

Staalbandoverbrenging voor nauwkeurig positioneren

Citation for published version (APA):

Reker, E. A. G. (1991). Staalbandoverbrenging voor nauwkeurig positioneren. *Mikroniek*, (6), 153-159.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1991

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

Staalbandoverbrenging voor nauwkeurig positioneren

E.A.G. Reker

Beschouwt men een staalband in theorie dan blijkt er een optimum te zijn voor de sterkte.

Voor nauwkeurig positioneren met behulp van staalband is de stijfheid belangrijker dan de sterkte. Hieruit resulteert een optimum dat afwijkt van dat wat met de sterkteberekening wordt gevonden.

Een verdere precisering treedt op als het begrip straktrekstijfheid wordt ingevoerd.

Bij langdurig bewegen met een staalbandoverbrenging treedt microslip (kruip) op, waarmee rekening moet worden gehouden.

Voor een goed uitgevoerde overbrenging zijn vanzelfsprekend de vrijheidsgraden van de band en de daaraan gekoppelde onderdelen van belang, evenals de inklemming.

De genoemde begrippen en de constructieve uitvoering van de inklemming worden achtereenvolgens behandeld.

Staalbandoverbrenging

Een nuttig maar niet zo vaak gebruikt werktuigonderdeel is de staalband. Hij mist bijna alle nadelen van de ketting: hij heeft geen speling, nauwelijks hysteresis, geen slijtage, geen polygoon effecten, is geluidsarm en heeft weinig rek of toememende verlenging. Van staalbandoverbrengingen zijn veel uitvoeringsvormen in gebruik met ieder hun eigen specifieke problemen, waarvoor soms al oplossingen zijn gevonden. Na een inleiding over sterkte, stijfheid, straktrekstijfheid, microslip (kruip), vrijheidsgraden en inklemming komen voorbeelden aan bod.

Berekening op sterkte

Staalband dik t , gebogen over een rol, diameter D , heeft een buigspanning σ_b die volgt uit:

$$t/D = \varepsilon = \sigma_b/E. \quad (1)$$

Men wil er een trekkracht F mee overbrengen bij een breedte b ; dit geeft aanleiding tot een trekspanning:

$$\sigma_t = F/(t.b). \quad (2)$$

Uit $\sigma_b + \sigma_t < \sigma$, waarin σ de toelaatbare

spanning is, volgt:

$$F_{max} = \sigma \cdot t \cdot b - t^2 \cdot b \cdot E/D. \quad (3)$$

Uit (1), (2) en (3) volgt dat de over te brengen trekkracht F bij gegeven roldiameter en bandbreedte maximaal is als:

$$\sigma_t = \sigma_b = \sigma/2. \quad (4)$$

Uit (1), (2) en (4) volgt dat bij een bepaalde over te brengen trekkracht F_{max} de rolstraal r en de bandbreedte b moeten voldoen aan de voorwaarde:

$$r \cdot b > 2EF_{max}/\sigma^2.$$

De banddikte t waarbij de belastbaarheid F maximaal is, volgt uit:

$$t_{Fmax} = \sigma \cdot r/E.$$

Deze banddikte zal veelal niet verkrijgbaar zijn, dus moet men afronden op de dichtsbijgelegen maat en vervolgens moet de berekening aangepast worden aan deze verkrijgbare banddikte.

Berekening op stijfheid

Wenst men niet de maximale kracht maar de maximale stijfheid in het verband tussen rol en band dan kan men nog een factor 1,6 aan stijfheid verdienen door (bij gelijke E , σ , b en r) de banddikte groter te kiezen.

Dan wordt de buigspanning evenredig groter en dient de trekkracht F dus over-

eenkomstig te worden verlaagd.

Dat men hiermee niet al te ver kan gaan blijkt uit het hierna volgende.

Alleen een volkomen buigslappe band kan "recht" (volgens een raaklijn) een rol op- en aflopen. Dit betekent namelijk dat de kromtestraal, die op de rol gelijk is aan $D/2 = r$, in de raakpunten abrupt zou overspringen op de waarde oneindig.

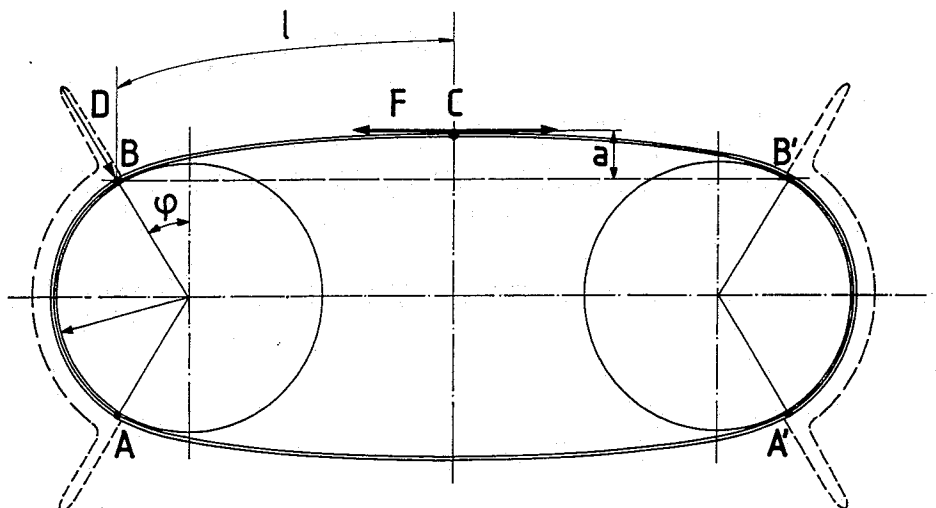
In werkelijkheid heeft de band een buigstijfheidsfactor EI en uit de relatie $EI/M = r$, waarin M het plaatselijk buigmoment is in de band, volgt dat een sprong in r een sprong in M vergt. De band ondervindt echter geen "inklemmomenten", hoogstens lijnkrachten of verdeelde belastingen, dus het moment en daarmee de kromtestraal kunnen niet anders dan geleidelijk verlopen.

