

Twee modellen voor het bepalen van de dieptrekkracht m.b.v. de schillenmethode voor normaalanisotroop materiaal

Citation for published version (APA):

Du Bois, J. M. A., & Ramaekers, J. A. H. (1990). *Twee modellen voor het bepalen van de dieptrekkracht m.b.v. de schillenmethode voor normaalanisotroop materiaal*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA0992). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1990

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.

✓ Twee modellen voor het bepalen v.d *DTK*
dieptrekkraft m.b.v. de schillenmethode
voor normaalanisotroop materiaal.

ir. J.M.A. Du Bois

dr. ir. J.A.H. Ramaekers

nov '90

WPA 0992

IOPM—Dieptrekken 003

INHOUDSOPGAVE.

1	INLEIDING	2
2	DE SCHILLEN MEHTODE	3
3	BEPALING VAN DE EINDIGE REKKEN	7
4	BEPALING VAN DE BASISVERGELIJKINGEN VOOR ANISOTROOP MATERIAAL	10
4.1	DE TECHNISCHE ANISOTROPIECOËFFICIENTEN	11
4.2	RUIMTELIJKE BASISVERGELIJKINGEN VOOR ROTATIE- SYMMETRISCH NORMAALANISOTROOP PLAATMATERIAAL	13
5	TERMEN VOOR DE DIMENSIELOOS GESCHREVEN DIEPTREKKRACHT	17
6	CONCLUSIES	20
	LITERATUUR	21

1 INLEIDING.

In dit rapport worden in het kader van het IOP-M dieptrekproject twee methoden besproken waarmee de benodigde deformatiekracht voor de flens te bepalen is bij het dieptrekken van cirkelsymmetrische produkten tijdens de eerste trek. Bij de modelvorming wordt gebruik gemaakt van de schillenmethode. Bij deze methode bepaalt men het krachterevenwicht op een schil uit de flens, fig. 1, waaruit dan een differentiaalvergelijking voor de radiale spanningscomponent wordt afgeleid.

Met behulp van deze differentiaalvergelijking en een aantal aannamen met betrekking tot de optredende deformaties en spanningen in de flens kan nu met behulp van de gecorrigeerde Tresca vloeivoorwaarde of de geïntegreerde Levi-Von Mises relaties een term worden afgeleid waarmee de benodigde dieptrekkraft bepaald kan worden. In het eerste geval wordt er aangenomen dat de vloeifunctie voor exponentieel materiaal benaderd kan worden door een eerste orde functie. Toepassing hiervan leidt tot een analytische oplossing van de differentiaalvergelijking. In het tweede geval wordt de vloeifunctie voor exponentieel verstevigend materiaal in zijn oorspronkelijke vorm in de differentiaalvergelijking gesubstitueerd waarna middels numerieke integratie een oplossing kan worden bepaald voor de dieptrekkraft.

Er wordt uitgegaan van anisotroop materiaal. Er zal uitgebreid besproken worden hoe met behulp van de Levi-Von Mises relaties voor anisotroop materiaal, op voorstel van Hill, de konstitutieve vergelijkingen, de vloeivoorwaarde en de term voor het bepalen van de plastische deformatie bepaald kunnen worden voor rotatiesymmetrisch normaal-anisotroop plaatmateriaal.

De wrijving wordt bij de modelvorming buiten beschouwing gelaten omdat men in eerste instantie geïnteresseerd is in de verschillen tussen de twee methoden met betrekking tot de maximaal benodigde deformatiekracht voor de flens.

2 DE SCHILLENMETHODE.

Het dieptrekproces kan als volgt gemodeleerd worden, fig.1:

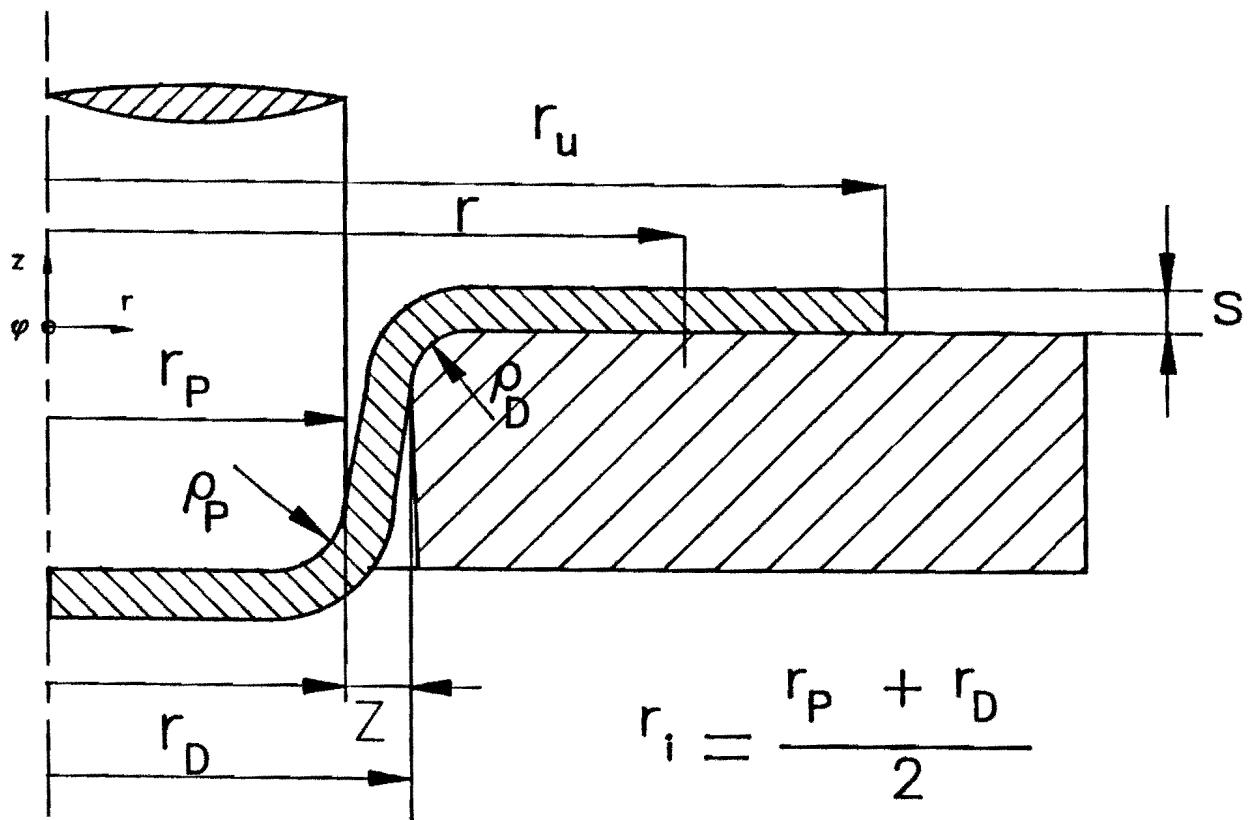


Fig.1 modellering van het dieptrekproces.

