

Een verwerkingssysteem voor de
meetgegevens van de striptrek-unit

Analyse en Technisch Manual

~~VERTROUWELIJK~~

Door: E.H.T.H. Tenbult

HS-Eindhoven Eindstudieverslag 1

Mei 1990

VF-Code: D₂/D₃ WPA-nr: 901

In opdracht van

T.U.Eindhoven

Faculteit der Werktuigbouwkunde

Vakgroep W.P.A.

Laboratorium voor Omvormtechnologie

Begeleiders

Dr Ir J.A.H. Ramaekers

Ir L.J.A. Houtackers

Ir N. van Beckum

Schrijver

E.H.T.H. Tenbult

H.T.S. Eindhoven

Eindhoven, 25 mei 1990

WE 1

Ir. L.J.A. Houtackers

Samenvatting

In het Laboratorium voor Omvormtechnologie (TUE) houdt men zich sinds een aantal jaren bezig met de ontwikkeling van complete dataverwerkingssystemen. Het totale dataverwerkingssysteem is te splitsen in twee delen: Het opnemen van meetgegevens en het verwerken van deze meetgegevens tot een technologische meetrapport.

Voor het opnemen van de meetgegevens is het noodzakelijk eerst een goed data-aquisitie systeem op te zetten. De moderne systemen bestaan uit een kaart, die de analoge signalen van de meetopstelling omzet in digitale signalen. Met behulp van software is het inlezen van de data te conditioneren.

Het data-verwerkingsprogramma voor de striptrek-unit is geschreven in Turbo Pascal 5.0. De gegevens worden verwerkt volgens een model dat gebaseerd is op de momentstelling. In de toekomst kan het programma eenvoudig worden uitgebreid met een tweede model.

Na invoering en verwerking van oude meetgegevens kan men concluderen dat het von Mises-wrijvingsmodel niet kan worden toegepast op het striptrekproces. De wrijvingskracht is immers duidelijk afhankelijk van σ_0 . Het Coulomb-model is daarentegen wel toepasbaar, tenzij de oppervlakedruk boven een maximale waarde uitkomt. In dat geval zal de gemeten wrijvingskracht lager zijn dan verwacht.

Voorwoord

Tijdens mijn afstudeerperiode ben ik werkzaam geweest op de T.U.E., vakgroep W.P.A., Lab. voor omvormtechnologie. In de groep omvormtechnologie wordt ondermeer onderzoek gedaan naar plastische omvormprocessen zoals dieptrekken, extrusie en buigen.

Naast het uitvoeren van een literatuuronderzoek met betrekking tot de striptrektest, bestond de opdracht uit het schrijven van een dataverwerkingsprogramma in Turbo Pascal 5.0. Dit programma dat dient aan te sluiten op het datatakerprogramma moet aan de eisen die het Lab. voor Omvormtechnologie stelt voldoen.

Hierbij wil ik alle medewerkers van de vakgroep W.P.A. bedanken voor de prettige samenwerking; met name M. Th. de Groot, Ir L.J.A. Houtackers en Dr Ir J.A.H. Ramaekers voor de goede begeleiding. Verder wil ik mijn dank richten aan mijn begeleider van de Hogeschool Eindhoven, Ir N van Beckum.

Inhoudsopgave

blz.

Titelblad

Samenvatting

Voorwoord

Inhoudsopgave

Figurenlijst

Symbolenlijst

<u>H1 Inleiding</u>	1
1.1 Het dieptrekproces	1
1.2 Het data-verwerkingsprogramma	3
<u>H2 De meetopstelling</u>	4
2.1 Principe van de meetopstelling	4
2.2 De proef	6
<u>H3 Theoretische achtergronden</u>	7
3.1 Inwendige krachten en spanningen	7
3.2 Het verband tussen σ_0 en de vlaktedruk	10
3.3 Bepaling van de wrijvingskracht F_w	12
<u>H4 Wrijvingsmodellen</u>	15
4.1 Wrijving	15
4.2 Het Coulomb-wrijvingsmodel	15
4.3 Het von Mises-wrijvingsmodel	16
4.4 Toepassing van de wrijvingsmodellen op de striptrekproef	17

Verwerkingsprogramma striptrekproef

<u>H5 Het programma</u>	19
5.1 Het programma (algemeen)	19
5.2 Structuur van het programma	20
5.3 Opslag data	22
5.4 Het programma (programmeer technisch)	23
<u>H6 Resultaten programma</u>	25
6.1 De wrijvingsmodellen	25
6.2 Het verband tussen F_w en σ_0	25
6.3 Het verband tussen F_w en R	26
6.4 Dikte-afname	29
<u>Literatuurlijst</u>	31
<u>Bijlage 1</u> De trekbank	32
<u>Bijlage 2</u> F_w-R grafiek	33
<u>Bijlage 3</u> Diktereductie grafiek	34

Figurenlijst

	blz.
fig. 1: Het dieptrekproces	1
fig. 2: Het gereedschapsprincipe	4
fig. 3: Het gereedschapsprincipe	4
fig. 4: Het gereedschap	5
fig. 5: Verschillende typen buigrollen	7
fig. 6: Inwendige krachten en spanningen	8
fig. 7: Het wrijvingsdeel	9
fig. 8: Het wrijvingsdeel bij losse buigrol	10
fig. 9: Krachtenverdeling van het wrijvingsdeel	11
fig. 10: Krachten op de buigrollen	12
fig. 11: F_u^* als functie van F_1^* voor vaste en losse buigrol	13
fig. 12: Het verband tussen de vlaktedruk en de wrijvingsspanning (Coulomb)	16
fig. 13: Het verband tussen de vlaktedruk en de wrijvingsspanning (von Mises)	16
fig. 14: Lokaal evenwicht	17
fig. 15: Structuur van het programma	20
fig. 16: Opslag van data	22
fig. 17: Het verband tussen de wrijvingskrachten en σ_0	26
fig. 18: Het verband tussen F_w en R	27
fig. 19: De wrijvingskracht als functie van de radius	28
fig. 20: Dikteverloop	29
fig. 21: s_u/s_1 als functie van de ingangskracht	29

Symbolenlijst

$F_1 = F_{rem}$: Remkracht	[N]
$F_u = F_{uit}$: Trekkkracht	[N]
F_0	: Kracht net na het buigen	[N]
F_w	: Wrijvingskracht	[N]
F_e	: Kracht net voor strekken	[N]
F_{buig}	: Buigkracht	[N]
F_{strek}	: Strekkkracht	[N]
$F^* = F / (b_0 \cdot s_1)$: Kracht gedeeld door het beginoppervlak	[N/mm ²]
$b_0 = b_e$: Breedte strip voor en na de proef	[mm]
s_1	: Dikte van strip voor buigen	[mm]
s	: Dikte van strip na buigen	[mm]
s_u	: Dikte van strip na strekken	[mm]
R	: Radius buigrol	[mm]
M	: Middelpunt buigrol	[-]
A_0	: Opp. dwarsdoorsnede voor het buigen	[mm ²]
$A = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R \cdot b_0$: Opp. halve cirkelboog	[mm ²]
A/A_0	: Momentane opp gedeelt door oorspr. opp.	[-]
τ	: Wrijvingsspanning	[N/mm ²]
τ_{max}	: Maximale wrijvings/ afschuif spanning	[N/mm ²]
p	: Vlaktedruk	[N/mm ²]
p_{max}	: Maximale vlaktedruk	[N/mm ²]
u	: Verplaatsing	[mm]
μ	: Wrijvingsfactor Coulomb	[-]
m	: Wrijvingsfactor von Mises	[-]
f_c	: Richtingscoëfficiënt	[-]
y_{off}	: y offset	[-]

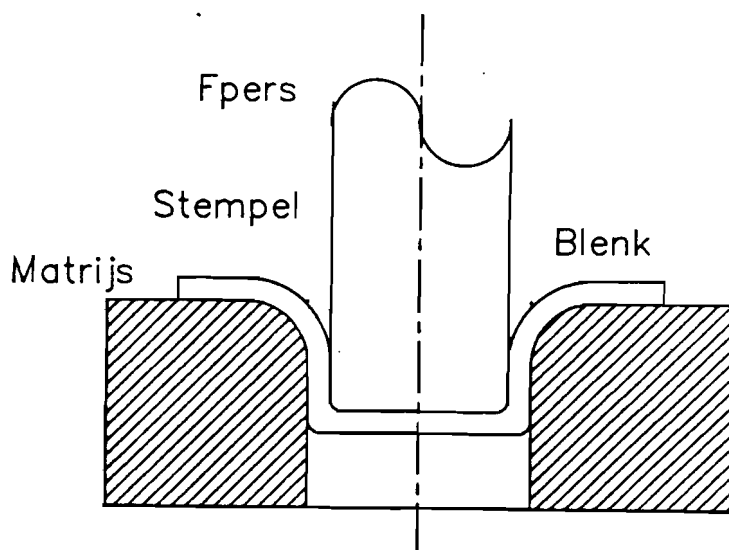
H1 Inleiding

1.1 Het dieptrekproces

De metaalbewerking heeft tot doel een ruw stuk materiaal in een bepaalde vorm te brengen om het op functionele wijze aan de gestelde eisen te laten voldoen. De keuze voor een bepaalde techniek is van een aantal factoren afhankelijk, maar globaal kan men stellen dat de omvormtechniek zeer geschikt is voor het produceren van grote series. Voordelen van het plastisch omvormen zijn:

- * gering materiaalverlies
- * grote stijfheid van het product
- * hoge nauwkeurigheid en goede reproduceerbaarheid
- * hoge productiesnelheden

Een veel voorkomend omvormproces is het dieptrekken waarbij een vlakke plaat (blenk) met behulp van een stempel in een matrijs wordt geperst.