Figuur 1 geeft een mogelijke situatie aan. De band ligt stilstaand op de (even-grote) trommels over minder dan π rad, namelijk van A tot B resp. B' tot A' over een hoek $(\pi - 2\varphi)$.

De voorspankracht F ter plaatse van het symmetriepunt C levert op de arm a (afstand van C tot de lijn B B') juist het moment $F \cdot a = EI/r$ dat nodig is om de band te buigen tot de straal r .

In de punten A en B, en in het tussengelegen traject AB, is de trekkracht in de band $F \cdot \cos\varphi$.

Over het traject AB ligt de band één op het wiel met een aanlegdruk per lengte-



Figuur 1

Staalbandoverbrenging voor nauwkeurig positioneren

eenheid groot $F \cdot \cos\varphi / r$. Als die aanlegdruk zich had uitgestrekt over de volle 180° zou de boogbelasting F/r zijn en de horizontale component daarvan gelijk aan de twee trekkrachten F .

Zowel het gemis van de aanlegdruk over de boog φ als de reductie van de trekkracht in de band met de factor $\cos\varphi$, worden elk goed gemaakt door een dwarskracht (lijnkracht) in de punten A en B ter grootte $\varphi \cdot F/2$, zodat de resulterende dwarskracht $D = \varphi \cdot F$. Die dwarskracht D zorgt voor het voorbij B snel afnemen van het moment in de band, dus van de kromming.

De stippellijn in figuur 1 geeft het belastingverloop op de trommel. Pieken ten gevolge van D bij A en B en een gelijkmatig verloop daartussen ten gevolge van $F \cdot \cos\varphi / r$.

Men kan het bestaan van die "dwarskracht" D heel aardig zien als men een strook doorzichtig plakband met de klevende zijde naar beneden op tafel laat vallen.

Als men het niet expres aandrukt ligt het praktisch los. Als men er in slaagt het goed gestrekt te houden kan men het zelfs gemakkelijk optillen. Tilt men het echter bij één vrij uiteinde op dan kleeft het langs een scherpe lijn stevig vast juist vóór de plek waar men atpelt. Zelfs wordt de plakband op eventuele plaatsen waar hij aanvankelijk de tafel niet raakte, vlak vóór het atpelpunt eerst met relatief grote kracht aangedrukt en vastgekleefd!

De hoeken φ en de afstanden a zijn een functie van F , en dus ook van eventueel via de band van de ene trommel op de andere overgedragen koppels.

De hoekgetrouwheid in de overbrenging tussen de beide trommels die bij dunne

band lijdt onder de elasticiteit van de band ($1/c = \ell / (E \cdot b \cdot t)$). De uitwijking is evenredig met de kracht. Bij een dikke, dus buigstijve band zal de hoekgetrouwheid gaan lijden onder de niet-lineaire elasticiteit ten gevolge van variaties in σ en a . Ergens er tussenin ligt dus een optimum voor de bandbreedte.

Berekening van de straktrekstijfheid

De in dit tekstonderdeel gegeven formules werden opgesteld door J.M. Wolf en J. van Eijk en verschijnen hier zonder hun afleiding.

De straktrekstijfheid is de stijfheid die in het punt C van figuur 1 bestaat. Wanneer de lengte ℓ van punt C tot het oplooppunt B groter is dan $(0,6 \text{ tot } 1)r$, dan gelden de volgende drie relaties.

De niet aanliggende omslagen hoek:

$$\varphi = \sqrt{(EI/Fr^2)}$$

De trekstijfheid: $c_t = E \cdot b \cdot t / \ell$.

De "straktrekstijfheid":

$$c_B = 8r^2 \cdot F^{5/2} \cdot (EI)^{-3/2}$$

Voor de maximale stijfheid c_{\max} moet men streven naar een verhouding:

$$c_B / c_t = 5,6 (E/\sigma)^{1/7} \cdot (\ell/r)^{2/7}$$

Hierbij hoort een banddikte waarbij de stijfheid maximaal is ($t_{c \max}$) als men de bandkracht F_c daarin steeds zo hoog instelt dat de toelaatbare spanning σ juist bereikt wordt:

$$t_{c \max} = 2 \cdot \sigma \cdot r / (E(1 + \sigma/\sigma_b))$$

waarin

$$\sigma_f / \sigma_b = 0,45 \cdot (\sigma/E)^{1/7} \cdot (r/\ell)^{2/7}$$

Deze banddikte moet naar beneden afgerond worden op de eerstvolgende (kleinere) reëel verkrijgbare maat.

Met deze reële waarde van t bepaalt men

$\sigma_b = tE/(2r)$ en $\sigma_t = \sigma - \sigma_b$ en de (eventueel via extra vóórspanning) in te stellen bandkracht

$$F_c = \sigma_t \cdot b \cdot t$$

De totale stijfheid is dan (vrijwel) gelijk aan $c = E \cdot b \cdot t / \ell$.

Microslip en kruip

Deze beide begrippen kunnen zeer goed worden toegelicht aan de hand van een riemoverbrenging (1:1) zoals in figuur 2 is afgebeeld.