Bij de modelvorming in dit rapport wordt aangenomen dat de flens planparallel blijft tijdens het dieptrekken en dat er aan de rand een lijnspanningstoestand heerst. In de flens zelf wordt een vlakspanningstoestand aangenomen:

$$s \neq s(r)$$

$$\sigma_r(r=r_u) = 0$$

$$\sigma_z = 0$$

Uit symmetrieoverwegingen volgt:

$$\sigma_r \neq \sigma_r(\varphi)$$

Door het krachtenevenwicht te bepalen van de op een schil uit de flens werkende krachten, fig.2, kan men met verwaarlozing van tweede orde termen en hoger de volgende differentiaalvergelijking afleiden:

$$d\sigma_r + (\sigma_r - \sigma_\varphi) \frac{dr}{r} = 0 \quad (1)$$

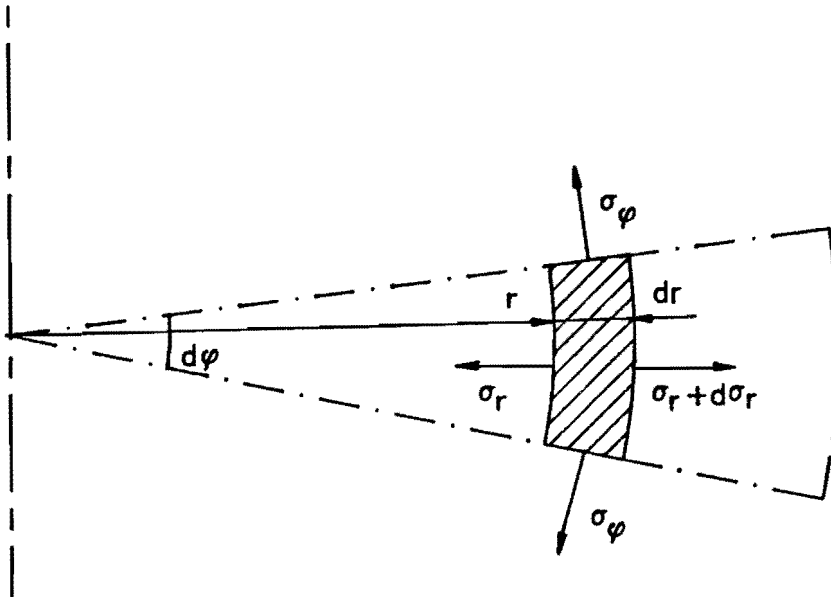


Fig.2 Krachtenevenwicht op een schil uit de flens.

Deze differentiaalvergelijking kan op twee manieren worden opgelost:

(I) Met behulp van de Tresca vloeivoorwaarde kan σ_φ in σ_r worden uitgedrukt. Omdat de Tresca vloeivoorwaarde afwijkende waarden geeft ten opzichte van de Von Mises vloeivoorwaarde nemen we de gecorrigeerde Tresca vloeivoorwaarde:

$$(\sigma_r - \sigma_\varphi) = 1.1\sigma_f \quad (2)$$

Hierin is σ_f de vloeivoorwaarde voor exponentieel verstevigend materiaal. Dit is een empirische relatie:

$$\sigma_f = C \cdot (\epsilon_0 + \epsilon_f)^n. \quad (3)$$

Er wordt nu aangenomen dat deze vloeifunctie benaderd kan worden door een eerste orde functie van de straal r [1], fig.3, dus:

$$\sigma_f = A + B \cdot \frac{r}{r_u}. \quad (4)$$

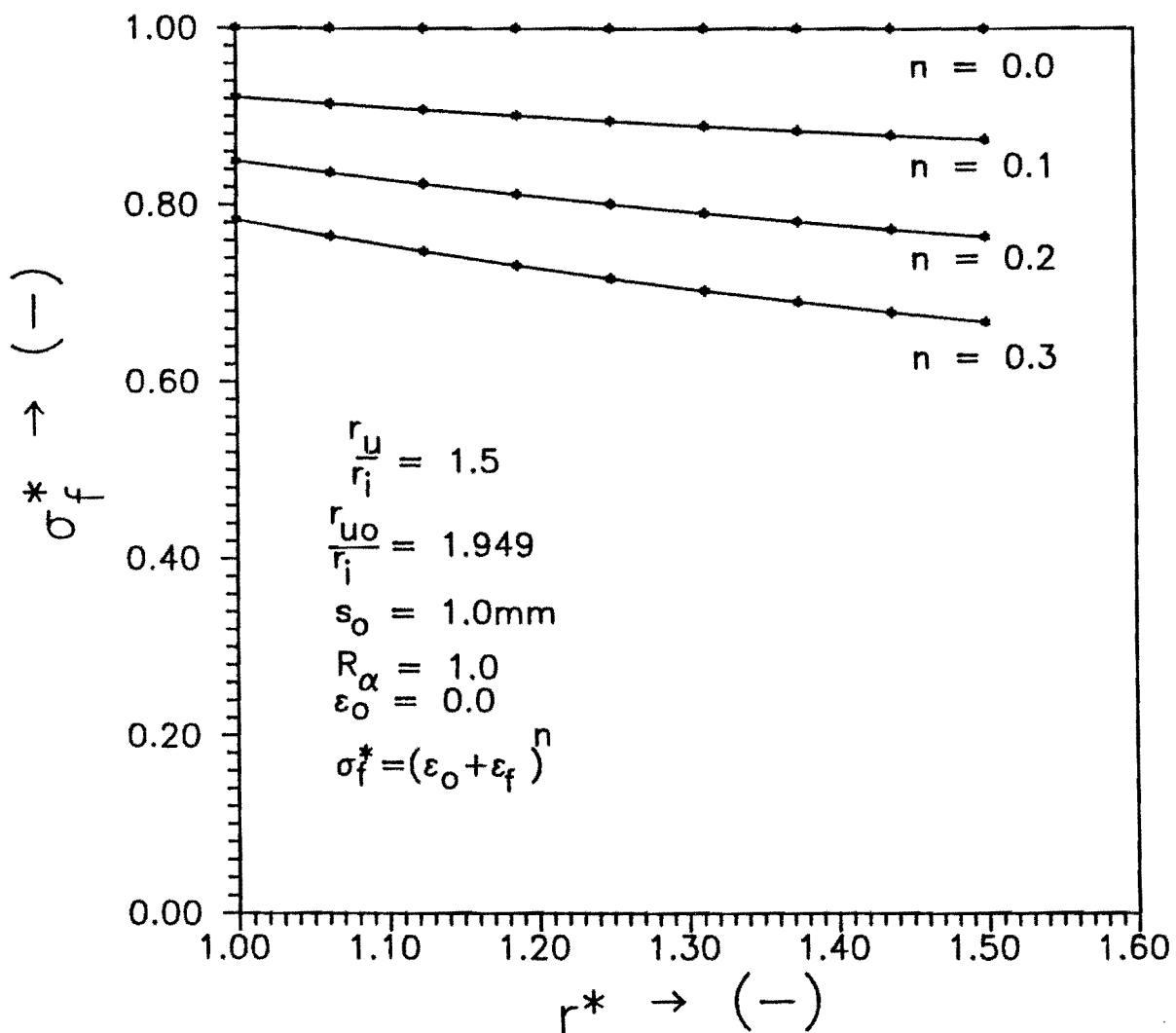


Fig.3 De dimensieloos geschreven waarde van de vloeispanning als functie van de momentane positie van een materieel deeltje in de flens voor verschillende waarden van de verstevigingsexponent.