Figuur 1 Het dieptrekproces

Het belangrijkste onderdeel van het dieptrekproces is het trekken van het plaatmateriaal over de matrijsafronding. Hierbij wordt het materiaal aan het begin van de afronding gebogen (A) en aan het eind daarvan weer gestrekt (B).

De wrijving, die ontstaat doordat de plooihouder met een bepaalde kracht op de blenk drukt, veroorzaakt een remkracht (F_{rem}). Deze remkracht zal nog verder toenemen door de stukwerking in de blenk tijdens het dieptrekproces. De som van de rem-, buig-, strek- en wrijvingskrachten mag niet te groot worden, daar de trekkracht (F_{trek}) in de bekerwand niet boven een maximale waarde mag komen.

Om het verloop van de krachten te onderzoeken werd een meetopstelling ontwikkeld, waarin een metalen strip om buigrol wordt getrokken. Er is sprake van een vereenvoudigde simulatie van het werkelijke proces, omdat de breedte-rek (die in werkelijkheid ontstaat door stuk in de blenk) wordt uitgeschakeld. Wel blijft er een dikte-rek aanwezig die in de vorm van een dikte-reductie ontstaat bij het buigen en strekken van de strip om de buigrol.

1.2 Het data-verwerkingsprogramma

Het data-verwerkingsprogramma kan worden beschouwd als een onderdeel van een groter geheel, dat tot doel heeft de dataverwerking met betrekking tot de striptrekproef te optimaliseren. Taak van dit onderdeel is het transformeren van meetgegevens naar een standaard meetrapport voorzien van relevante grafieken en tabellen.

Voor het inlezen van meetgegevens is het noodzakelijk eerst een goed data-aquisitiesysteem op te zetten. De moderne aquisitiesystemen bestaan uit een kaart die analoge signalen omzet in digitale signalen. Met behulp van software is het inlezen van de data te conditioneren.

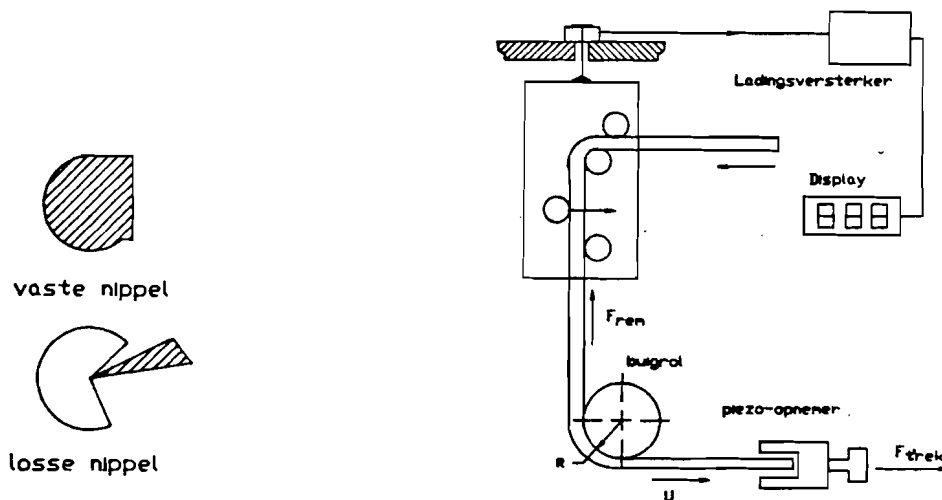
Daarnaast is het wellicht noodzakelijk het oude ontwerp van de striptrek-unit te herzien, daar dit ontwerp niet de mogelijkheid biedt om een drietal verplaatsingsopnemers te installeren.

Het theoretisch model waarop het verwerkingsprogramma is gebaseerd komt aan de orde in hoofdstuk 3 (Theoretische achtergronden). Terwijl de opbouw van het programma wordt behandeld in hoofdstuk 5 (Opbouw Programma).

H2 De Meetopstelling

2.1 Principe van de meetopstelling

De experimenten zijn uitgevoerd op een standaard trekbank (merk: Universal Hounsfield Tensometer, zie bijlage 1). Hierop wordt een speciaal gereedschap geplaatst waarin een buigrol en het remmechanisme zijn gemonteerd. Het principe van het gereedschap is geschetst in de figuren 2,3 en 4.

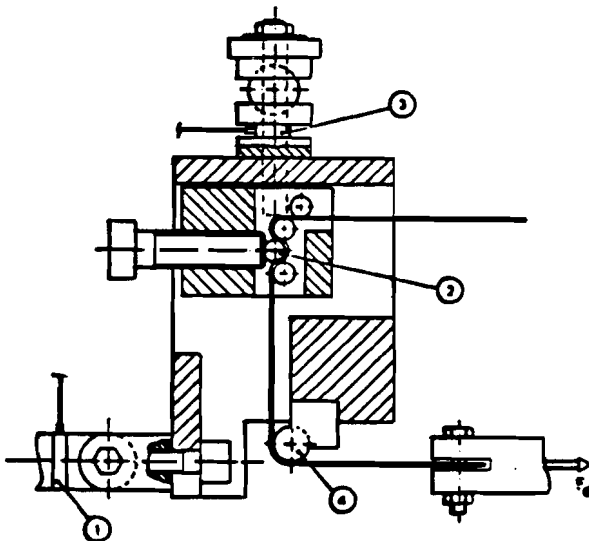


Figuur 2 en 3 Het gereedschapsprincipe

De trekkracht die nodig is om de strip met constante snelheid (u) onder een hoek van 90° over de buigrol te trekken wordt geleverd door de trekbank. Na een kort inloopverschijnsel ontstaat er dus een stationair proces waarbij de krachten oplopen tot een maximale constante waarde. De trekkracht is dus eigenlijk een reactiekracht die afhankelijk is van de remkracht en de kracht die nodig is om de strip langs de buigrol te bewegen.

De remkracht, die gelijk is aan de benodigde kracht om de strip door de rem te trekken, is afhankelijk van de positie van cilinder 2 (zie fig 4). De remkracht is maximaal als de hartlijn van cilinder 2 op een lijn ligt met die van naastliggende cilinders. De strip wordt dan maximaal vervormd.

De beide krachten F_{trek} en F_{rem} worden gemeten met behulp van piëzo-krachtopnemers. Deze sturen een elektrisch signaal dat qua sterkte rechtevenredig is met kracht, naar een ladingsversterker. Hierna kan het signaal worden ingelezen door het data-aquisitie systeem en/of naar een display worden gestuurd.



figuur 4 Het gereedschap

De metingen kunnen worden onderverdeeld in twee groepen. Een groep met wrijving langs de bulgrol en een zonder wrijving. In de praktijk wordt daarom gebruik gemaakt van zowel een vaste als een roterende bulgrol. Bij het gebruik van de vaste bulgrol wordt de strip gesmeerd met talk om Slip-and-Stick effecten te voorkomen.

2.2 De proef

Om de wrijving te bepalen is naast het gebruik van een losse en een vaste buigrol noodzakelijk de remkracht te variëren binnen een bepaald gebied. Dit gebied is afhankelijk van de vloeispanning van het gebruikte materiaal en de radius van de buignippel, daar de strip niet mag insnoeren ten gevolge van te grote trekkrachten.

De nauwkeurigheid waarmee de wrijving wordt berekend is afhankelijk van het aantal meetparen en de verdeling van de remkracht binnen het toelaatbare gebied. Spreiding van de remkracht over het totale gebied heeft evenals een groot aantal meetparen hierop een gunstig effect.

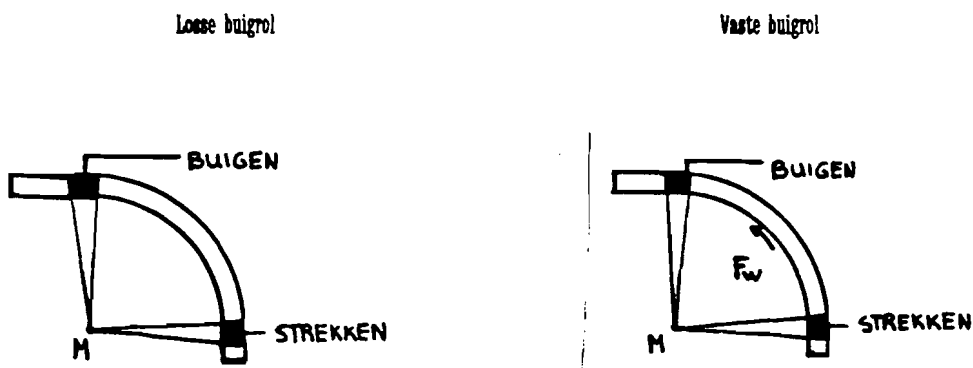
Om grafisch het verband weer te geven tussen de wrijving en de radius van de buigrol is het bovendien noodzakelijk de diameter van de buigrol te variëren.

Kern van de proef is nu het, voor elke diameter en type buigrol, trapsgewijs variëren van de remkracht todat het maximum is bereikt.