Voor het geval van de riem met $A = b \cdot t$ geldt, als een deeltje ter lengte ds over du wordt uitgerekt onder invloed van een kracht N :

$$du = (N/(EA))ds$$

Zijn snelheid is dan:

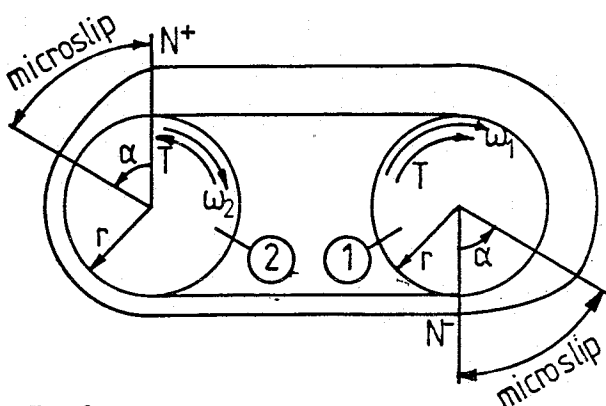
$$v = (ds+du)/dt, \text{ dus}$$

$$v = ds(1+(N/EA))/dt$$

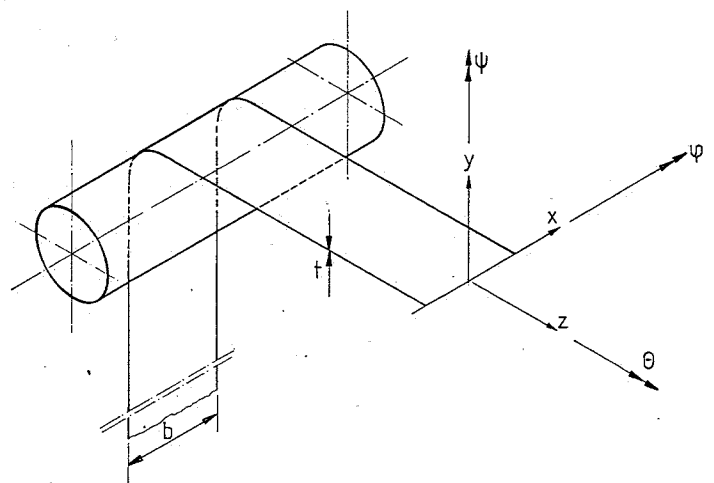
In het hoogbelaste part, met de trekkracht N^+ is de snelheid $v^+ = v(1+N^+/(EA))$.

In het laagbelaste part, met de trekkracht N^- is de snelheid $v^- = v(1+N^-/(EA))$.

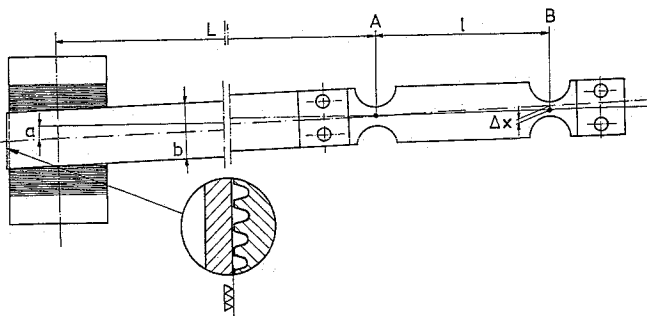
Micro-slip treedt op in het contact tussen riem en rol, in de zones $0 < \varphi < \alpha$.



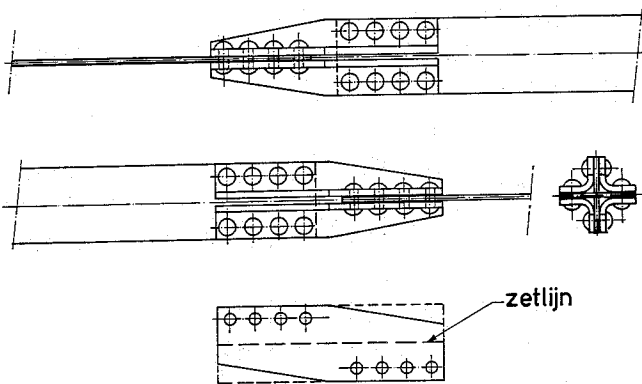
Figuur 2



Figuur 3



Figuur 4



Figuur 6

Wiel 1 neemt de snelheid v^+ over: $\omega_1 = v_1/r$;
 wiel 2 neemt de snelheid v^- over: $\omega_2 = v_2/r$.
 De kruip wordt gedefinieerd als:
 $\Delta v = v^+ - v^-$.
 De kruipverhouding is:
 $\xi = \Delta v/v$.

De kruip is dus:

$$\Delta v = v^+ - v^- = v(N^+ - N^-)/(EA) = vT/(rEA),$$

en de kruipverhouding:

$$\xi = T/(rEA).$$

Merk op dat microslip steeds optreedt aan de aflopende kant van het wiel. [K.L.Johnson; Contact Mechanics; Univ. Press Cambridge 1987.]

Graden van Vrijheid

Zolang een band op een rol ligt en daar niet over slipt, ondervindt hij dezelfde belemmeringen als de rol: al zijn zes graden van vrijheid zijn dus door de rol bepaald. Het aflopende part, zie figuur 3, "onthoudt" hiervan (z, x, ψ) en vergeet drie andere (y, θ en ϕ).

"Onthouden" heeft dan betrekking op het grote traagheidsmoment $I = 1/12 tb^3$ terwijl "vergeten" slaat op termen met

het kleine traagheidsmoment $1/12 b.t^3$ en het traagheidsmoment I tegen torsie om de z-as.

$$I^* = [1/3 - 0,21 t/b \{1 - 1/12 (t/b)^4\}] b.t^3,$$

voor $t/b < 0,1$ voldoende benaderd met

$$I^* = 1/3 b.t^3,$$

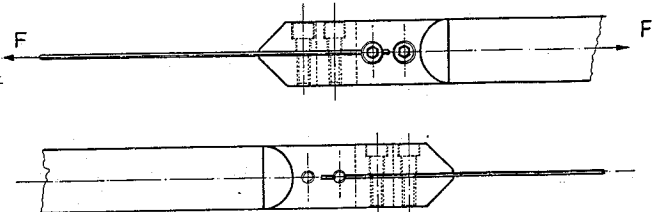
en voor $0,1 < t/b < 0,8$ voldoende benaderd met