Door nu (2) en (4) in (1) te substitueren kan men de volgende term afleiden voor de radiale spanning:

$$\sigma_r(r) = 1.1 \cdot A \cdot \text{LN}\left(\frac{r_u}{r}\right) + 1.1 \cdot B \cdot \left(1 - \frac{r}{r_u}\right). \quad (5)$$

Door (3) in (4) te substitueren kunnen de volgende termen worden afgeleid voor de coëfficiënten A en B:

$$A = \frac{1}{1 - \frac{r_u}{r_i}} \cdot \left\{ \sigma_f(r=r_u) - \frac{r_u}{r_i} \cdot \sigma_f(r=r_i) \right\}, \quad (6)$$

$$B = \frac{\frac{r_u}{r_i}}{1 - \frac{r_u}{r_i}} \cdot \left\{ \sigma_f(r=r_i) - \sigma_f(r=r_u) \right\}.$$

(II) Bij de tweede methode wordt gebruik gemaakt van de geïntegreerde Levi-Von Mises relaties. Met behulp van deze relaties voor anisotroop materiaal kan men de volgende term voor het spanningsverschil, $\sigma_r - \sigma_\varphi$, afleiden [2]:

$$\sigma_r - \sigma_\varphi = \frac{R_\alpha + 1}{2R_\alpha + 1} \cdot \sigma_f \cdot \frac{\epsilon_r - \epsilon_\varphi}{\epsilon_f}. \quad (7)$$

Substitutie van (6) in (1) levert de volgende, niet analytisch oplosbare vergelijking, voor de radiale spanning;

$$\sigma_r(r) = \int_r^{r=r_u} \frac{R_\alpha + 1}{2R_\alpha + 1} \cdot \sigma_f \cdot \frac{\epsilon_r - \epsilon_\varphi}{\epsilon_f} \cdot \frac{1}{r} \cdot dr. \quad (8)$$

Om nu met behulp van (5) en (8) voor de twee methoden de dieptrekkraft te bepalen moeten eerst de termen voor het bepalen van de eindige rek bepaald worden. Ook zal er een relatie worden gedefinieerd voor het bepalen van de plastische rek voor normaal-anisotroop materiaal.

3 BEPALING VAN DE EINDIGE REKKEN.

De eindige rekken in de drie hoofdrichtingen zijn als volgt gedefinieerd:

$$\epsilon_{\varphi} = \text{LN}\left(\frac{r}{r_0}\right) \quad (9)$$

$$\epsilon_z = \text{LN}\left(\frac{s}{s_0}\right) \quad (10)$$

$$\epsilon_r = -(\epsilon_{\varphi} + \epsilon_z) \quad (11)$$

Met behulp van volumeinvariantie voor een schil uit de flens, fig.4, kan de volgende term afgeleid worden voor r_0 uit de term voor de tangentele rek ϵ_{φ} :

$$r_0 = \left\{ -\frac{s}{s_0} (r_u^2 - r^2) + r_{u0}^2 \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

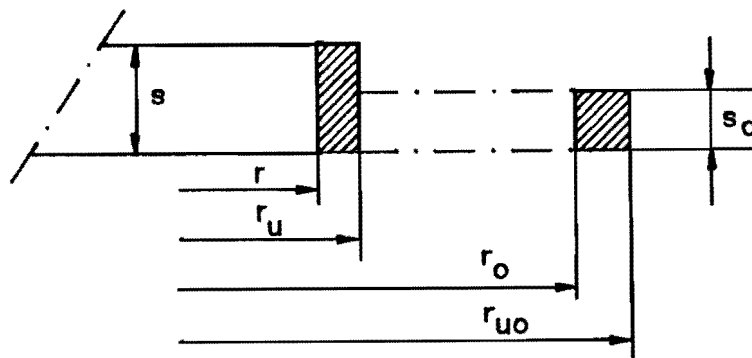


Fig.4 Model van de plastische deformatie van de rand van de flens.

Substitutie van (12) in (9) levert de volgende term voor ϵ_{φ} :

$$\epsilon_{\varphi} = -\text{LN} \left[\frac{r_u}{r} \cdot \sqrt{\left(\frac{r_{u0}}{r_u}\right)^2 - \left(1 - \left(\frac{r}{r_u}\right)^2\right) \cdot \frac{s}{s_0}} \right] \quad (13)$$

Definitie: Technische anisotropiefactor $R_\alpha = \frac{\epsilon_r(r=r_u)}{\epsilon_z(r=r_u)}$. (14)

Er wordt aangenomen dat de verhouding tussen de hoofdrekken constant is en dat de hoofdrichtingen ten opzichte van het materiaal dezelfde richting behouden. Per definitie hebben we dan te maken met een rechte rekweg [3]:

$$\epsilon_r : \epsilon_z : \epsilon_\varphi = 1 : \kappa : -(1 + \kappa) \quad (15)$$

Uit (14) en (15) volgt dat

$$\kappa = \frac{1}{R_\alpha} \quad (16)$$

Hieruit volgt voor de rekfactor $\frac{\epsilon_z}{\epsilon_\varphi}(r=r_u)$

$$\frac{\epsilon_z}{\epsilon_\varphi}(r=r_u) = -\frac{1}{1 + R_\alpha} \quad (17)$$

Met (9) en (10) volgt hieruit voor de flensdiktequotient gamma:

$$\gamma = \left(\frac{s}{s_0}\right) = \left\{ \frac{r_{u0}}{r_u} \right\}^{\left(\frac{1}{1 + R_\alpha}\right)} \quad (18)$$

Substitutie van (18) in (13) levert nu de term voor de tangentiale rek ϵ_φ en substitutie van (18) in (10) levert de term voor de rek in dikte richting:

$$\epsilon_\varphi = -\text{LN} \left\{ \frac{r_u}{r} \cdot \sqrt{\left(\frac{r_{u0}}{r_u}\right)^2 - \left(1 - \left(\frac{r}{r_u}\right)^2\right) \cdot \gamma} \right\} \quad (19)$$