H3 Theoretische Achtergronden

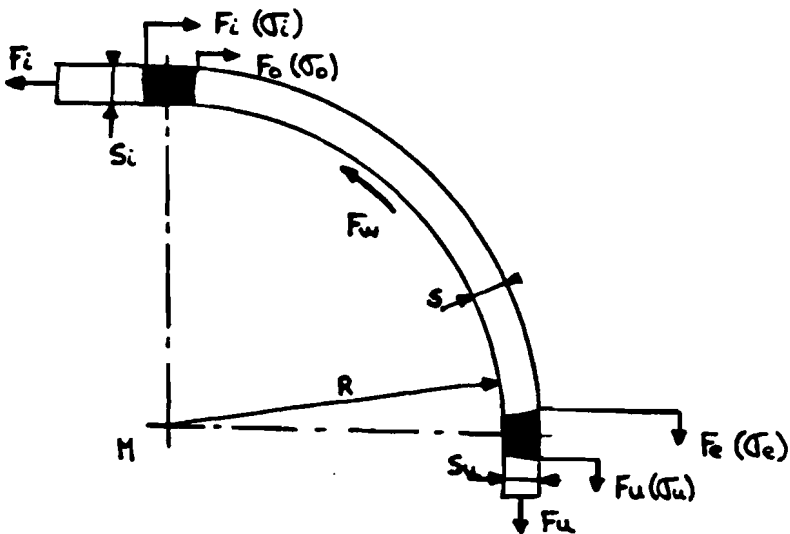
3.1 Inwendige krachten en spanningen

Het proces bij de vaste buigrol is onder te verdelen in drie deelprocessen: **buigen**, **wrijving** en **strekken** (zie fig. 5). Bij de losse buigrol is de invloed van de wrijving te verwaarlozen. Dit proces bestaat uit de deelprocessen: **buigen** en **strekken**.



figuur 5 Verschillende typen buigrollen

Om onderzoek te doen naar de optredende wrijving is het noodzakelijk de krachten en spanningen die op de grenzen van elk deelproces werken te kunnen achterhalen.



figuur 6 Inwendige krachten en spanningen

$$F_o = F_i + F_{buis} \quad 3.1$$

$$F_e = F_u - F_{strek} \quad 3.2$$

$$\sigma_i = F_i / (b_o \cdot s_i) \quad 3.3$$

$$\sigma_o = F_o / (b_o \cdot s) \quad 3.4$$

$$\sigma_e = F_e / (b_o \cdot s) \quad 3.5$$

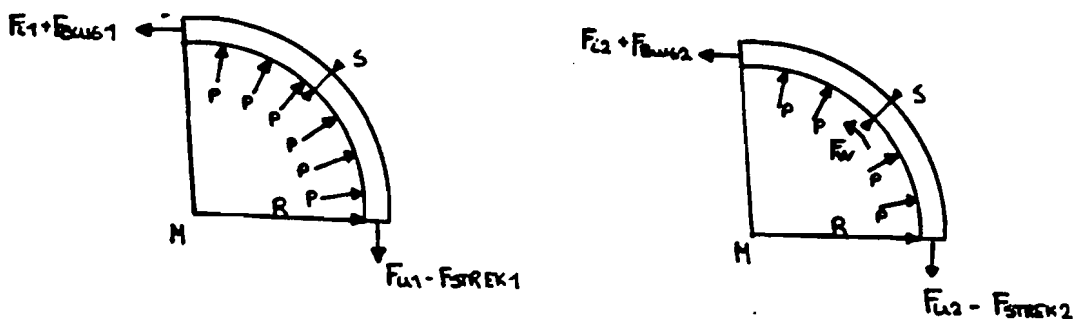
$$\sigma_u = F_u / (b_o \cdot s_u) \quad 3.6$$

Hierbij wordt aangenomen dat de breedte-rek gelijk is aan nul, $b_o = b_e$. Deze aanname is gerechtvaardigd, omdat aan de eis $b_o > 10 \cdot s_i$ wordt voldaan (formule voor het buigen van dunne plaat).

De krachten die op het **wrijvingsdeel** werken kunnen niet direct worden gemeten. Deze krachten moeten daarom uit $F_1 (=F_{rem})$ en $F_u (=F_{trek})$ worden afgeleid. De grootte van de wrijvingskracht is onder andere afhankelijk van de ingangsvariabele σ_0 . Het is daarom interessant σ_0 uit te drukken in de bekende variabelen (F_u, F_1).

Losse buigrol (index 1)

Vaste buigrol (index 2)



figuur 7 Het wrijvingsdeel

Aanname: $R \gg s/2$

Momentstelling t.o.v. M:

$$\Sigma M_M = 0$$

$$R^2(F_{11} + F_{buig1}) - R^2(F_{u1} - F_{strek1}) = 0$$

$$F_{u1} - F_{11} = F_{buig1} + F_{strek1}$$

3.7

Aanname: $F_{\text{buig1}} \approx F_{\text{strek1}}$

Verklaring: Het te buigen oppervlak is groter als het te strekken oppervlak, $Opp_{\text{buig}} > Opp_{\text{strek}}$. Het te strekken materiaal is daarentegen verstevigd, $\sigma_{\text{strek}} > \sigma_{\text{buig}}$. In zijn totaliteit kan men stellen: $Opp_{\text{buig}} \cdot \sigma_{\text{buig}} \approx Opp_{\text{strek}} \cdot \sigma_{\text{strek}}$.

Hieruit volgt:

$$F_{\text{buig1}} = \frac{1}{2}(F_{\text{u1}} - F_{\text{i1}})$$

Met behulp van formule 3.1 volgt:

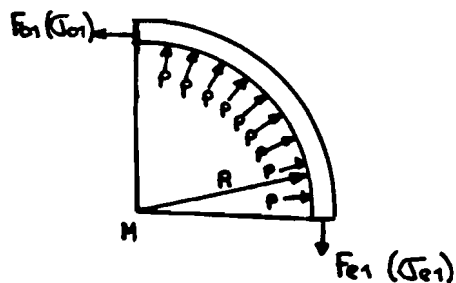
$$F_{\text{o1}} = \frac{1}{2}F_{\text{u1}} + \frac{1}{2}F_{\text{i1}}$$

$$\sigma_{\text{o1}} = \frac{1}{2}(F_{\text{u1}} + F_{\text{i1}}) / (b_0 \cdot s)$$

3.8

3.2 Het verband tussen σ_o en de vlaktedruk

De hieronder afgeleide formule is allen geldig bij een gelijkmatig verdeelde vlaktedruk. In werkelijkheid zal er echter ter plaatse van het buigen en strekken een drukberg ontstaan.



Figuur 8 Het wrijvingsdeel bij de losse buigrol

De momentstelling om M levert:

$$\Sigma M_M = 0$$

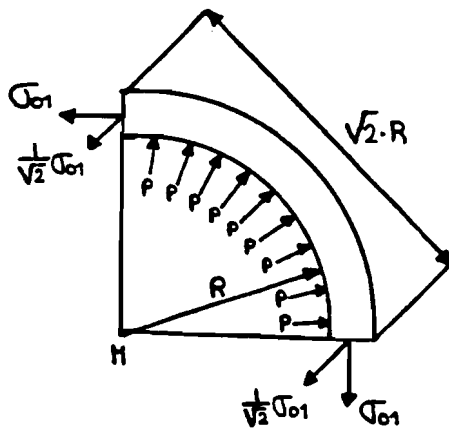
$$F_{o1} = F_{e1}$$

3.9

Daar het oppervlak van de doorsnede over het hele wrijvingsdeel constant blijft, geldt ook:

$$\sigma_{o1} = \sigma_{e1}$$

3.10



figuur 9 Krachtenverdeling van het wrijvingsdeel

Krachtevenwicht:

$$\Sigma F = 0$$

$$p \cdot b_0 \cdot \sqrt{2} \cdot R = 2 \cdot b_0 \cdot s \cdot 1/\sqrt{2} \cdot \sigma_{o1}$$

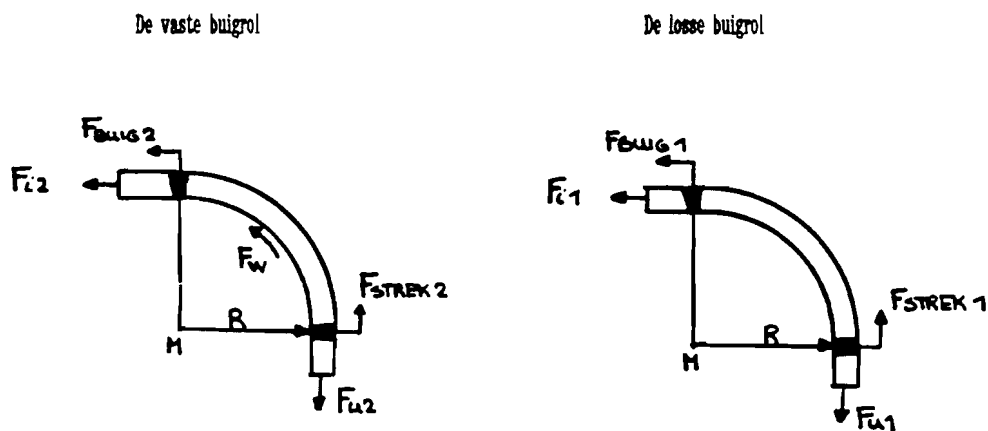
3.11

$$p = s/R \cdot \sigma_{o1}$$

3.12

3.3 Bepaling van de wrijvingskracht F_w

Het deel waarop de wrijvingskracht werkt is ingesloten tussen het buig- en het strekgebied. Evenals bij de bepaling van σ_0 kan ook hier de momentstelling hulp bieden.



figuur 10 Krachten op de buigrollen

Vast

$$\Sigma M_M = 0$$

$$F_{u2} \cdot R = F_{12} \cdot R + F_w \cdot R + F_{buig2} \cdot R + F_{strek2} \cdot R \quad 3.13$$

$$F_{u2} = F_{12} + F_w + F_{buig2} + F_{strek2} \quad 3.14$$

Los

$$\Sigma M_M = 0$$

$$F_{u1} \cdot R = F_{11} \cdot R + F_{buig1} \cdot R + F_{strek1} \cdot R \quad 3.15$$

$$F_{u1} = F_{11} + F_{buig1} + F_{strek1} \quad 3.16$$

Omdat het begin-oppervlak ($A_0 = b_0 \cdot s_1$) niet voor alle strips dezelfde waarde heeft, is het niet correct F_{buig1} (F_{strek1}) gelijk te stellen aan F_{buig2} (F_{strek2}).