$$I^* = (1/3 - 0,21 t/b) b.t^3.$$

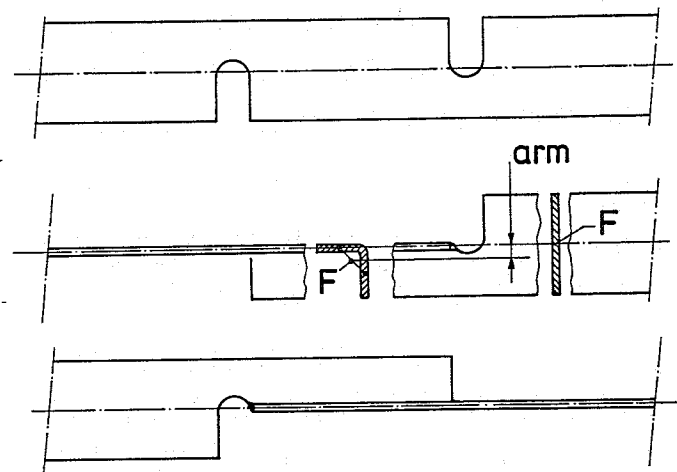
De band kan men beschouwen als een strook uit een denkbeeldige brede papierbaan die bij een zuiver cilindrische rol haaks op de hartlijn loopt. Op dat papier kan men zich ingetekend denken de eventuele rechtgeleiding of baan van het trekkende of het getrokken machine-deel.

Als het de bedoeling is dat de band alleen maar trekkracht overbrengt dan moet hij alleen de belemmering x onthouden en de z - en ψ -informatie alsnog vergeten. Smalle, relatief lange band en korte relatief brede verdienen nu afzonderlijke bespreking.

Smalle, lange band kan een alternatief zijn voor een (ronde) draad of een lint



Figuur 5



Figuur 7

van evenwijdige draden. Vaak gaat het om platgewalste draad. (Gladdere zijkant, veel minder kerfwerking, egaler van doorsnede en veel hoger belastbaar dan met de rollenschaar gesneden bandjes.)

In vergelijking met een ronde draad van gelijke doorsnede kan die over een kleiner (rol)straal gebogen worden, wat vaak voordelig is.

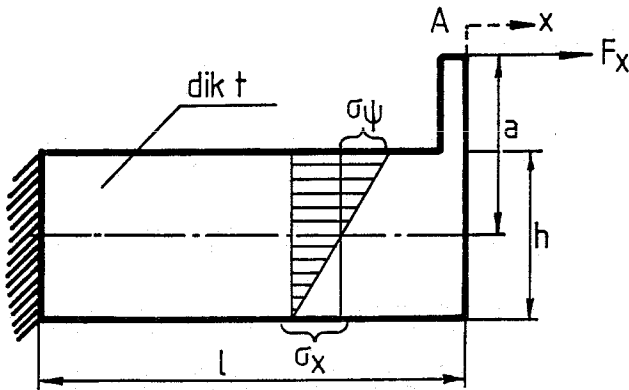
Bij korte relatief brede band moeten extra hulpmiddelen worden toegepast om de band de z - en ψ -informatie te laten vergeten. Daartoe kan men bijvoorbeeld via een (al of niet elastisch) scharnierend lidje aan de band trekken, zie figuur 4.

Ook kan men aan het eind dat niet over de rol hoeft te lopen een stuk van hetzelfde band onder 90° gedraaid monteren, zie de figuren 5, 6 en 7.

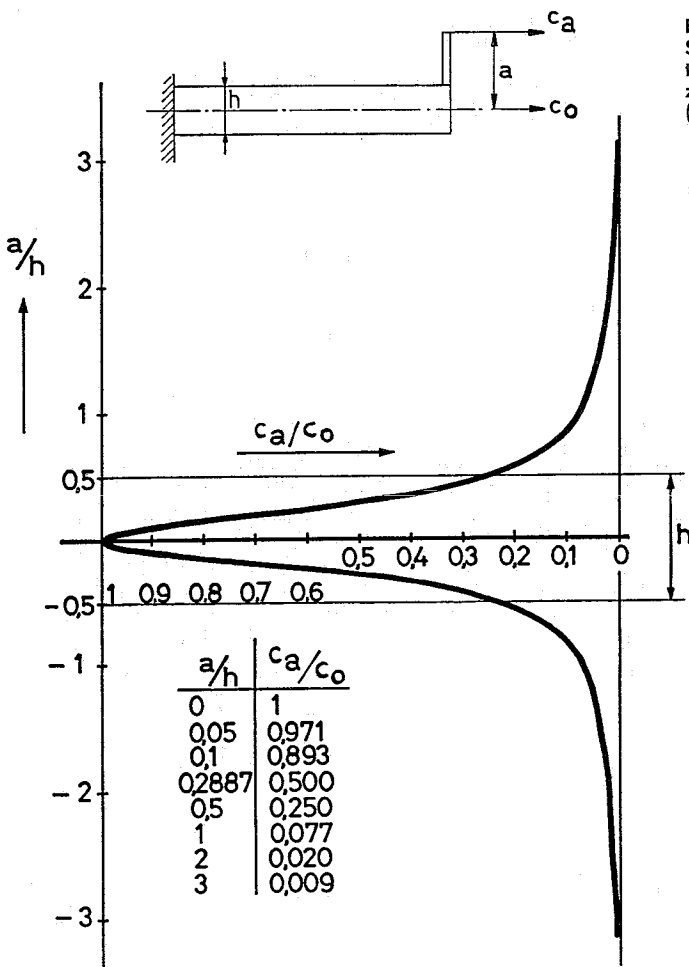
Het "tussenlichaam" dat zodoende wordt geïntroduceerd is zelf in vijf vrijheidsgraden met vrij grote stijfheid vastgelegd en heeft dus nog één eigen vrijheid, namelijk rotatie θ . Het tussenlichaam zal dus in trilling kunnen komen wat soms erg vervelend kan zijn.

De lengte l van het stuk AB (figuur 4) dat de x - en ψ -informatie moet teniet doen, moet zo groot zijn dat ook in de stand met grootste van de rol afgelopen band-

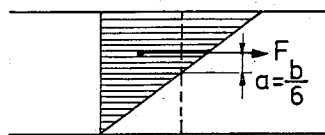
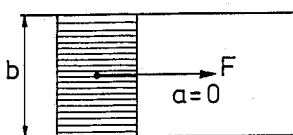
Staalbandoverbrenging voor nauwkeurig positioneren



Figuur 10



Figuur 11
Stijfheidsreductie bij
trekbelasting buiten de
zwaartelijns
(C.D. van Dijk).



