sterk ($\pm 1\frac{1}{2}$ mm) afgesleten.

De brug is in 1926 gereed gekomen; volgens een globale berekening moet het kabelwiel sinds die tijd ongeveer 900.000 omwentelingen gemaakt hebben.

Het kabelwiel is tegen axiaal verplaatsen geborgd door middel van twee zware borgplaten welke elk met drie draadeinden $W 1\frac{1}{4}$ " aan de aseinden bevestigd zijn.

Daar de eventueel optredende axiale kracht het tonnenleger en de conische drukbus moet passeren om door de borgplaat opgenomen te kunnen worden, is het te verwachten dat een grote axiale kracht het tonnenleger over de conische drukbus zal opduwen. Het feit dat de tonnenlegers nog in goede staat verkeerden, zou een aanwijzing kunnen zijn dat, indien een axiale kracht aanwezig geweest is, deze in ieder geval niet bijzonder groot geweest kan zijn.

Dat hier een tangentielle verplaatsing opgetreden is welke geleid heeft tot de zeer zware beschadigingen van de spieën en de as, is, als men bedenkt dat het

wiel met de as vrij in de tonnenlegers kan draaien en dus van het wiel d.m.v. de spieën alleen het geringe wrijvingsmoment van de tonnenlegers op de as overgebracht moet worden, een hoogst merkwaardig verschijnsel.

Het in tangentiële richting verplaatsen van het kabelwiel ten opzichte van de as is vermoedelijk een gevolg van een soort afrollen van de as in de naaf.

Voor het geval de as een zekere speling heeft in de naaf zal, als beide delen samen wentelen en ter plaatse van het contactvlak geen slip optreedt, de as (in verband met de kleinere omtrek) na enige tijd meer omwentelingen gemaakt hebben dan het wiel. De inlegspie zal aanvankelijk dit verplaatsen van de as t.o.v. het kabelwiel beletten (zie fig. 33). Door de grote radiale kracht en door de grote wrijvingscoëfficiënt (asoppervlak in de loop der jaren aangetast door corrosie) zal echter ter plaatse van het asoppervlak een grote wrijvingskracht opgewekt kunnen worden welke de spie zal belasten. Een globale berekening levert het volgende:

$$\begin{aligned} \text{radiale kracht} & 400 \text{ tf} \\ \text{wrijvingscoëfficiënt} & 0,4 \text{ (roestig oppervlak)} \\ \text{wrijvingskracht} & = 400 \times 0,4 = 160 \text{ tf} \\ \text{kracht per spie} & = 80 \text{ tf} \\ \text{vlaktedruk op spie} & = \frac{80.000}{1,2 \times 18} = 3.700 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

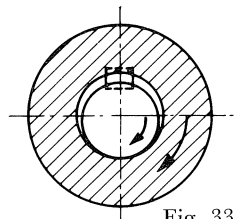


Fig. 33.

Inderdaad dus een hoge waarde.

Verder draait het kabelwiel eerst 3 à 4 omw. de ene kant op, om daarna weer 3 à 4 omw. andersom te draaien. Door dit heen- en weerdraaien is vermoedelijk in de loop der jaren enige speling tussen spie en as ontstaan. De mogelijkheid bestaat ook dat door dit omkeren van de bewegingsrichting de as, na het bereiken van de maximale wrijvingskracht, met een stoot tegen de spie aankomt.

Juist bij deze constructie is een zekere speling van de as in de naaf niet denkbeeldig. De naaf moet immers door de krimpringen op de as geklemd worden; daar echter de naaf door middel van de spaken aan de velg bevestigd is zal deze klemwerking tegengewerkt worden.

Ook kunnen doordat grote radiale krachten aanwezig zijn, plaatselijk vervormingen optreden welke een soort afrollen doen ontstaan.

Is er éénmaal verschuiving in tangentiële richting ingeleid, dan zal door slijtage de speling steeds groter worden en dus ook de tangentiële verplaatsing bij een zeker aantal omwentelingen.