Dit kan echter worden opgelost door alle krachten te delen door het begin-oppervlak $F^* = F / (b_0 \cdot s_1)$

Het toepassen van deze dwardoorsnedecorrectie op de vergelijkingen 3.14 en 3.16 levert:

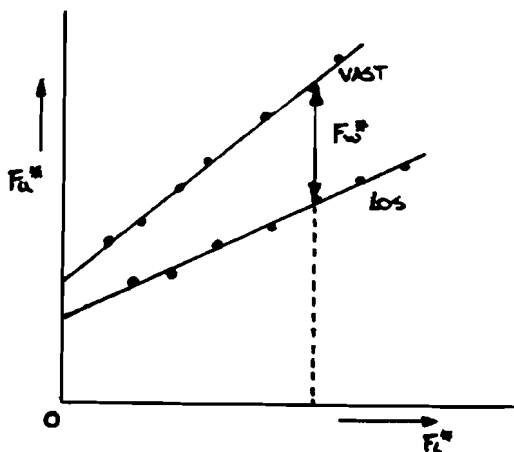
$$F_{u2}^* = F_{12}^* + F_w^* + F_{buig2}^* + F_{strek2}^*$$

$$F_{u1}^* = F_{11}^* + F_{buig1}^* + F_{strek1}^* \quad \text{---}$$

$$F_{u2}^* - F_{u1}^* = F_{12}^* - F_{11}^* + F_w^* \quad 3.17$$

Omdat de invloed van het begin-oppervlak op de buig- en strekkrachten is uitgeschakeld, kan men stellen dat $F_{buig1}^* = F_{buig2}^*$ en $F_{strek1}^* = F_{strek2}^*$.

Als nu de gemeten waarden van F_u^* worden uitgezet tegen F_1^* kan met behulp van deze grafiek en formule 3.17 de wrijvingskracht F_w^* worden bepaald. Figuur 11 geeft een voorbeeld van zo'n grafiek.



Figuur 11 F_u^* als functie van F_1^* voor vaste en losse buigrol

$$F_w^* = F_{u2}^* - F_{u1}^* \quad (\text{Indien } F_{11}^* = F_{12}^*) \quad 3.18$$

Grafisch stelt dit de verticale afstand voor tussen de twee lijnen.

Met behulp van de kleinste kwadraten methode kan de wrijving ook numeriek worden bepaald. Basis van deze methode is het definiëren van lijnen met een minimale kwadratensom. Deze kwadratensom is gelijk aan de som van de verticale afstanden tussen het meetpunt en de lijn in het kwadraat.

Nu de vergelijkingen voor de best passende lijnen bekend zijn, is de wrijvingskracht volgens onderstaande formule te berekenen.

$$F_w^* = (r_{c \text{ vast}} - r_{c \text{ los}}) \cdot F_1^* + y_{\text{off vast}} - y_{\text{off los}} \quad 3.19$$

Omdat F_w^* de wrijvingskracht per eenheid van oppervlakte is, wordt deze vermenigvuldigd met een willekeurig standaardoppervlak. In het verwerkingsprogramma is dit standaardoppervlak gelijk aan het gemiddelde beginoppervlak.

$$F_w = F_w^* \cdot A_s \quad 3.20$$

$$A_s = \Sigma(s_1 \cdot b_0 / n) \quad (n = \text{aantal strips}) \quad 3.21$$

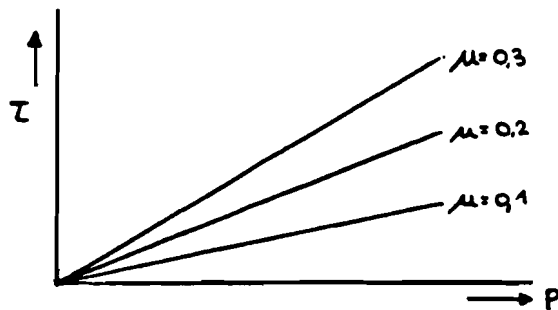
H4 Wrijvingsmodellen

4.1 Wrijving

Wrijving is een moeilijk te beschrijven proces, vanwege het gecompliceerde verband tussen de verschillende processen die een rol spelen in de smeerfilm. Zo heeft de vlaktedruk (p) niet alleen invloed op de grootte van het contactoppervlak maar ook op de viscositeit van een aantal smeermiddelen. Aangezien over het verband tussen deze processen weinig bekend is worden sterk vereenvoudigde modellen gebruikt. Voor het beschrijven van omvormprocessen met relatief lage contactdrukken wordt meestal gebruik gemaakt van het Coulomb-model. Voor processen met een relatief hoge procesdruk, zoals het massief-omvormen geeft het von Mises-model betere resultaten.

4.2 Het Coulomb-wrijvingsmodel

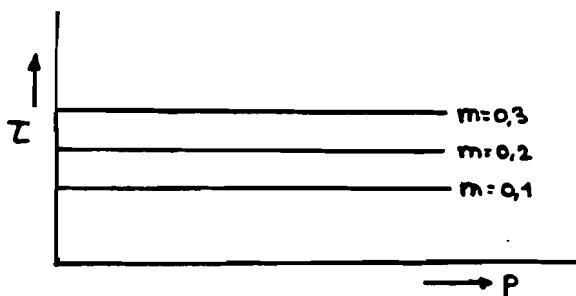
Het Coulomb-wrijvingsmodel geeft het verband tussen de wrijvingsspanning en de vlaktedruk door invoering van de evenredigheidsfactor μ . Deze μ moet voor elke situatie opnieuw bepaald worden afhankelijk van het materiaal en de smering. Bij toenemende vlaktedruk worden de ruwheidspieken geplet zodat het contactoppervlak waarover de afschuiving plaats vindt groter wordt. De formule: $\tau = \mu \cdot p$.



Figuur 12 Het verband tussen de vlaktedruk (p) en de wrijvingsspanning volgens Coulomb

4.3 Het von Mises-wrijvingsmodel

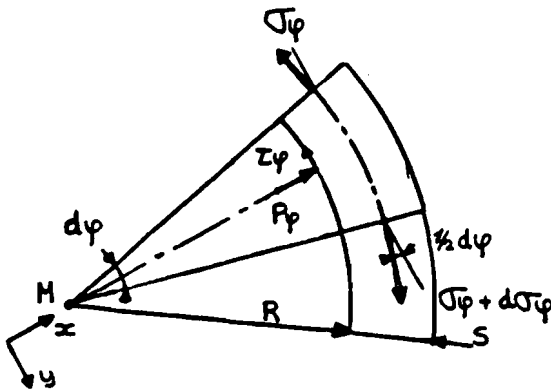
Het von Mises-wrijvingsmodel gaat uit van enkelvoudige afschuiving. Wrijving is volgens dit model afschuiving van de ruweidspots die door de smeerfilm steken. Hiervoor geldt de formule: $\tau_{max} = m \cdot \sigma_v / \sqrt{3}$, m is gelijk aan het quotiënt van het werkelijke oppervlak en het totale wrijvingsoppervlak. Indien $m=0$ is er sprake van ideale smering. Bij $m=1$ schuift het materiaal over het gehele oppervlak af.



Figuur 13 Het verband tussen de vlaktedruk (p) en de wrijvingsspanning volgens von Mises

4.4 Toepassing van de wrijvingsmodellen op de striptrekproef

Door de wrijvingsmodellen verder uit te werken kan men de theoretische wrijvingskracht (F_w) afleiden.



figuur 14 lokaal evenwicht

Evenwicht in x-richting

$$\Sigma F_x = 0$$

$$p_\phi \cdot b_0 \cdot R \cdot d\phi = s \cdot b_0 \cdot \sigma_\phi \cdot \frac{1}{2} d\phi + s \cdot b_0 \cdot (\sigma_\phi + d\sigma_\phi) \cdot \frac{1}{2} d\phi$$

Omdat ϕ oneindig klein is kan men $d\sigma_\phi$ verwaarlozen t.o.v. σ_ϕ .