Figuur 8

Figuur 9

lengte L (en) bij de grootst mogelijke fout Δx tussen bandeind A en "trekpunt" B, de maat $a = \Delta x \cdot L / \ell$ nog heel klein is ten opzichte van de bandbreedte b . Deze maat a geeft aan hoever uit het midden de trekkracht gericht van B naar A aangrijpt.

Bij uitvoering volgens figuur 6 kiest men wel eens voor een losneembare verbinding met boutjes. Voor voldoende vlaktedruk op het stripmateriaal zal men gedefinieerde klemzônes aanbrengen door middel van wegslijpen van enkele tienden millimeters materiaal naast de klemzônes. Het monteren verloopt moeizaam. De volgorde van vastzetten vereist enige zorgvuldigheid. De kans bestaat dat er per boutje een moment in de band ontstaat waardoor een ongelijkmatige spanningsverdeling wordt geïntroduceerd. Bij belasting van de band zal de slipgrens dan lokaal worden overschreden.

Als $a = 0$ is de trekspanning in de band gelijkmatig verdeeld (zie figuur 8), als $a = b/6$ loopt de verdeling van nul naar de dubbele waarde, zie figuur 9.

Als $a = b/2$ wil de band gaan plooiën want alle belasting is dan in één hoek geconcentreerd. Dit is de situatie wanneer men een blaadje uit een blocnote scheurt.

Ook de stijfheid neemt snel af met toenemende a .

Stijfheid bij excentrische belasting

In figuur 10 is de niet in het midden belaste staalband nog eens getekend. De verplaatsing (x) van punt A is gelijk aan $x = F_x \ell / (EA) + F_x a^2 \ell / (EI)$, waarin $A = t \cdot h$ en $I = 1/12 t \cdot h^3$.

De elasticiteit in punt A is dan:

$$1/c_a = (\ell / (EA)) (1 + a^2 A / I).$$

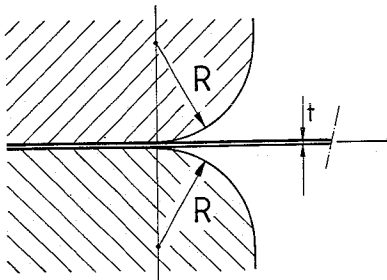
Valt de werklijn van de belasting F_x samen met de lijn door het zwaartepunt van de dwarsdoorsnede ($a=0$) dan geldt:

$$c_0 = EA / \ell,$$

zodat geldt:

$$c_a / c_0 = 1 / (1 + 12(a/h)^2).$$

Figuur 11 laat zien in welke mate het uit het midden belaste (a) van een staalband de stijfheid reduceert.



Figuur 12

Inklemming van bandmateriaal en bladveren

Wanneer de trekkracht op een ingeklemde staalband onder een hoek staat met de inklemming bestaat het risico dat de band bij de inklemming wordt omgebogen en overbelast.

Dan kan het nuttig zijn om de inklemming met cirkelbogen met straal R "af te ronden", zie figuur 12. Voorwaarde is dan:

$$R \geq t \cdot E / 2(\sigma \cdot \sigma_f)$$

Niet altijd is dit afronden nodig, want bij voldoende lage trekkracht F_x en kleine hoek φ blijft de kromming beperkt tot acceptabele waarden; zie figuur 13. In deze figuur, waar de band door de trekkracht F_x onder een hoek φ wordt weggetrokken herkent men de niet aanliggende omslagen hoek:

$$\varphi \approx \sqrt{(EI / F_x R^2)}$$

en de straktrekstijfheid:

$$c_B = 8R^2 \cdot F_x^{5/2} \cdot (EI)^{-3/2}$$

(mits $\ell > (0,6 \text{ tot } 1) R$ is).

In dit geval kunnen we de maximale buigspanning en de straktrekstijfheid uitdrukken in de banddoorsnede $b \cdot t$, de trekkracht F_x en de hoek φ :

$$R_{min} = \sqrt{(EI / (F_x \varphi^2))}$$

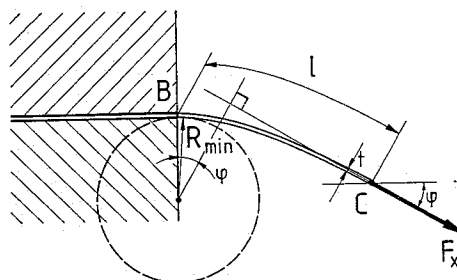
waaruit volgt voor de buigspanning:

$$\sigma_{Bmax} = \varphi \sqrt{(3EF_x / (b \cdot t))} = \varphi \sqrt{(\sigma_f \cdot E)}$$

waarin σ_f de trekspanning is, en voor de straktrekstijfheid:

$$c_B = 18 \sqrt{(F_x^3 / (b^3 E))} / \varphi^2$$

Met de laatste twee formules hebben we de gevolgen van het trekken onder hoek



Figuur 13

φ , namelijk buigspanning en lagere stijfheid, uitgedrukt in σ en bekende grootteheden zoals E , F en de geometrie van de band.