$$\epsilon_z = \text{LN}(\gamma) \quad (20)$$

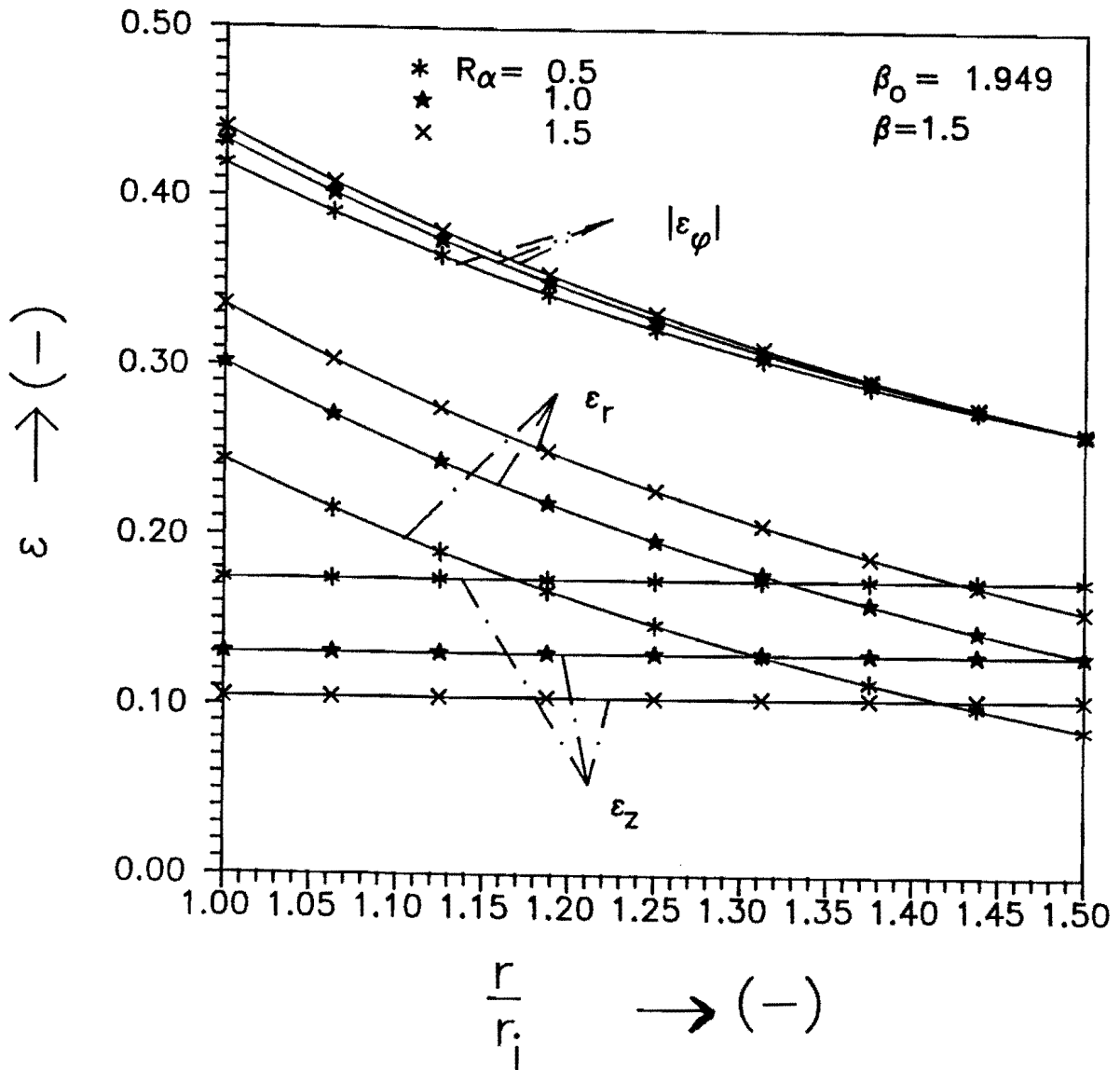


Fig.5 De logaritmische of natuurlijke rek in de drie hoofdrichtingen als functie van de positie r/r_i van een materieel deeltje in de flens met $\beta_0 = r_{u0}/r_i$ en $\beta = r_u/r_i$. De rek is berekend voor drie verschillende waarden van de normaal anisotropie

4 BEPALING VAN DE BASISVERGELIJKINGEN VOOR ANISOTROOP MATERIAAL.

In dit hoofdstuk is gebruik gemaakt van de aantekeningen van professor Kals [4] voor het afleiden en formuleren van basistermen voor anisotroop plaatmateriaal. Hierbij is gebruik gemaakt van de Levi-Von Mises relaties voor anisotroop materiaal.

De Levi-Von Mises relaties voor anisotroop materiaal kunnen op voorstel van Hill [5] als volgt weergegeven worden:

$$\begin{aligned} d\epsilon_{\text{I}} &= \frac{d\lambda}{2} \cdot \left\{ F \cdot (\sigma_{\text{I}} - \sigma_{\text{z}}) + H \cdot (\sigma_{\text{I}} - \sigma_{\varphi}) \right\}. \\ d\epsilon_{\text{z}} &= \frac{d\lambda}{2} \cdot \left\{ G \cdot (\sigma_{\text{z}} - \sigma_{\varphi}) + F \cdot (\sigma_{\text{z}} - \sigma_{\text{I}}) \right\}. \\ d\epsilon_{\varphi} &= \frac{d\lambda}{2} \cdot \left\{ H \cdot (\sigma_{\varphi} - \sigma_{\text{I}}) + G \cdot (\sigma_{\varphi} - \sigma_{\text{z}}) \right\}. \end{aligned} \quad (21)$$

De deformatiearbeid die verricht wordt bij een incrementele vervorming door de op een materieel blokje werkende krachten kan als volgt bepaald worden:

$$dW_{\text{s}} = \sigma_{\text{I}} d\epsilon_{\text{I}} + \sigma_{\text{z}} d\epsilon_{\text{z}} + \sigma_{\varphi} d\epsilon_{\varphi}. \quad (22)$$

Door nu de constitutieve relaties (21) in deze vergelijking te substitueren en gebruik te maken van de nu volgende definitie:

$$dW_{\text{s}} = d\lambda \cdot \bar{\sigma}^2 \quad (23)$$

kan de volgende term afgeleid worden voor de effectieve spanning ook wel de spanningspotentiaal genoemd, dit is een functie van de spanningstoestand die aangeeft wat het vervormingsvermogen van de spanningstoestand onder de gegeven omstandigheden is:

$$2\bar{\sigma}^2 = \left\{ F \cdot (\sigma_{\text{I}} - \sigma_{\text{z}})^2 + G \cdot (\sigma_{\text{z}} - \sigma_{\varphi})^2 + H \cdot (\sigma_{\varphi} - \sigma_{\text{I}})^2 \right\}. \quad (24)$$

De specifieke deformatiearbeid kan ook als volgt geschreven worden:

$$dW_s = \bar{\sigma} d\bar{\epsilon}. \quad (25)$$

Met behulp van (23), (24) en (25) kan nu een term afgeleid worden voor de incrementele effectieve rek:

$$d\bar{\epsilon} = \frac{d\lambda}{\sqrt{2}} \cdot \left[F \cdot (\sigma_r - \sigma_z)^2 + G \cdot (\sigma_z - \sigma_\varphi)^2 + H \cdot (\sigma_\varphi - \sigma_r)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (26)$$

Door de spanningsverschiltermen met behulp van de konstitutieve relaties (21) te bepalen kan de volgende term voor de imcrementele effectieve rek worden afgeleid:

$$d\bar{\epsilon} = \left[\frac{2 \cdot \{ G \cdot d\epsilon_r^2 + H \cdot d\epsilon_z^2 + F \cdot d\epsilon_\varphi^2 \}}{F \cdot G + G \cdot H + H \cdot F} \right] \quad (27)$$

Met de in dit hoofdstuk behandelde afleidingen is het deformatiemodel voor anisotroop materiaal rond. We hebben namelijk de relevante termen, de termen voor de effectieve rek, de effectieve spanning en de konstitutieve relaties, bepaald voor anisotroop materiaal. Om deze relaties nu te kunnen gebruiken in de dieptrekmodellen zullen er een aantal vereenvoudigingen moeten worden doorgevoerd waarbij er een aantal aannamen worden gedaan met betrekking tot de optredende spanningstoestand bij het dieptrekken en de optredende anisotropie