Dit levert na vereenvoudiging:

$$p_\phi = s/R \cdot \sigma_\phi$$

4.1

Evenwicht in y-richting

$$\Sigma F_y = 0$$

$$(-\sigma_\phi + \sigma_\phi + d\sigma_\phi) \cdot s \cdot b_0 = \tau_\phi \cdot R \cdot d\phi \cdot b_0$$

$$d\sigma_\phi = \tau_\phi \cdot R \cdot d\phi / s$$

4.2

Het wrijvingsmodel van Coulomb

Definitie: $\tau_z = \mu \cdot p_z$ 4.3

4.1 invullen in 4.3 levert:

$$\tau_z = \mu \cdot \sigma_z \cdot s/R \quad 4.4$$

4.4 invullen in 4.2 levert:

$$d\sigma_z = \mu \cdot \sigma_z \cdot s/R \cdot R/s \cdot d\phi$$

$$d\sigma_z = \mu \cdot \sigma_z \cdot d\phi \quad 4.5$$

Integratie van 4.5 levert:

$$\int_{\sigma_0}^{\sigma_z} \frac{d\sigma_z}{\sigma_z} = \mu \cdot \int_0^{\phi} d\phi$$

$$\left[\ln \frac{\sigma_z}{\sigma_0} \right] = \mu \cdot [\phi]$$

$$\ln \sigma_z - \ln \sigma_0 = \mu \cdot \phi$$

$$\ln(\sigma_z / \sigma_0) = \mu \cdot \phi$$

$$\sigma_z = \sigma_0 \cdot e^{(\mu \cdot \phi)} \quad 4.6$$

Berekening van F_w

$$F_w = (\sigma_z - \sigma_0) \cdot b_0 \cdot s$$

$$F_w = \sigma_0 \cdot s \cdot b_0 \cdot (e^{(\mu \cdot \phi)} - 1) \quad 4.7$$

Het wrijvingsmodel van von Mises

Definitie: $\tau_z = m \cdot \sigma_v / \sqrt{3}$ 4.8

Omdat τ_z constant is mag je formule 4.2 direct integreren.

Dit levert:

$$\sigma_z - \sigma_0 = \tau_z \cdot R/s \cdot \phi \quad 4.9$$

$$F_w = \tau_z \cdot R \cdot b_0 \cdot \phi \quad 4.10$$

H5 Het Programma

5.1 Het programma (algemeen)

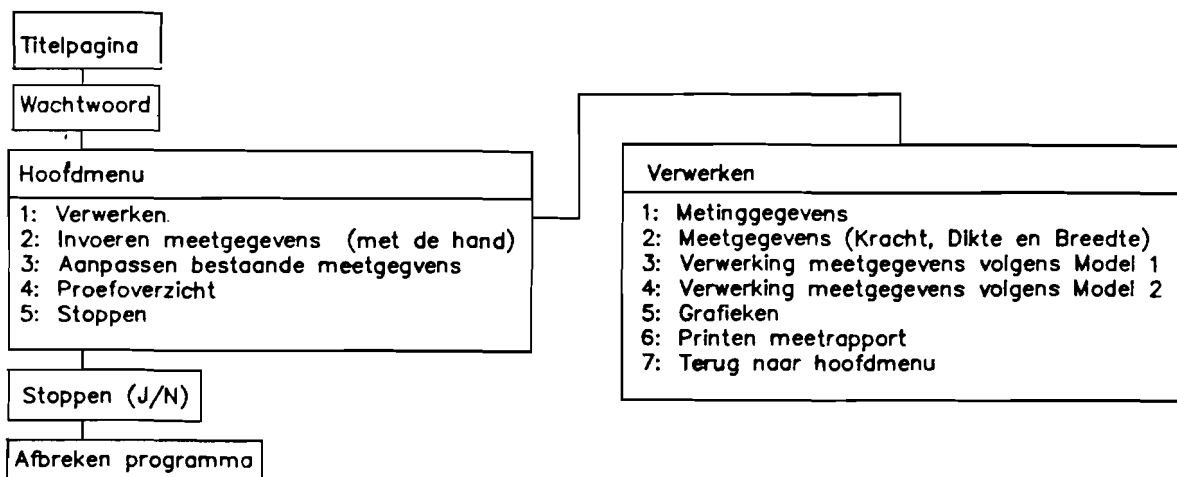
De digitale signalen die, afhankelijk van de in het besturingsprogramma ingestelde opnamecondities, zijn ingelezen, worden in de vorm van meetgegevens op een data-diskette weggeschreven. Vervolgens worden deze meetgegevens met behulp van een verwerkingsprogramma omgezet in grafieken en tabellen. Deze twee programma-delen hebben een zeer nauw onderling verband. Met name de data-overdracht via diskette, speelt een belangrijke rol.

Het verwerkingsprogramma is geschreven in Turbo Pascal versie 5.0. Deze hogere orde programeertaal, die ontwikkeld is door Borland, noodzaakt de gebruiker om gestuctureerd te programmeren. Dit voorkomt verwarring tijdens het programmeren en bevordert de leesbaarheid van het programma nadien.

Het striptrek-verwerkingsprogramma is ondergebracht op de programmadiskette: "Het striptrek-verwerkingssysteem" (vereiste geheugencapaciteit ongeveer 120 Kbyte). Indien de file `striptre.exe` in de actieve directory staat, kan het programma worden opgestart met het commando: "striptre". Voor informatie over het gebruik van het programma wordt verwezen naar het rapport: "Een verwerkingssysteem voor de meetgegevens van de striptrek-unit, Users manual". (WPA-nr 902).

5.2 De structuur van het programma

De opbouw van het programma is gebaseerd op een menustructuur. Voordat de gebruiker echter toegang heeft tot het hoofdmenu, moet deze een correct wachtwoord ingeven. Het hoofdmenu kan worden beschouwd als de kern van het programma. Alleen van daaruit zijn de menu's van andere programma-onderdelen te bereiken (zie figuur 15).



figuur 15 Structuur van het programma

Bij keuze van de optie **verwerken** verschijnt er een nieuw menu dat o.a. de mogelijkheid biedt te kiezen voor het verwerken van de gegevens volgens een van de twee modellen. Daarnaast is het mogelijk de resultaten van reeds eerder verwerkte proeven grafisch weer te geven. Deze optie bestaat op zich ook weer uit een tweetal menu's om de gebruiker de mogelijkheid te bieden de voor hem relevante grafieken te selecteren. Het printen van een standaard meetrapport voorzien van de metinggegevens, resultaten en grafieken is eveneens onder de optie **verwerken** onder gebracht.

Met behulp van de optie **invoeren meetgegevens** is het mogelijk om zonder het opnameprogramma gegevens in te voeren. Deze mogelijkheid kan bijvoorbeeld worden toegepast om oude meetgegevens die niet op diskette staan toch op deze manier te verwerken.

Daar onjuiste meetwaarden, die bijvoorbeeld ontstaan door het insnoeren van de strip, het resultaat negatief beïnvloeden, is het noodzakelijk deze te kunnen wissen. Om deze reden is aan het hoofdmenu de keuzemogelijkheid **aanpassen meetgegevens** toegevoegd. Het aantal gewijzigde versies van elke proef is onbeperkt.

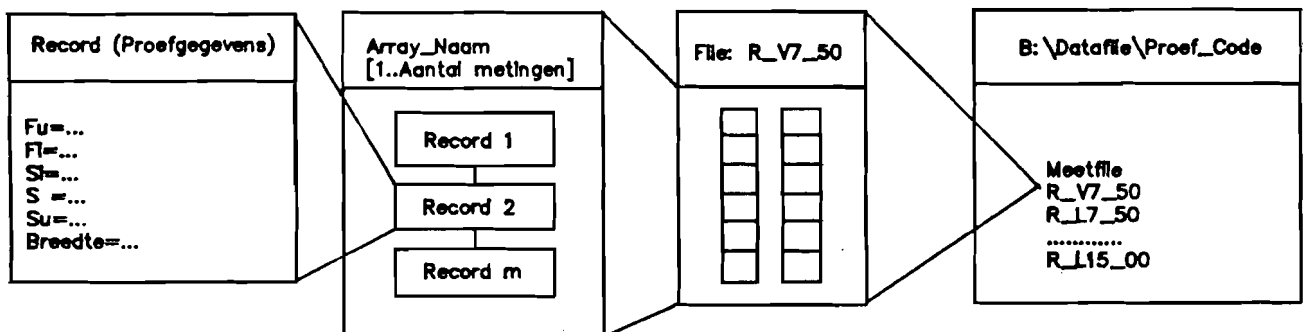
Om te voorkomen dat het programma moet worden afgebroken voor een proefoverzicht en/of het verwijderen van een proef, is het hoofdmenu voorzien van de optie **proefoverzicht**. Daar het niet altijd wenselijk is de gehele proef te verwijderen biedt deze optie ook de mogelijkheid slechts één file te verwijderen. (Een proef is immers opgebouwd uit meerdere files).

Het verwijderen van een gehele proef (directory) is gebaseerd op het herhaaldelijk zoeken en verwijderen van files. Indien desbetreffende directory geen files meer bevat kan deze worden verwijderd met de standaardprocedure **Rmdir**.

Door het kiezen van de optie **stoppen** is het mogelijk het programma te beëindigen. Om vergissingen te voorkomen, wordt in een hierop volgend menu om een bevestiging gevraagd.

5.3 Opslag data

Afhankelijk van het, in het opnameprogramma ingestelde, tijdsinterval worden na elke tijdseenheid de remkracht, trekracht en de vier momentane afmetingen van de strip geregistreerd. Om deze gegevens overzichtelijk te ordenen, zijn deze ondergebracht in een record. Een record is een datastructuur waarin meerdere variabelen van uiteenlopende typen zijn samengevoegd. Met andere woorden, een record bevat variabelen die onder een overkoepelend begrip zijn samengevat (zie fig. 16).



figuur 16 Opslag van data

Deze records, die in aantal gelijk zijn aan het aantal metingen bij desbetreffende buigrol, worden samengevat in array. Een array is een serieschakeling van een te definiëren aantal elementen. (In dit geval records). Het aantal elementen waaruit een array is opgebouwd moet ongeveer gelijk zijn (nooit minder) aan het aantal metingen per buigrol, om de noodzakelijk geheugencapaciteit te beperken.