Microslip in de inklemming

Na het nemen van de constructieve maatregel volgens figuur 12 en figuur 13 is het elastische element beschermd tegen een te scherpe kromming. Toch houden we nog een inklemprobleem over – zelfs als de trekkracht F_x van figuur 13 zou werken in de inklemvlakken – namelijk dat van de microslip. De trek- en buigspanning in de uiterste vezels van het ingeklemde materiaal ter plaatse B van figuur 13 zijn veel hoger dan de trekspanning in het aangrenzende inklemmateriaal – verder naar binnen toe neemt het verschil af. De rek in het ingeklemde materiaal is derhalve veel groter dan in het inklemmateriaal. Het rekverschil langs de inklemvlakken veroorzaakt relatieve verplaatsingen, microslip met een zekere hysteresis als gevolg. Als vuistregel kan worden afgeleid:

$$\left| \frac{w}{l} \right| = \mu \left| \frac{n}{b} \right|$$

Hierin zijn:

- $|w|$ de grootte van de wrijvingskracht per lengte eenheid langs het oppervlak van de band (boven en onder);
- n de grootte van de normaalkracht op het oppervlak per lengte-eenheid;
- σ_v de vlaktedruk in het wrijvingsvlak;
- b de breedte loodrecht op de belastingsrichting.

$$|w| \ell_i = F = \sigma_f \cdot A, \text{ dus}$$

$$\mu \cdot \sigma_v \cdot b \ell_i = \sigma_f \cdot b \cdot t, \text{ waarin}$$

- ℓ_i de lengte in de inklemming is waarover de wrijvingskracht werkt;
- σ_f de trekspanning in de ingeklemde plaat;
- t de plaatdikte.

$$\ell_i = \sigma_f t / (\mu \sigma_v)$$

Alleen als de belasting varieert precies tussen $-|w| \ell_i < F < |w| \ell_i$ ontstaat een gesloten hysteresislus. Dan is de virtuele speling gelijk aan:

$$s_v = |w| \ell_i^2 / (2EA)$$

De virtuele speling is gelijk aan de helft van de rek in een plaat met een lengte gelijk aan de afstand waarover het slipfront bij de piekbelasting is doorgedrongen.

Een hysteresisarme inklemconstructie wordt bevorderd door de indringdiepte (ℓ_i) van het slipfront klein te houden. De in langsrichting verdeelde normaalkracht $n = dN/dx$ moet dus groot zijn, hetgeen wordt gerealiseerd door een hoge vlaktedruk in de wrijvingsvlakken toe te laten.

Uit invullen van $|w| \ell_i = \sigma_f \cdot A$ in de formule voor s_v volgt:

$$s_v = \sigma_f \cdot A \cdot \ell_i / (2EA), \text{ dus}$$

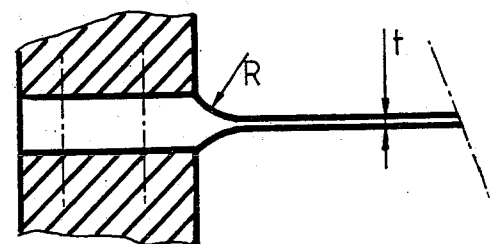
$$s_v = t \cdot \sigma_f^2 / (\mu \cdot E \cdot \sigma_v)$$

Berekeningsvoorbeeld

Als $\sigma_f = 200 \text{ N/mm}^2$, de wrijvingscoëfficiënt $\mu = 0,2$, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ en 10% van het wrijvingsoppervlak is bezet met bouten met een trekspanning $\sigma_v = 800 \text{ N/mm}^2$ zodat $\sigma_v = 80 \text{ N/mm}^2$, dan is $s_v = 0,0125t$.

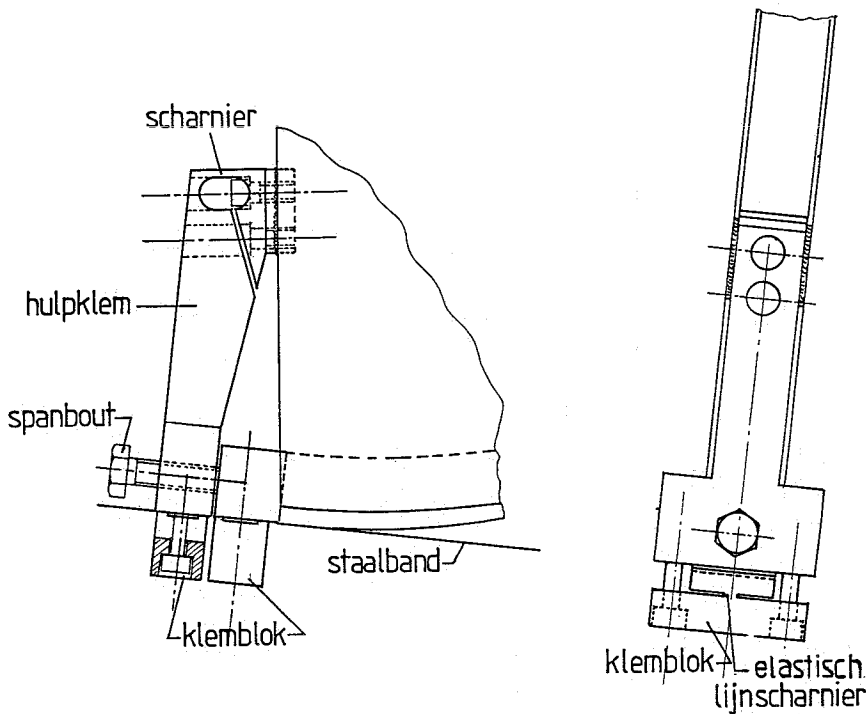
Bij een plaatdikte van 1 mm betekent dit een virtuele speling die groter is dan $s_v = 0,01 \text{ mm}$. Een belangrijke (kwadratische) invloed op de hysteresis heeft de trekspanning in de plaat. Hoe lichter de constructie belast is, hoe minder hysteresis er is.

De relatief dure constructie van figuur 14, te beschouwen als afgeleid uit de gatscharnieren, is een antwoord op het probleem van de microslip. De rek in de inklemming wordt hier verkleind door een grotere materiaaldikte. Bij de sterkteberekening dient men rekening te houden met de kerfwerking.