4.1 DE TECHNISCHE ANISOTROPIEKOËFFICIËNTEN.

Met behulp van de trekproef kan men de anisotropiefactoren voor de verschillende hoofdrichtingen bepalen. Dit doet men door de dwarsrek te delen door de dikte rek. De anisotropiefactoren worden als volgt gedefinieerd, cyclische definitie, waarbij gebruik wordt gemaakt van de konstitutieve relaties (21) in het geval van lijnspanning welke bij de trekproef optreedt:

$$R_r = \frac{d\epsilon_z}{d\epsilon_\varphi} = \frac{F}{H}$$

$$R_z = \frac{d\epsilon_\varphi}{d\epsilon_r} = \frac{G}{F} \quad (28)$$

$$R_\varphi = \frac{d\epsilon_r}{d\epsilon_z} = \frac{H}{G}$$

De praktische toepassing van het Hill model werd in 1964 door Hosford en Backofen geïntialiseerd. Doordat het model van Hill de quantitative behandeling van het begrip oervorming nog niet mogelijk maakt hebben zij zich bewust beperkt tot rotatiesymmetrisch anisotroop plaatmateriaal. In dat geval moeten de termen voor $d\epsilon_\varphi$ en $d\epsilon_r$ (21) congruent zijn ten opzichte van de normaalspanning zodat:

$$G = F \quad (29)$$

(29) is dus de voorwaarde voor de afwezigheid van planaire anisotropie waardoor de rotatiesymmetrie wordt gehandhaafd. In dat geval geldt dat de anisotropiefactor voor iedere richting evenwijdig aan het vlak van de plaat even groot is zodat we met behulp van de definitie voor de normaalanisotropie:

$$R = \frac{R_0 + R_{90} + 2 \cdot R_{45}}{4}, \quad (30)$$

de volgende grootheid kunnen definiëren, technische definitie (zie ook (14) en (28)):

$$R_\alpha = R = \frac{H}{G}. \quad \alpha = \epsilon \{0,45,90\}. \quad (31)$$

4.2 RUIMTELIJKE BASISVERGELIJKINGEN VOOR ROTATIESYMMETRISCH NORMAALANISOTROOP PLAATMATERIAAL.

Door substitutie van (29) en (31) in (24) kan men de volgende term afleiden voor de specifieke spanning voor plaatmateriaal met uitsluitend normaal-anisotropie:

$$2\bar{\sigma}^2 = G \cdot \left\{ (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\varphi)^2 + R_\alpha \cdot (\sigma_\varphi - \sigma_r)^2 \right\}. \quad (32)$$

Voor de incrementele rek kan met behulp van (29) en (31) de volgende term worden afgeleid uit (27):

$$d\bar{\epsilon} = \left\{ \frac{2}{G \cdot (2R_\alpha + 1)} \cdot \{ d\epsilon_r^2 + d\epsilon_\varphi^2 + R_\alpha \cdot d\epsilon_z^2 \} \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (33)$$

Een vervelende complicatie is nu dat de factor G in alle basisvergelijkingen is komen te staan. Voor ons bijzonder geval kan deze factor echter keurig weggewerkt worden. Hiertoe vervangen we de effectieve vloeikromme door de trekkromme waarbij de trekrichting evenwijdig is met het plaatoppervlak. Bij de trekproef in de r- of de φ -richting geldt dat σ_φ respectievelijk σ_r en σ_z gelijk zijn aan nul zodat met (32) de volgende relatie verkregen kan worden voor de vloeispanning bij de trekproef:

$$\sigma_f^2 = \frac{2\bar{\sigma}^2}{G \cdot (R_\alpha + 1)} \quad (34)$$

Omschrijven van (32) met gebruik van (34) levert nu een technisch bruikbare ruimtelijke vloeivoorwaarde waarin alleen nog maar constanten in voorkomen die rechtstreeks uit de trekproef kunnen worden bepaald:

$$\sigma_f^2 = \frac{1}{R_\alpha + 1} \cdot \left\{ (\sigma_r - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_\varphi)^2 + R_\alpha \cdot (\sigma_\varphi - \sigma_r)^2 \right\}. \quad (35)$$

Met betrekking tot de term voor de incrementele rek gaan we nu analoog te werk. Met behulp van de definitie voor de technische anisotropiefactor (31) en uitgaande van lokale volumeinvariantie kunnen we de volgende relaties afleiden voor de incrementele rekken:

$$d\epsilon_r = -\frac{R_\alpha}{R_\alpha + 1} \cdot d\epsilon_\varphi \quad (36)$$

$$d\epsilon_z = -\frac{1}{R_\alpha + 1} \cdot d\epsilon_\varphi$$

Door (36) in (33) te substitueren, en te stellen dat de incrementele rek $d\epsilon_\varphi$ gelijk is aan de incrementele plastische deformatie $d\epsilon_f$ bij de trekproef, kunnen we de term voor de incrementele effectieve rek in het geval van lijnspanningstoestand bepalen:

$$d\bar{\epsilon} = d\epsilon_f \cdot \left[\frac{2}{G \cdot (R_\alpha + 1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (37)$$

Door (37) te substitueren in (33) kan nu een term afgeleid worden waarmee de plastische deformatie bepaald kan worden. Omdat we aangenomen hebben dat de verhouding tussen de hoofdrekken constant is wordt de term als functie van de eindige rekken gepresenteerd:

$$\epsilon_f = \left\{ \frac{R_\alpha + 1}{2R_\alpha + 1} \cdot \{ \epsilon_r^2 + \epsilon_\varphi^2 + R_\alpha \cdot \epsilon_z^2 \} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (38)$$

Deze term kan door toepassing van lokale volumeinvariantie en delen door ϵ_φ ook als volgt geschreven worden:

$$\epsilon_f = \left\{ \frac{R_\alpha + 1}{2R_\alpha + 1} \cdot \left\{ 2 + 2 \cdot \left(\frac{\epsilon_z}{\epsilon_\varphi} \right) + (R_\alpha + 1) \cdot \left(\frac{\epsilon_z}{\epsilon_\varphi} \right)^2 \right\} \right\}^{\frac{1}{2}} \cdot |\epsilon_\varphi| \quad (39)$$

In Fig.6 is het verloop van de plastische deformatie als functie van de dimensieloos geschreven positie van een materieel deeltje in de flens uitgezet voor verschillende waarden van de normaal-anisotropie en de momentane positie van de rand van de flens.

Met behulp van (23) en (25) kunnen we voor $d\lambda$ in de constitutieve relaties (21) schrijven:

$$d\lambda = \frac{d\bar{\epsilon}}{\bar{\sigma}} \quad (40)$$

Door substitutie van (34) en (37) in (40) en toepassing van (29) kunnen we nu de Levi-Von Mises relaties afleiden voor normaal-anisotroop plaatmateriaal uit de constitutieve vergelijkingen (21):

$$d\epsilon_r = \frac{d\epsilon_f}{\sigma_f \cdot (R_\alpha + 1)} \cdot \left[(\sigma_r - \sigma_z) + R_\alpha \cdot (\sigma_r - \sigma_\varphi) \right]$$

$$d\epsilon_z = \frac{d\epsilon_f}{\sigma_f \cdot (R_\alpha + 1)} \cdot \left[(\sigma_z - \sigma_\varphi) + (\sigma_z - \sigma_r) \right]$$

$$d\epsilon_\varphi = \frac{d\epsilon_f}{\sigma_f \cdot (R_\alpha + 1)} \cdot \left[R_\alpha \cdot (\sigma_\varphi - \sigma_r) + (\sigma_\varphi - \sigma_z) \right]$$
(41)