Elke variabele in deze gegevensstructuur kan afzonderlijk benaderd worden. Het volgende commando geeft bijvoorbeeld toegang tot de remkracht die in het vierde tijdsinterval is gemeten: `array_naam[4].Ft`.

Naast het per buigrol ordenen van de meetgegevens in een array is het ook noodzakelijk onderscheid te maken in de radius en het type van de buigrol. Voor de verdere verwerking van de meetgegevens is het immers van belang welke radius de buigrol had en van welk type deze was.

Om deze reden wordt voor elke buigrol een afzonderlijke file geopend waarin de meetgegevens worden opgeslagen. De gecodeerde filenaam geeft informatie over het type en de afmeting van de buigrol. Zo heeft de filenaam (R_V7_50) betrekking op een vaste buigrol met een radius van 7,50 mm.

Al deze files behoren tot een proef. Het is daarom dan ook vanzelfsprekend dat deze onder een gemeenschappelijke noemer worden weggeschreven. Oplossing: Voor elke proef een nieuwe directory aanmaken. Om verwarring te voorkomen wordt elke proef voorzien van een gestandaardiseerde proefcode (directory-naam). Het eerste karakter geeft het type proef aan, in dit geval de [S] van Striprekken. De hierop volgende letter is de materiaalaanduiding. Indien het echter een gewijzigde proef betreft, moet dit karakter een [W] zijn. De zes overige karakters geven het jaar, weeknummer en volgnummer van de proef weer.

Na het invoeren van de directory-naam wordt eerst gekeken of deze voldoet aan de gestandaardiseerde proefcode. Vervolgens wordt gecontroleerd of er al een directory bestaat met dezelfde naam.

5.4 Het programma (programmeer technisch)

Het totale verwerkingssysteem is gebaseerd op het hoofdprogramma (Strip_trek_verwerkingsprogram) en een vijftal units (zie diktaat listing WPA-nr 903). Een unit is een verzameling van declaraties (typen, variabelen, procedures etc.), die voor elk programma beschikbaar zijn. Zo heeft de programmeur na het declareren van de units Dos, System, Crt en Graph de beschikking over een groot aantal standaardprocedures.

Het grote voordeel van units is dat deze afzonderlijk kunnen worden gecompileerd. Voor de meeste processors (Intel 8086 en vergelijkbare) is het immers niet mogelijk eenheden groter dan 64 Kb te compileren. Dit betekent dat zonder het gebruik van units de maximale lengte van een programma beperkt is tot 64 Kb.

Bovendien vergroot de verdeling van het verwerkingssysteem in units de compileersnelheid, daar bij programmawijzigingen alleen die units worden gecompileerd die veranderd zijn.

Een ander voordeel van units is de mogelijkheid gestructureerd te programmeren. Bijvoorbeeld elke keuze uit het hoofdmenu in een andere unit onderbrengen. Dit zal de leesbaarheid van het programma bevorderen.

Naast het gebruik van units wordt er in het programma veelvuldig gebruik gemaakt van de procedure `haalstring`. Met behulp van deze procedure is het mogelijk een string (reeks willekeurige karakters) op de opgegeven coördinaten in te lezen en direct naar het beeldscherm te schrijven. Om fouten te voorkomen moet de programmeur van te voren opgeven of de string een getal (real of integer) of tekst is. Een veel gebruikte toepassing van de procedure `haalstring` is het toekennen van default-waarden. Deze waarden die op het scherm komen kunnen eenvoudig worden veranderd.

Door het hele programma heen wordt gebruik gemaakt van kaders die de schermopbouw bepalen. Met behulp van het commando `"invoerscherm(..)"` worden deze kaders aangeroepen. Tussen de haken komt de kleur van het kader. De omlijning van het kader bestaat uit een verzameling karakters die rechtstreeks naar het beeldschermgeheugen worden weggeschreven om te voorkomen dat het scherm knippert als het verandert.

H6 Resultaten Programma

6.1 De wrijvingsmodellen

In dit hoofdstuk worden de wrijvingsmodellen van von Mises en Coulomb vergeleken met de resultaten van het programma. In paragraaf 4.3 is voor de beide modellen de vergelijking voor de theoretische wrijvingskracht afgeleid.

$$\text{Coulomb: } F_w = \sigma_0 \cdot s \cdot b_0 \cdot (e^{\mu \cdot \frac{F_1}{F_0}} - 1)$$

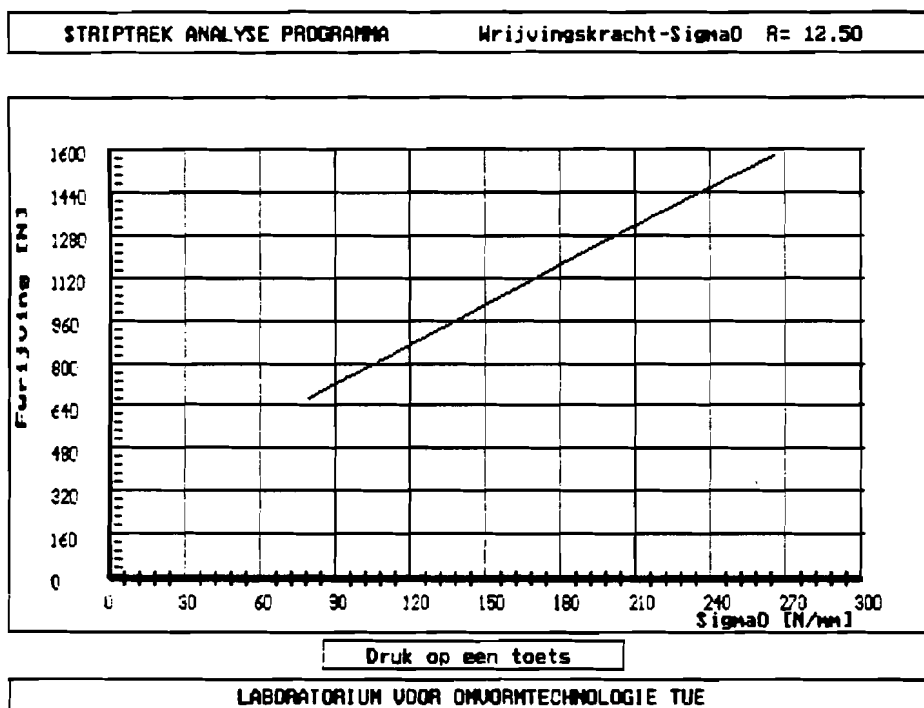
$$\text{von Mises: } F_w = m \cdot \sigma_v / \sqrt{3} \cdot R \cdot b_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot \pi$$

De variabelen in de wrijvingsformules zijn: σ_0 , R , b_0 en s . Bij de proeven zijn echter alleen σ_0 en R bewust gevarieerd. Volgens Coulomb bestaat er geen verband tussen de straal (R) en de wrijvingskracht. Het von Mises wrijvingsmodel veronderstelt daarentegen dat de wrijvingskracht onafhankelijk is van σ_0 . Het is daarom interessant om F_w grafisch uit te zetten tegen σ_0 en tegen R .

6.2 Het verband tussen F_w en σ_0

Zoals in paragraaf 3.3 al is beschreven komt de verticale afstand tussen de F_0^* - F_1^* lijnen overeen met de wrijvingskracht (F_w^*). Uit deze grafiek (figuur 11) is al af te leiden dat het von Mises model niet correct is. Volgens dit model is de wrijving immers onafhankelijk van F_1^* (De lijnen die het verband geven tussen F_0^* en F_1^* mogen niet parallel lopen).

Met behulp van de formule voor σ_0 [3.8] kan figuur 11 worden omgezet in figuur 17. De bijbehorende wrijvingskracht wordt berekend met behulp van de kleinste kwadraten methode (eveneens beschreven in paragraaf 3.3).

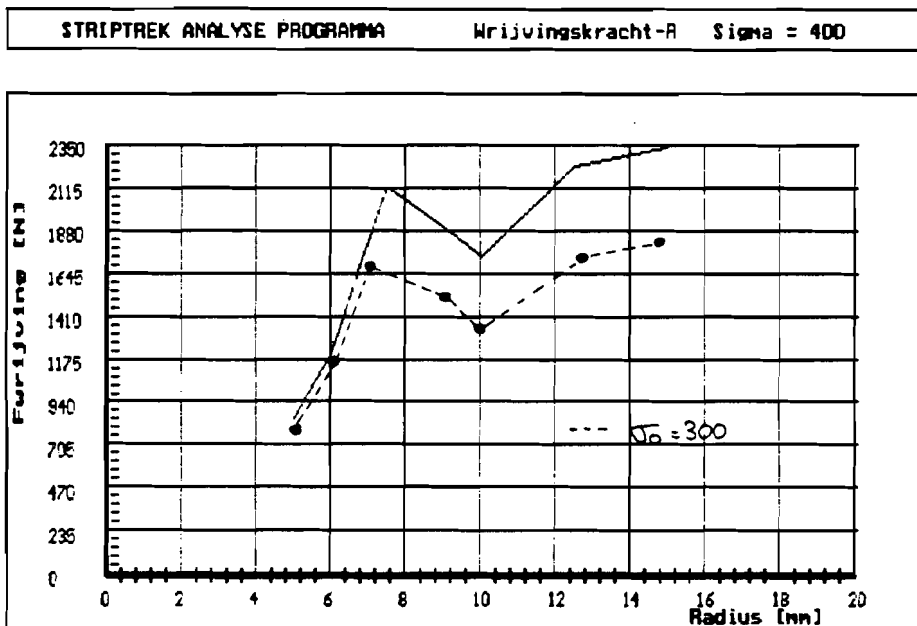


Figuur 17 Het verband tussen de wrijvingskracht en σ_0

Volgens von Mises is het verband tussen σ_0 en F_w een rechte horizontale lijn. Het Coulomb-model geeft een rechte door de oorsprong. Uit deze grafiek blijkt nu duidelijk dat het von Mises-model niet geschikt is om het wrijvingsproces bij het striptrekken te beschrijven.