Figuur 14

Staalbandoverbrenging voor nauwkeurig positioneren



Figuur 15

Praktische voorbeelden van spannen en klemmen

Om een staalband recht vast te klemmen moet men erop letten dat deze op de juiste lengte onder de juiste spanning ingesteld wordt. Vaak is het probleem het strakhouden en tegelijkertijd klemmen. Wil men klemmen met boutjes door gaatjes in staalband dan moet vooraf de exacte lengte bekend zijn. Een fraaie spanningsverdeling is moeilijk haalbaar. Een goed alternatief is een hulpklem, zie figuur 15, die achter tegen de inklemming wordt geplaatst. Hiermee kan de band onder voorspanning ingesteld worden. Het klemblok, voorzien van een elastisch lijnscharnier en twee bouten,

klemt het met de hand strakgetrokken uitstekende vrije uiteinde van de band. Als de band vast zit in de hulpklem kan met behulp van de spanbout de bandlengte worden ingesteld en kan het definitieve klemblok, eveneens voorzien van een elastisch lijnscharnier, worden vastgezet. Let er wel op dat de doorsnede van het lijnscharnier voldoende is voor de klemkracht. Na vastzetten kan de hulpklem worden verwijderd (gewichtssparing, hergebruik).

Symmetrisch inklemmen

In inklemconstructies leidt men een belasting door middel van wrijving door, waarvan de figuren 16 en 17 voorbeel-

den zijn. In figuur 16 is de bladveer aan de rechterzijde zeer stijf verbonden met de constructie; aan de linkerzijde bepalen de bouten op buiging de (zeer veel lagere) stijfheid.

Er is slechts één inklemvlak effectief. Figuur 17 toont een in dit opzicht betere constructie. De beide inklemblokken vormen een even stijf geheel met de overige constructie. Beide hebben twee vrijheidsgraden vrij (x, ψ), zodat beide inklemblokken zich naar de aanliggende vlakken kunnen instellen. Dit is eigenlijk al méér dan voldoende.

Beperken van microslip in de inklemming

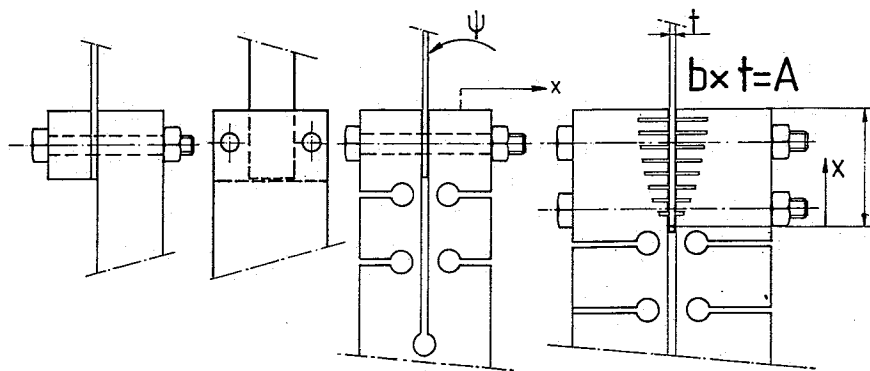
Met een "borstelbed" door draadvonken aangebracht in de klemvlakken is een hysteresisarme inklemming te realiseren volgens figuur 18.

De klemkracht kan in het midden van het borstelbed staan, zodat de druk gelijkmatig verdeeld is. In dat geval kan elk van de "vingers" - mits die op vaste steek staan en even breed en dik zijn - evenveel dwarskracht opnemen. Voor het verloop van de stijfheid langs de inklemming is dan af te leiden:

$$dc/dx = 2EA/x^2.$$

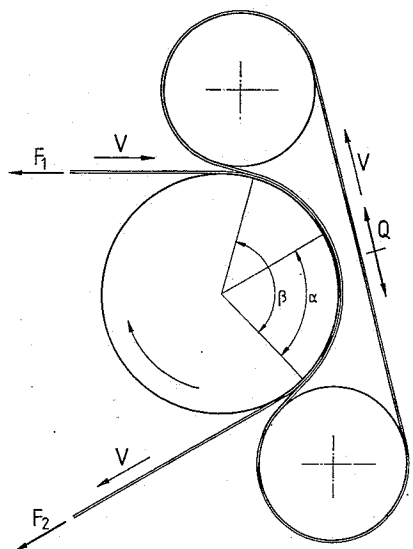
Het ligt voor de hand de gewenste stijfheid te verkrijgen door elke vinger (i) een aangepaste lengte respectievelijk gleufdiepte te geven (c_i is evenredig met $(l_i)^{-3}$).

Overigens geldt ook hier dat, als wat meer axiale vering van de te klemmen strip geen bezwaar is, men alle vingers even lang kan nemen en daarbij voor lief



Figuur 16
Figuur 17

Figuur 18



Figuur 19

nemen dat de voorste vingers relatief overbelast worden (minder naarmate de vingers elk slapper zijn ten opzichte van de stijfheid van de strip EA/i). Het aantal vingers kan men dan toch nog groot kiezen; dit opent de weg naar stijve en hoogbelastbare inklemmingen die toch uitzonderlijk hysteresisarm zijn. Bij extreem hoge belasting van de strip kan het nuttig zijn de klembouten iets uit het midden van de inklemming, in de richting van x , aan te brengen, zodat de klemdruk op de strip afneemt naarmate de reeds overgedragen trekkracht groter is. Wel moet de resterende vlaktedruk op de laatste (langste) "vingers" nog groot genoeg zijn om de dwarskracht op te kunnen brengen die minstens nodig is om de vinger op buiging de rek van de strip zonder slip te laten volgen.

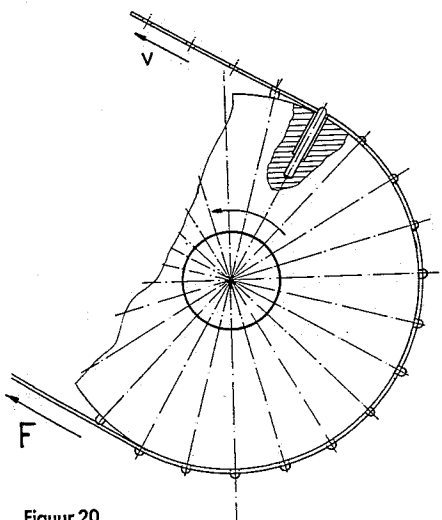
Beperken van microslip (kruip) tussen band en rol

Als constructieve oplossing kan men overwegen een hulpband volgens figuur 19 toe te passen. Deze hulpband zorgt voor de aanlegdruk op de rol waardoor in de hoofdband een kleinere trekkracht nodig is. Dientengevolge mag de bandspanning hoger worden, de band dikker dus stijver, met minder rek tot gevolg en dus minder kruip.