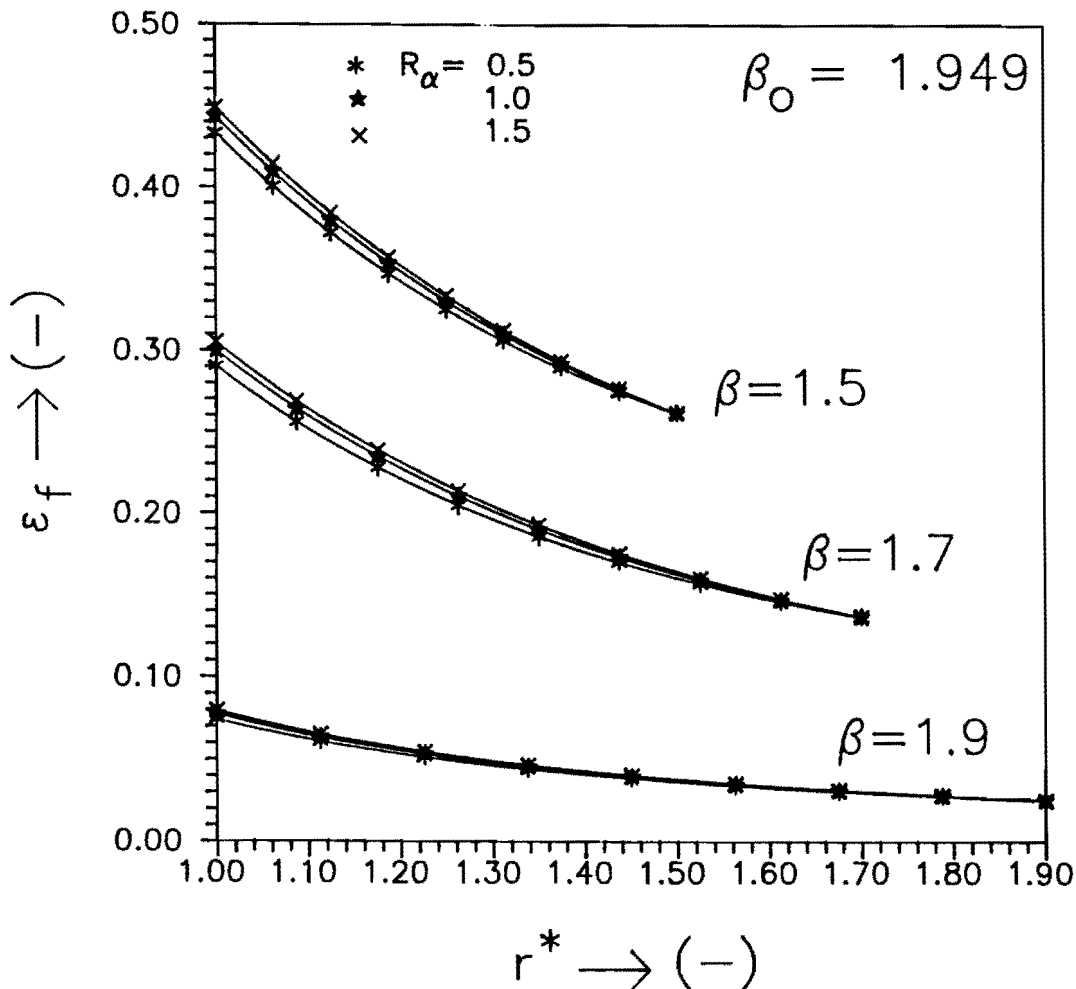


Fig. 6 De plastische deformatie als functie van de dimensieloos geschreven positie van een materieel deeltje in de flens voor verschillende posities van de blenkrand en drie verschillende waarden van de anisotropie

In Fig.7 is de invloed van de anisotropie op de vloeispanning (3) weergegeven voor verschillende waarden van de versterigingsexponent n en de anisotropie. Uit de grafiek blijkt dat de invloed van de anisotropie op de vloeispanning in principe te verwaarlozen is. Dit kan men ook uit Fig.6 concluderen in combinatie met (3) waaruit blijkt dat een kleine afwijking van de plastische deformatie zal resulteren in een nog kleinere afwijking van de plastische vloeispanning doordat de n -de macht van de plastische deformatie wordt genomen bij het bepalen van de plastische vloeispanning.