6.3 Het verband tussen F_w en R

Door een aantal F_w - σ_0 grafieken te combineren vindt men de grafiek zoals weergegeven in figuur 18. Volgens Coulomb is het verband tussen F_w en R een horizontale lijn. Von Mises geeft een rechte door de oorsprong.



Opmerking: De grafiek voor $\sigma_0 = 300$ is overgenomen uit bijlage 2

figuur 18 Het verband tussen F_w en R

Op het eerste gezicht blijken beide modellen niet te voldoen. Indien men echter naar het globale verloop van de lijn kijkt kan men 3 gebieden onderscheiden.

- $R < 7.5$: F_w is sterk afhankelijk van R
- $7.5 < R < 12$: Overgangsgebied
- $R > 12$: F_w is vooral afhankelijk van σ_0

Uit de grafiek blijkt dat het Coulomb-model niet toepasbaar is voor kleine radii. Het verband tussen F_w en R komt in dit gebied immers niet overeen met de theoretisch berekende horizontale lijn. Bij grotere radii daarentegen is de wrijvingskracht slechts in geringe mate afhankelijk van de radius. Omdat volgens de formule: $p = \sigma_0 \cdot s/R$ [3.12] de vlaktedruk omgekeerd evenredig is met de radius kan men stellen dat de toepasbaarheid van het Coulomb-model afhankelijk is van de vlaktedruk.

$$A = \frac{1}{2} \pi R^2 b_0 \text{ en } p = \sigma_0 \cdot s/R$$

Volgens Coulomb geldt:

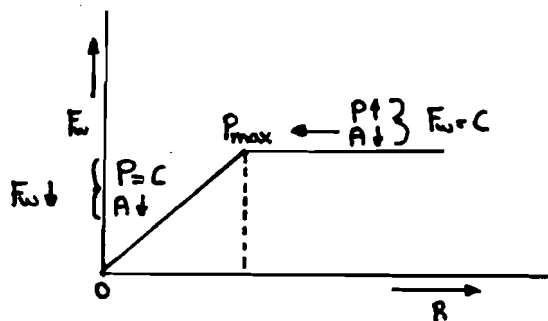
$$F_w = \tau \cdot A \text{ en } \tau = \mu \cdot p$$

$$F_w = \mu \cdot p \cdot A$$

Het product van wrijvingsspanning (τ) en oppervlak (A) is onafhankelijk van de radius. De sterke daling van de wrijvingskracht bij kleine radii kan verklaard worden door aan te nemen dat de wrijvingsspanning (τ) niet groter wordt dan een bepaalde maximale waarde (τ_{max}). Indien de wrijvingsspanning zijn maximale waarde heeft bereikt zal een verkleining van de radius (oppervlak) een vermindering van de wrijvingskracht tot gevolg hebben. ($R=0, F_w=0$)

Daar de wrijvingsspanning evenredig is met de vlaktedruk kan men stellen dat het Coulomb-model niet toepasbaar is bij vlaktedrukken die groter zijn dan p_{max}

$$(\tau_{max} = \mu \cdot p_{max})$$



figuur 19 De wrijvingskracht als functie van de radius

Algemene conclusie

von Mises:

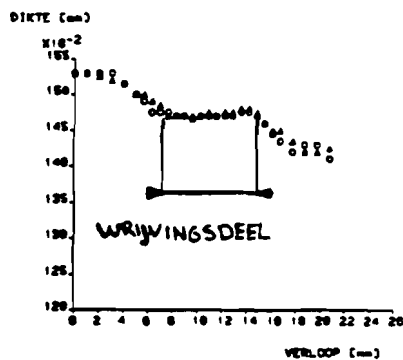
Dit model wordt verworpen daar er een duidelijk verband tussen σ_0 en de wrijvingskracht.

Coulomb:

Dit model is correct indien de oppervlaktedruk niet boven een maximale waarde uit komt. Als de oppervlaktedruk groter wordt dan de maximale opp. druk zal de wrijvingskracht kleiner zijn dan verwacht.

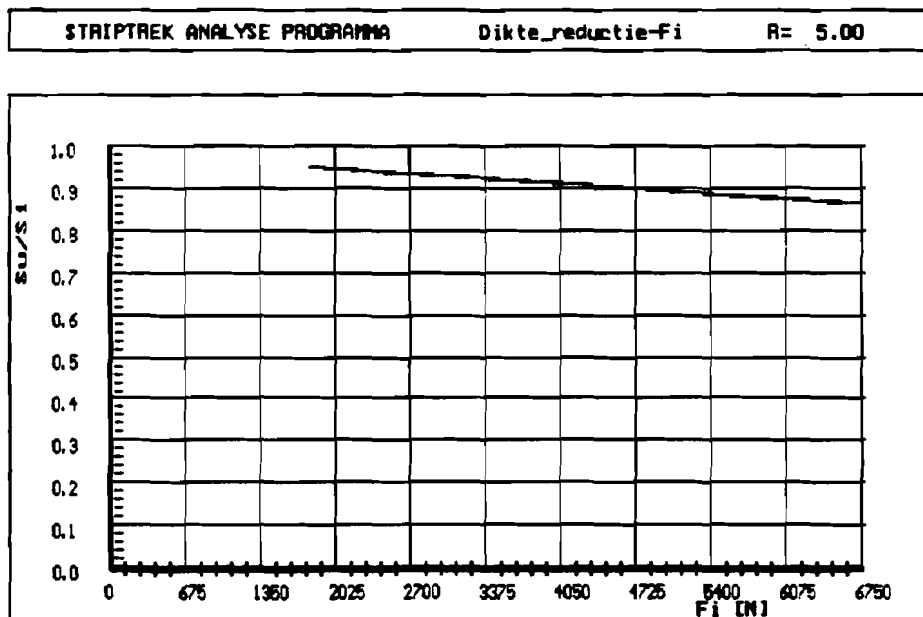
6.4 Dikte-afname

Zoals figuur 20 laat zien neemt stripdikte alleen af ter plaatse van het buig- en strekgebied. Het wrijvingsdeel heeft geen invloed op de diktereductie.



figuur 20 Dikteverloop

Uit de grafieken voor de diktereductie blijkt dat deze zowel afhankelijk is van de ingangskracht (F_i) als van de radius. Het verschil in dikte-afname tussen een strip met en zonder wrijving als gevolg van het verschil in F_u kan verwaarloosd worden.