Bij dit kabelwiel is nog een ander ongewoon iets op te merken. Zoals vermeld is de naaf gedeeld uitgevoerd en met ringen op de as gekrompen. De kleinste krimpmaat van deze ringen was 0,58 mm, zodat aangenomen moet worden dat deze ringen stevig op de naaf bevestigd waren. Toch waren enkele krimpringen over ongeveer 2 cm in axiale richting over de naaf naar buiten verschoven.

Als maatregel tegen het verder verschuiven zijn op de krimpringen oren gelast en zijn deze met elkaar verbonden door draadeinden met linkse en rechtse draad benevens een wartel (zie fig. 31).

Van het op de oorspronkelijke plaats terug brengen van de ringen is afgezien, daar in dat geval de draadeinden veel grotere krachten zouden moeten opnemen dan waarvoor zij gedimensioneerd waren.

Uit dit geval blijkt dat het ook bij een krimppassing noodzakelijk is de delen te borgen. Dit had bij voorbeeld kunnen geschieden door ter plaatse van het scheidingsvlak naaf-krimpring enkele (b.v. 6 stuks) tapeinden aan te brengen.

Samenvatting

Uit de vorenbeschreven proeven en de in de praktijk geconstateerde gevallen kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

a. De richting van de axiale verplaatsing

De richting van de verplaatsing welke twee samen roterende delen ten opzichte van elkaar kunnen krijgen is in de praktijk in vele gevallen moeilijk of in het geheel niet te voorspellen. Die richting hangt af van factoren waarvan men vooraf meestal de grootte niet kent, onder andere het verschil in passing en oppervlaktegesteldheid van de oplegvlakken of de pasvlakken.

Alleen bij zeer asymmetrische constructies, zoals bijvoorbeeld de oplegassen van de balans van sommige ophaalbruggen, is het mogelijk de richting van de verplaatsing te voorspellen.

b. De grootte van de axiale kracht

De benodigde axiale kracht om het verplaatsen te beletten kan vrij groot zijn. In sommige gevallen kan deze zelfs oplopen tot een grootte van $\pm 30\%$ van de radiale kracht ter plaatse van het oplegvlak. De grootte van de axiale kracht wordt o.a. bepaald door de soort passing, de oppervlaktegesteldheid ter plaatse van de oplegvlakken, en de aard van de beweging (continu of heen-en-weergaand). Bij een heen-en-weergaande beweging treedt een grotere axiale kracht op dan bij een continue beweging.

c. Het borgen van de constructiedelen

Bij constructiedelen welke samen roteren kan men niet uitsluitend vertrouwen op een pers- of een krimppassing. Ook als alleen radiale en/of tangenciale uitwendige krachten aanwezig zijn zal toch een borg tegen axiale verplaatsing aangebracht moeten worden.

Als de richting van de axiale verplaatsing bekend is kan de borg vaak eenvoudig zijn, bijvoorbeeld een vaste rand op de as (zie fig. 34). Ter plaatse van het pasvlak ontstaan twee krachten, één werkende op de as, de ander werkende op de naaf. Beide krachten kunnen via de vaste rand evenwicht met elkaar maken (zie de streeplijn).

Is de richting van de verplaatsing niet bekend, dan zal het constructiedeel aan beide zijden opgesloten moeten worden.

Bij het construeren moet in sommige gevallen ook rekening gehouden worden met de mogelijkheid dat de as zich kan gaan afrollen in het gat (kabelwiel hefbrug voor spoorwegverkeer te Rotterdam).

Bij aanwezigheid van een borg (b.v. een inlegspie), kunnen hierdoor, in bepaalde omstandigheden, grote krachten op de borg ontstaan.

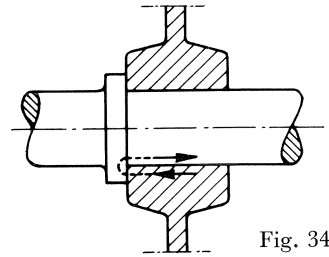


Fig. 34.

Naschrift

De schrijver is zeer erkentelijk voor de door Prof. Dr. Ir. W. L. H. SCHMID en medewerkers betoonde belangstelling en verleende medewerking inzake het hier behandelde kruip-probleem, met name wat betreft de analytische uitwerking van een theoretische benadering daarvan, zoals die in **2** van dit artikel is kunnen worden weergegeven.