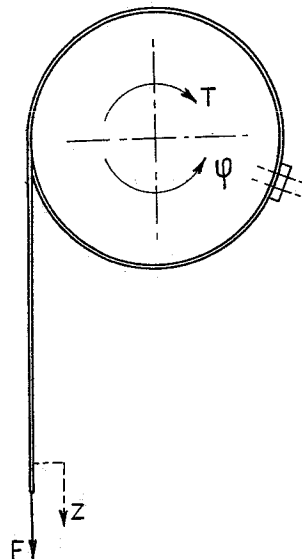
Pennenwiel

Voor het nauwkeurig transporteren of positioneren van geperforeerde band (staalband, filmband, computerpapier) wordt vaak gebruik gemaakt van pennenwielen. Een bezwaar hiervan is dat afhankelijk van toleranties op gatafstanden en op pennensteek één pen de kracht opneemt.

Als deze pen zich uit het spel terugtrekt wordt de vrijkomende speling met een



Figuur 20



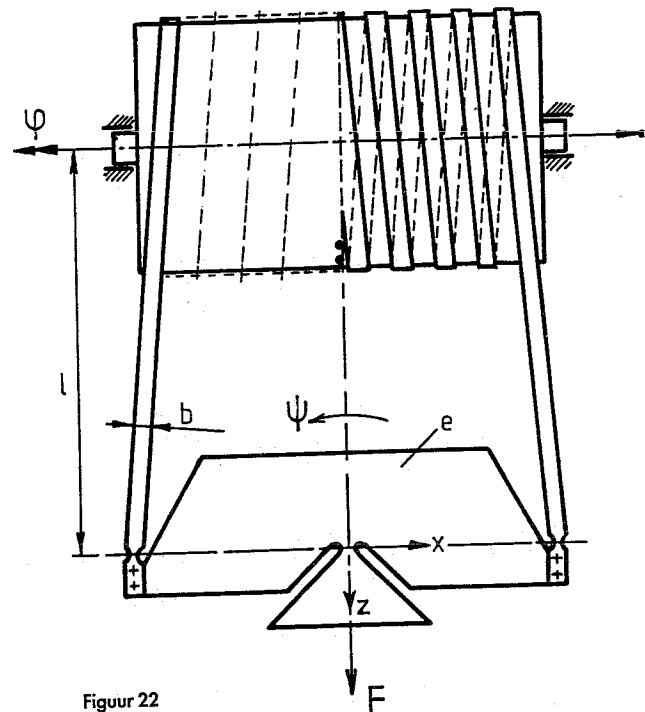
Figuur 21

schok doorlopen, wat leidt tot uitslijten of zelfs uitscheuren van het gat en slijtage van de pen.

Een alternatief is geschetst in figuur 20. Hierbij zijn de pennen ingeperst in geruimde gaten, waarvan eerst het buitenste deel opgeboord is, zodat het buiten het loopvlak uitstekende (afgeronde) deel van elke pen de vereiste lage stijfheid (c_{pen}) heeft om individuele steekfouten van de perforatie zonder beschadiging van de band op te kunnen nemen. Het gezamenlijk aantal pennen (n) dat met de band in ingrijping is, heeft echter een totale stijfheid (nc_{pen}) die voldoende hoog is om de vereiste plaatsnauwkeurigheid van de band te garanderen. Daarbij treedt een uitmiddeling van steekfouten op over het aantal perforaties dat in ingrijping is.

Aan de constructie van figuur 20 kleeft een schoonheidsfout. Pennenwiel en band vormen niet alleen een "tandwieloverbrenging" maar tegelijkertijd ook een "riemoverbrenging". De "riemoverbrenging" kan de aanpassingen van de elastische uitmiddelende "tandwieloverbrenging" moeilijk volgen. De totale overbrenging vertoont hysteresis en daarmee een "onbekendheid van plaats". Deze virtuele speling bedraagt: $s_v = 2 \cdot F_{band} \cdot \alpha \cdot \mu / (n \cdot c_{pen})$, waarin α de omspannen hoek is.

Alle tandriemen hebben deze eigenschap. Daaraan danken ze hun geringe



Figuur 22

re gevoeligheid voor het doorlopen van speling. Ze dissiperen stootenergie in wrijving en speling in "kruip" - dus niet in de zin van slip, maar als platte riemoverbrenging lopend totdat de tandspeling doorlopen is. Daardoor zijn ze voor aandrijvingen waarin het koppel van teken omkeert vaak te prefereren boven tandwieloverbrengingen.

Bandmechanismen geschikt voor meer omwentelingen

De trommel van het in figuur 21 geschetste bandmechanisme kan een hoek $\varphi > 2\pi$ doorlopen als de band in twee helften met tegengestelde spoed op de trommel ligt, zoals in figuur 22 is aangegeven.

Aannemende dat de vrije bandlengte (l) voldoende groot is ten opzichte van de breedte (b) om te mogen stellen dat x vrij is, wordt de evenwichtsbalk (e) aangebracht om de hoek ψ vrij te maken. Slechts z wordt nu vastgelegd, door de rotatie (φ) van de trommel. Door het vastzetten van de band is het verlopen van de positie onder invloed van kruip voorkomen.

Literatuur

Constructieprincipes, Prof.dr.ir. M.P. Koster, Universiteit Twente, Dictaat nr. 113136.

De heer E.A.G. Reker is medewerker van de sectie Constructies en Mechanismen - leerstoel Precision Engineering van de faculteit Werktuigbouwkunde T.U. Eindhoven.