figuur 21 u_i/u_0 als functie van de ingangskracht F_i

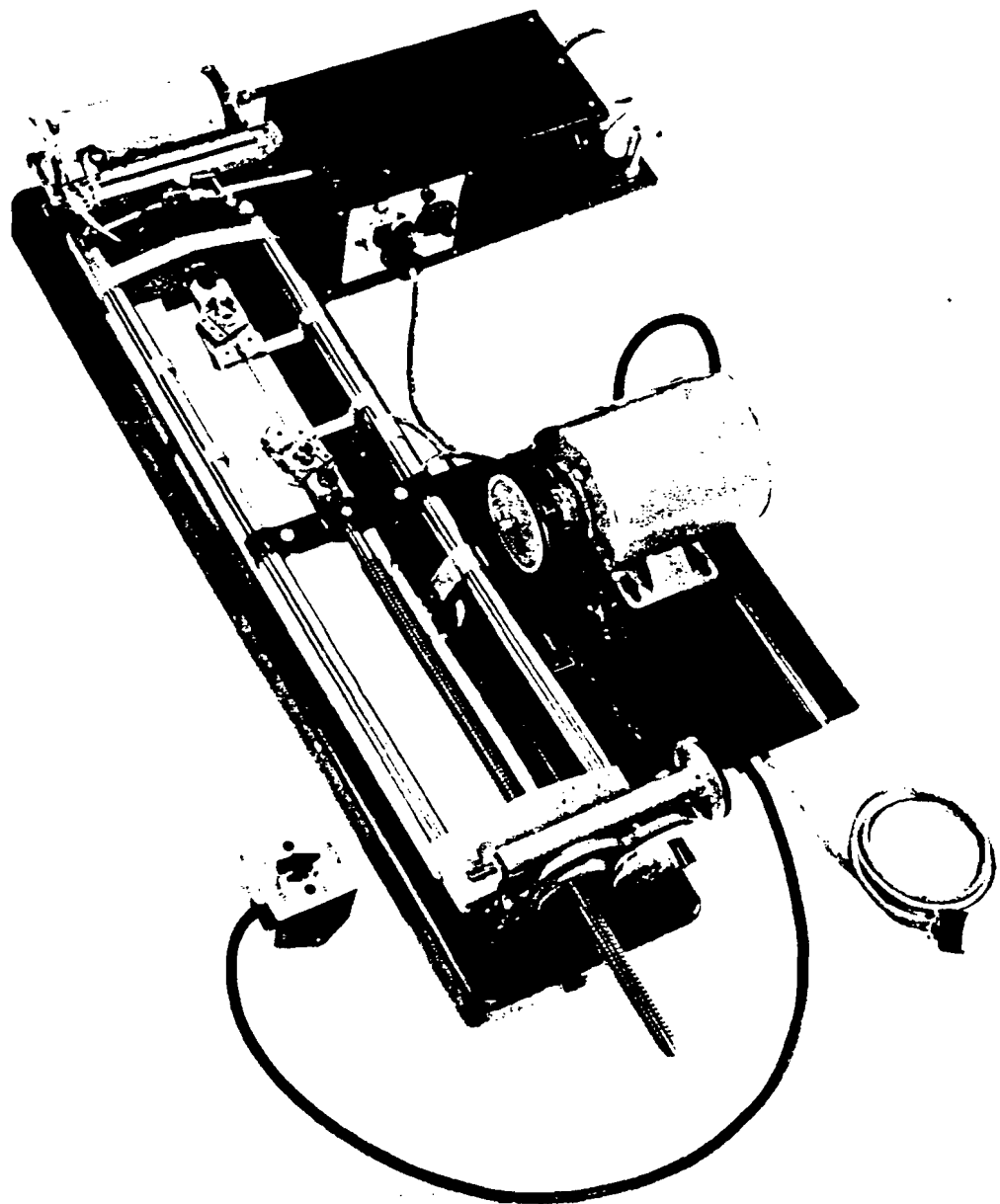
Dat de diktereductie ook afhankelijk is van de radius kan geconcludeerd worden uit de twee grafieken die in bijlage 3 zijn opgenomen. Hieruit blijkt dat de diktereductie toeneemt naarmate de diameter van de buigrol kleiner wordt.

Literatuurlijst

- [1] van Eijk Jan Programmeren in Turbo Pascal
2^e verbeterde druk, Schoonhoven, 1988
Academic service, 383 pag.
- [2] Duntemann Jeff Turbo Pascal compleet
2^e druk, Schoonhoven, 1986
Academic service, 435 pag.
- [3] Borland Int. Turbo Pascal Users Guide
versie 5.0, Scottsvalley, 1989
292 pag.
- [4] Borland Int. Turbo Pascal Reference Guide
versie 5.0, Scottsvalley, 1989
360 pag.
- [5] Baken Leon Het Dataverwerkingssysteem
Opname en verwerking van F-s meetgegevens
HS-Eindstudieverslag
VF-code D₂/D₃, WPA-nr 0835
- [6] Baken Leon Het Dataverwerkingssysteem
Opname en verwerking van F-s meetgegevens
Listing
VF-code D₂/D₃, WPA-nr 0835a

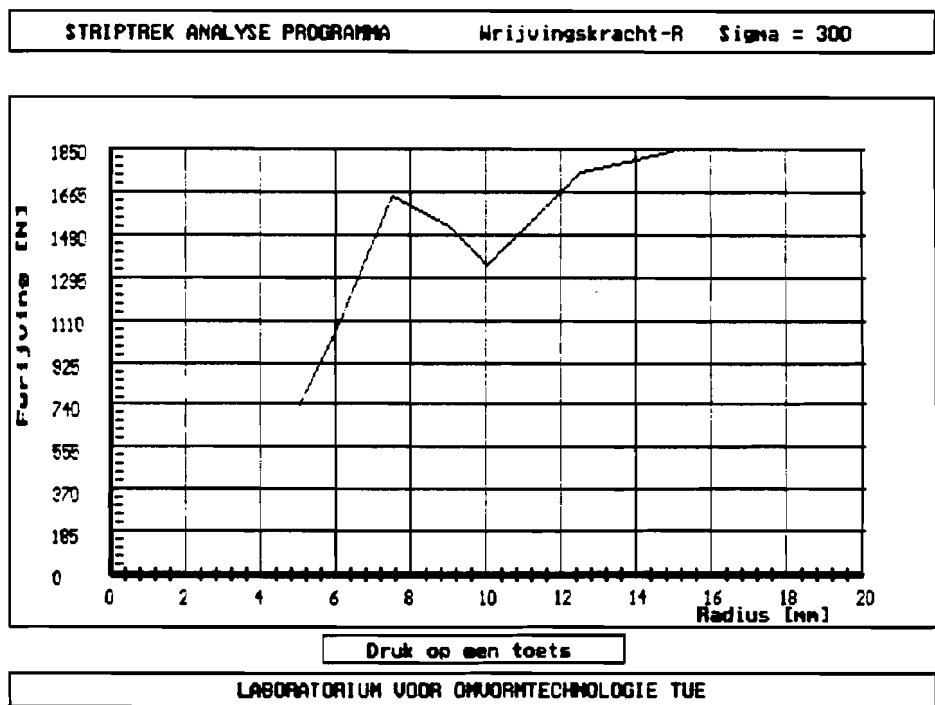
- [7] Tenbult Eric Wrijvingsinvloed en dikte-afname
 bij het striptrekken
 HS-Stageverslag
 VF-code D₂/D₃, WPA-nr 0672
- [8] Ramaekers J.A.H. Plastisch bewerken van metalen
 Houtackers L.J.A. Procesbeheersing in de onderdelen fabricage
 Peeters P.B.G. OMTEC-Stichting voor Mechanische Omvormtechnologie
 3^e druk, Mierlo, 1989. ong. 160 pag.

Bijlage 1



De trekbank

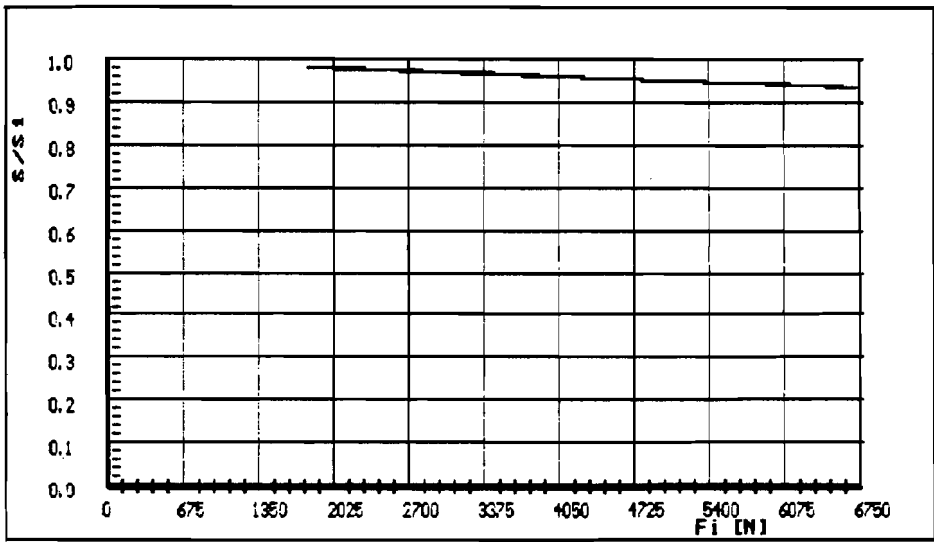
Bijlage 2



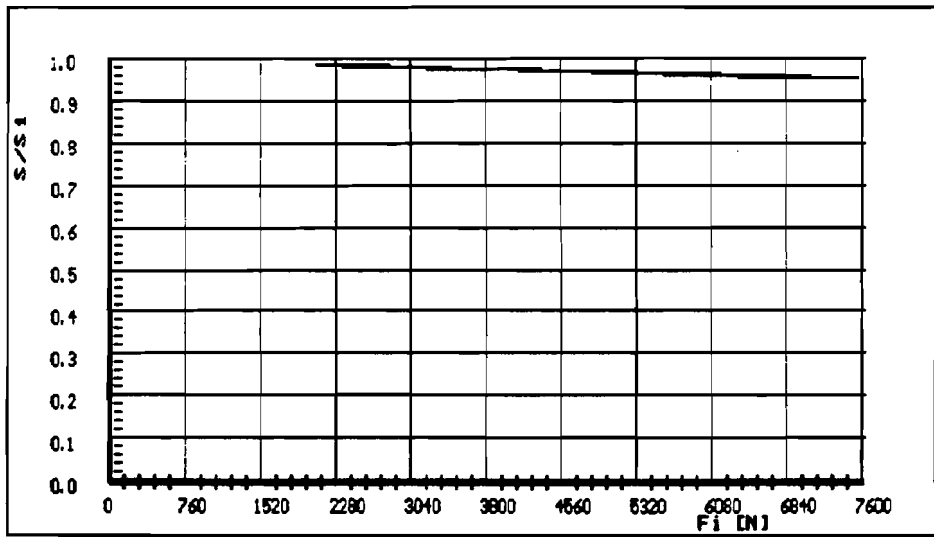
F_v - R grafiek

Bijlage 3

STRIPTREK ANALYSE PROGRAMMA Dikte_reductie-Fi R= 5.00



STRIPTREK ANALYSE PROGRAMMA Dikte_reductie-Fi R= 9.00



Diktereductie grafieken