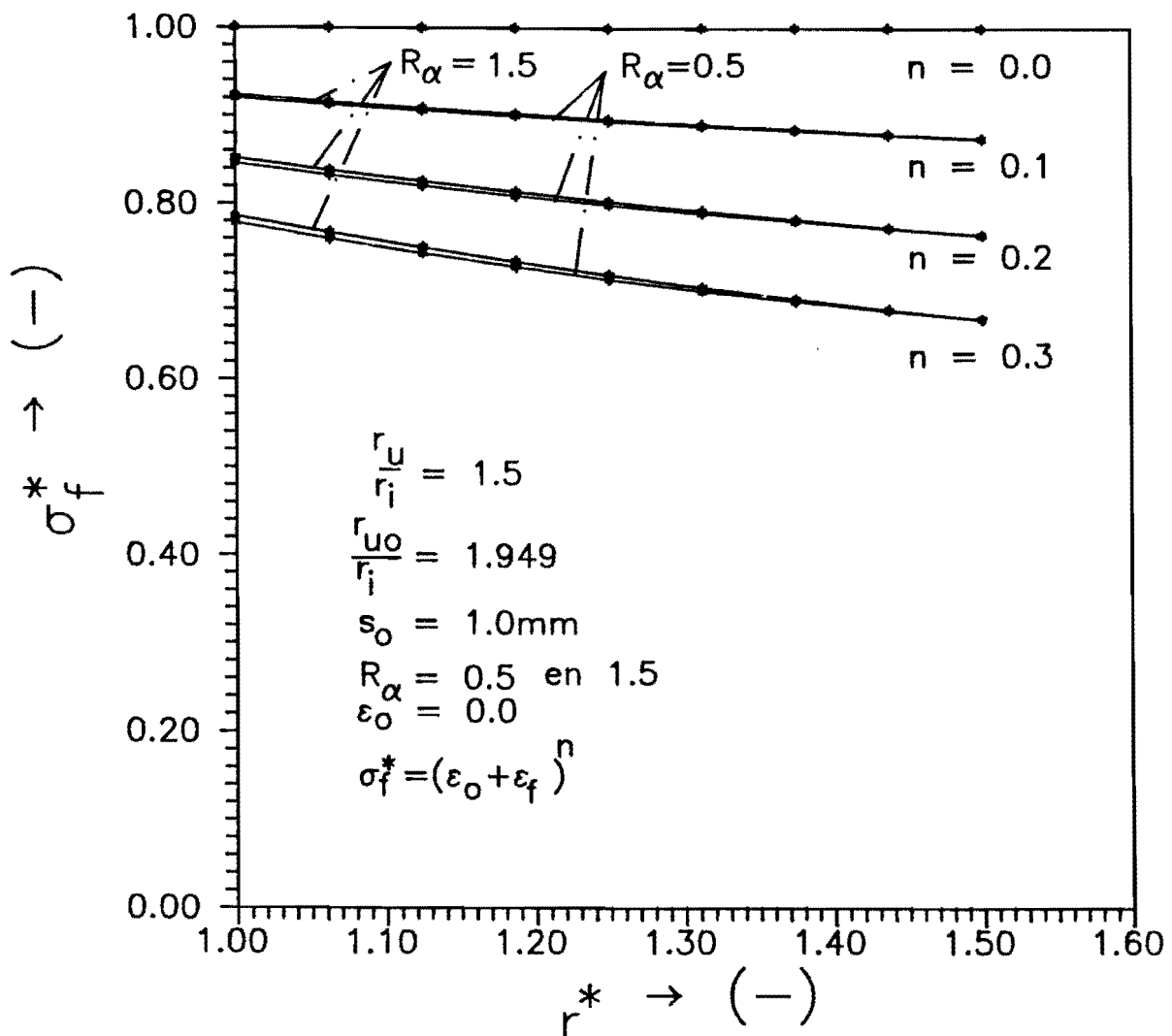


Fig.7 De dimensieloos geschreven vloeispanning als functie van de dimensieloos geschreven positie van een materieel deeltje in de flens voor verschillende waarden van de versteriging en de anisotropie.

5 TERMEN VOOR DE DIMENSIELOOS GESCHREVEN DIEPTREKKRACHT

De dieptrekkraft wordt bepaald op de plaats waar de radiale spanning σ_r maximaal is. Per definitie geldt:

$$F_{\text{def}} = 2\pi \cdot r_i \cdot s \cdot \sigma_r(r=r_i). \quad (42)$$

De dimensieloos geschreven dieptrekkraft wordt als volgt gedefinieerd:

$$F_{\text{def}}^* = \frac{F_{\text{def}}}{2\pi \cdot r_i \cdot s_0 \cdot C} = \gamma \cdot \frac{\sigma_r(r=r_i)}{C} \quad (43)$$

Met γ volgens (18) en $\sigma_r(r)$ volgens (5). De volgende grootheden worden gedefinieerd:

$$\text{momentane dieptrekverhouding: } \beta = \frac{r}{r_i} \quad (44)$$

$$\text{initiele dieptrekverhouding: } \beta_0 = \frac{r_{u0}}{r_i} \quad (45)$$

$$\text{positie van een materieel deeltje in de flens: } r^* = \frac{r}{r_i} \quad (46)$$

Voor model (I) kan nu de volgende term afgeleid worden voor de dimensieloze dieptrekkraft:

$$F_{\text{def(I)}}^* = \gamma \cdot 1.1 \cdot \left[\frac{A}{C} \cdot \text{LN}(\beta) + \frac{B}{C} \cdot \text{LN}\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \right] \quad (45)$$

Met A en B volgens (6), de term voor de vloeispanning in deze coëfficiënten volgens (3), de term voor de plastische deformatie hierin volgens (39) en de termen van de eindige rekken hierin volgens (19) en (20).

Gebruik makend van de definities (42), (43), (44), (45) en (46), en de term voor $\sigma_r(r)$ volgens (8) waarbij met behulp van lokale volumeinvariantie ϵ_r wordt weggewerkt, kan men voor de dimensieloze deformatiekracht volgens model (II) schrijven:

$$F_{\text{def(II)}}^* = \gamma \cdot \frac{R_\alpha + 1}{2R_\alpha + 1} \int_{r^*=1}^{r^*=\beta} \frac{\sigma_f}{C} \cdot \left[2 - \left| \frac{\epsilon_z}{\epsilon_\varphi} \right| \right] \cdot |\epsilon_\varphi| \cdot \frac{1}{r^*} \cdot dr^* \quad (46)$$

Met de vloeispanning volgens (3), de plastische deformatie volgens (39) en de eindige rekken volgens (19) en (20).

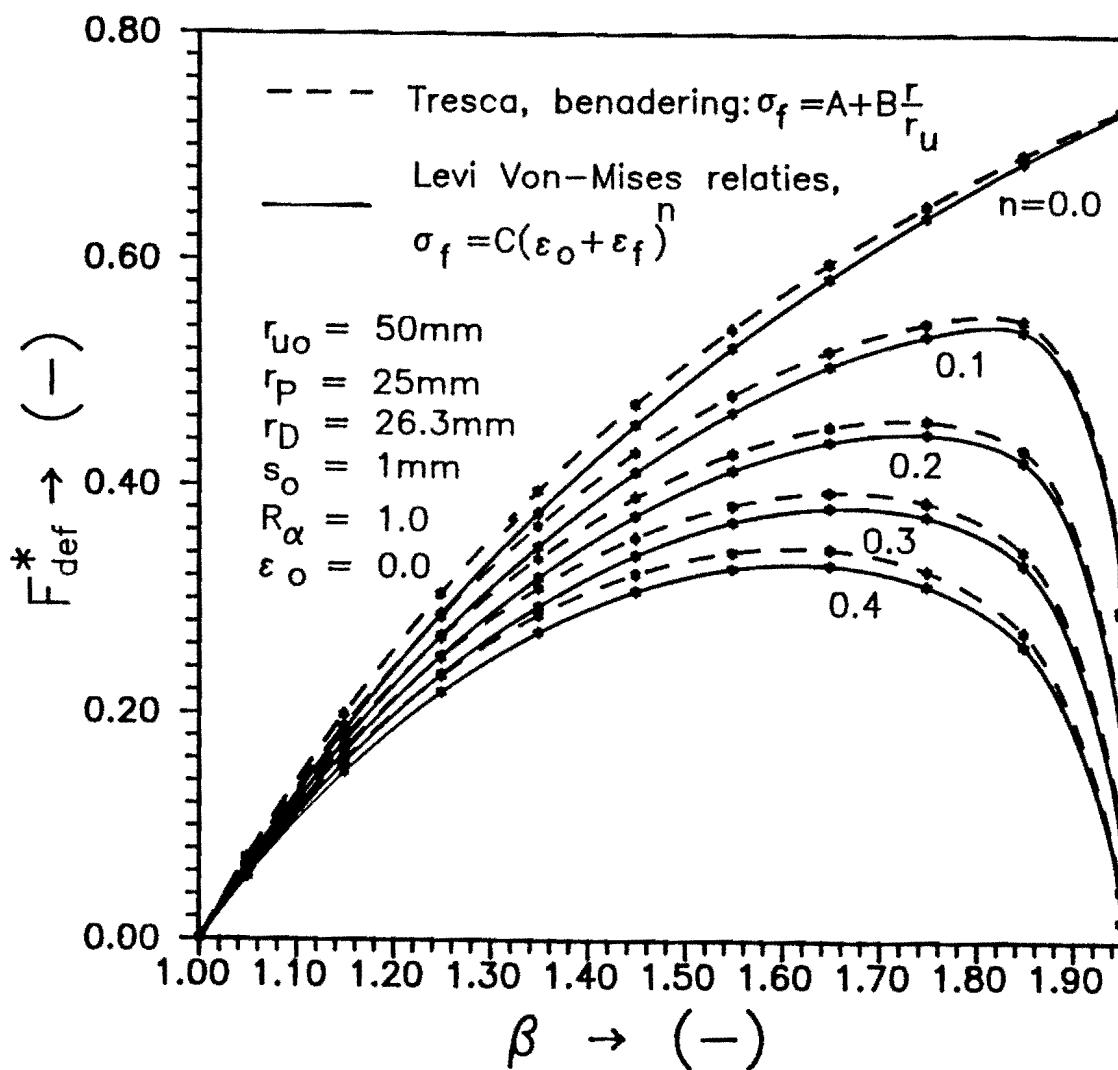


Fig.8 De dimensieloos geschreven dieptrekkkracht als functie van de momentane dieptrekverhouding, met variatie van de versterking, voor de twee modellen.

In Fig.8 wordt de benodigde dimensieloos geschreven dieptrekkkracht als functie van de momentane dieptrekverhouding voor de twee verschillende modellen weergegeven. Het blijkt dat het tweede model (Levi-Von Mises relaties, exponentieel verstevigend materiaal) de laagste oplossing levert voor de benodigde kracht. In Fig.9 is ten slotte weergegeven wat de invloed is van de normaal-anisotropie op de dimensieloos geschreven deformatiekracht. Ook hier blijkt dat de invloed van de anisotropie gering is. Vooral in het voor ons interessante punt, daar waar de benodigde kracht maximaal is, zijn de verschillen in de benodigde maximale kracht minimaal.

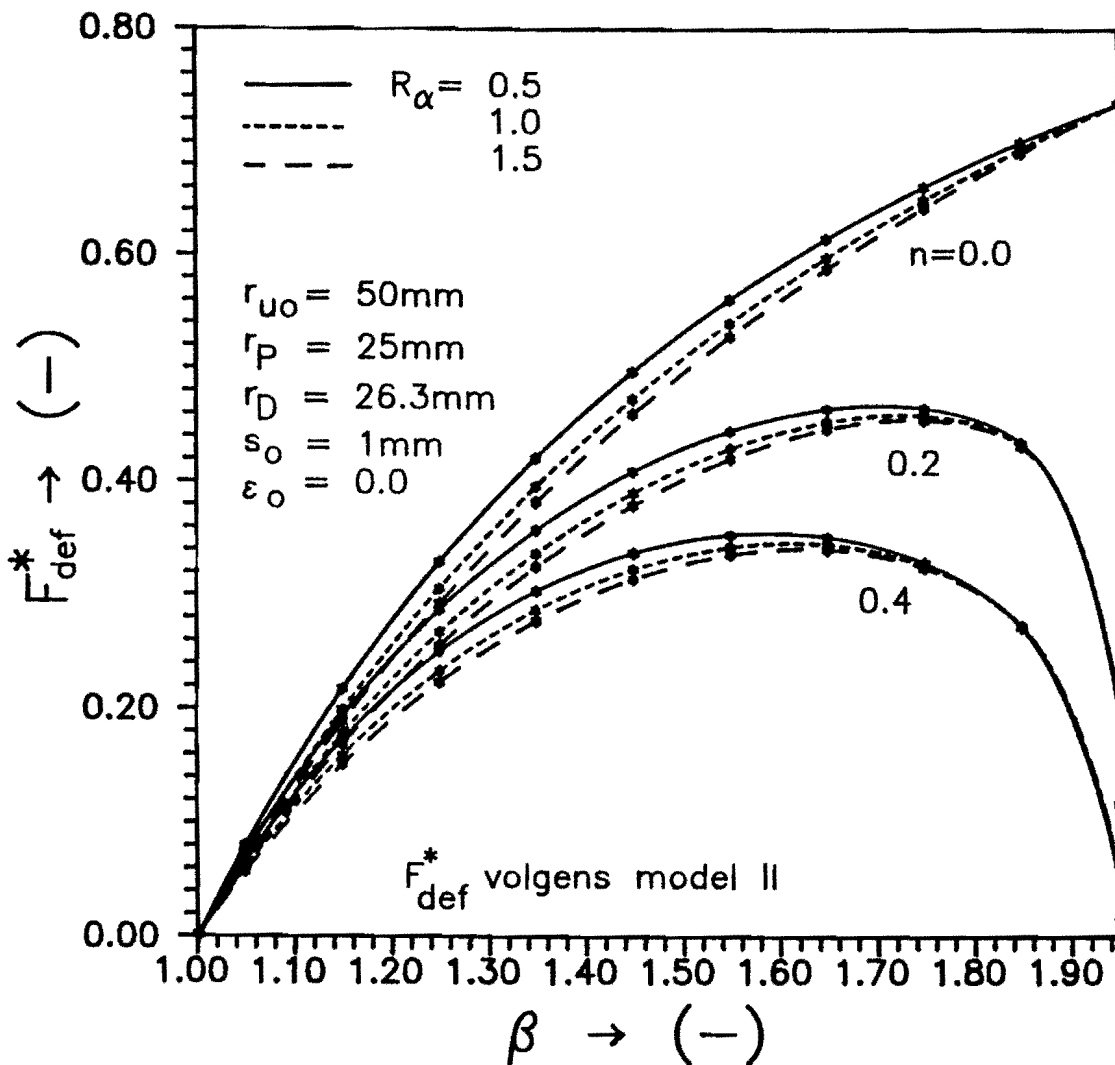


Fig.9 De dimensieloos geschreven dieptrekkkracht als functie van de momentane dieptrekverhouding bepaald met behulp van de vergelijking voor de dimensieloze dieptrekkkracht volgens model II met variatie van de anisotropie.

6 CONCLUSIES.

Uit het bovenstaande kan men concluderen dat de in dit rapport besproken modelleringen in principe weinig verschillen in de te berekenen benodigde dieptrekkraft laten zien. Men kan dus met de vereenvoudigde analytische oplossing evengoed voorspellingen doen met betrekking tot de benodigde dieptrekkraft.

De invloed van de anisotropie op de plastische deformatie en de vloeispanning blijkt zeer gering te zijn. Dat de anisotropie toch nog een duidelijk aantoonbare, Fig.9, zij geringe invloed heeft op de benodigde dieptrekkraft is te verklaren uit de grote invloed die de anisotropie heeft op de flensdiktequotient γ en dientengevolge op de rek in dikterichting van de flens, Fig.5. Hieruit kan men concluderen dat de keuze van het dikte verloop van de flens gedurende het dieptrekproces in belangrijke mate bepalend is voor de te bepalen benodigde dieptrekkraft.

LITERATUUR

- [1] Ramaekers, J.A.H.
Houtackers, L.J.
Peeters, P.B. **Plastisch Bewerken van Metalen, Procesbeheersing in de Onderdelen Fabricage. ISBN 90-6808-007-5, Uitgave Omtec-Stichting. Mierlo (1988).**
- [2] Du Bois, J.M.A. **Modellering van het Dieptrekproces. Afstudeerverslag TUE, WPA nr. 0931, Bijlage F. Eindhoven (1990).**
- [3] Hoogenboom, S. **Engineering Plasticity. Department of Mechanical Engineering, Eindhoven University of Technology. EUT Report 87-WPA-0560, ISSN 0167-9708.**
ook:
Technische Plasticiteitsleer. Diktaat nr. 4406. TUE. Eindhoven (1987).
- [4] Kals, J.A.G. **Een Plastisch Deformatiemodel Voor Anisotroop Materiaal. Diktaat TUE nr. 4558, hfd. 2. Eindhoven (1983).**
- [5] Hill, R. **The Mathematical Theory of Plasticity. Oxford University Press. Oxford (1988).**