

Ontwerp praktikum dieptrekken : parameteronderzoek bij dieptrekken

Citation for published version (APA):

Vloemans, A. P. (1992). *Ontwerp praktikum dieptrekken : parameteronderzoek bij dieptrekken*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA1434). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1992

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.

Technische Universiteit Eindhoven
Faculteit der Werktuigbouwkunde
Vakgroep Productietechnologie en Automatisering
Laboratorium voor Omvormtechnologie

Ontwerp praktikum dieptrekken
Parameteronderzoek bij dieptrekken

TUE Onderzoeksopdracht
A.P. Vloemans

December 1992
WPA: 1434

Begeleider: dr. ir. J.A.H. Ramaekers

VOORWOORD

Gedurende het einde van mijn vierde en het begin van mijn vijfde jaar heb ik mij gewijd aan mijn onderzoeksopdracht. De opdracht luidde : "Ontwerp een nieuw praktikum, waarin tweedejaars studenten nader kennis maken met dieptrekken en waarin zij zelf onderzoeken hoe dit proces beïnvloed wordt door de dieptrekgrootheden." Omdat ik op dat moment bijna twee jaar werkzaam was als student-assistent in de omvormtechniek leek mij dit een uitdagende opdracht, omdat ik hierin mijn eigen ervaringen en inzichten kwijt kon. Bovendien kon ik zo niet alleen mijn technische kennis uitbreiden, maar kwam ik ook met de onderwijskundige aspecten in aanraking.

Hierbij wil ik mijn begeleider, de heer Ramaekers, hartelijk danken voor de waardevolle samenwerking.

Bijzondere dank wil ik uiten aan de heer de Groot, met wie ik nu reeds tweeëneenhalf jaar zeer plezierig samenwerk en wiens inspanningen van groot belang zijn geweest voor het vervullen van deze opdracht.

Het succes van dit praktikumontwerp zal pas in de praktijk zichtbaar worden, wanneer de studenten ermee te werk gaan.

Als laatste wil ik iedereen bedanken die mij geholpen heeft deze opdracht tot een goed einde te brengen.

Rob Vloemans

INHOUD

VOORWOORD	2
SAMENVATTING	4
SYMBOLENLIJST	5
1. GRONDSLAGEN VAN HET PRAKTIKUM	7
1.1. INLEIDING	7
1.2. DIEPTREKKEN VAN EEN CYLINDRISCH PRODUKT	10
1.3. HET DIEPTREKPROCES	12
1.3.1. Procesbeheersing	12
1.3.2. Benodigde proceskennis	13
1.4. SCHEMATISCHE WEERGAVE PARAMETERONDERZOEK	15
1.5. HET MODEL	16
1.5.1. De keuze van het model	16
1.5.2. De modellering van de deelkrachten	18
1.5.3. De modellering van de kritische kracht	19
1.5.4. De beperkingen van het model	22
2. DE INVULLING VAN DE PRAKTIKUMMIDDAG	23
2.1. HET REKENGEGEDEELTE	23
2.2. HET MACHINEGEDEELTE	25
BIJLAGEN	28
LITERATUUR	34

SAMENVATTING

In een nieuw op te zetten praktikum moeten tweedejaars studenten kennis maken met dieptrekken en tevens hoe dit proces beïnvloed wordt door de dieptrekgrootheden, de zogenaamde dieptrekparameters. Daartoe wordt de middag in drie delen gesplitst:

- de theoretische inleiding
- het rekengedeelte
- het machinegedeelte

Het theoretische gedeelte begint met algemene beschouwingen over dieptrekken, waarna ingegaan wordt op actuele behoefte vanuit de industrie: het vroegtijdig voorspellen van de maakbaarheid van dieptrekprodukten. Een van de mogelijkheden om deze maakbaarheid te toetsen zijn de plastische modellen, welke de benodigde en de kritische dieptrekkracht berekenen.

In het rekengedeelte gaan de studenten zelf werken met een van deze modellen, welke geprogrammeerd is in een TURBO-PASCAL programma. Zij zullen dan onderzoeken welke invloed de parameters hebben op de dieptrekkrachten en ook of een gegeven produktontwerp maakbaar is.

In het machinegedeelte bepalen de studenten langs empirische wijze de benodigde en de kritische kracht door middel van de Engelhardt test. Hierbij zullen de afrondingsstralen van de matrijs en de stempel als parameter dienen.

SYMBOLENLIJST

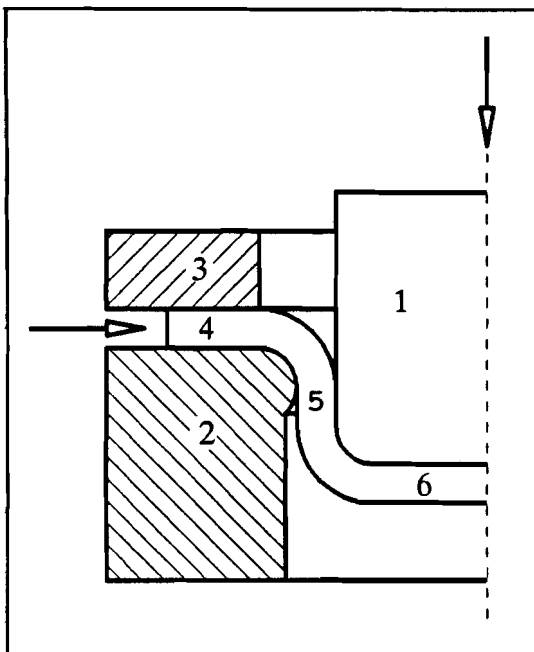
s_0	= dikte van de blenk	[mm]
s	= momentane dikte van de flens	[mm]
r_{u0}	= straal van de blenk	[mm]
r_u	= momentane straal van de flens	[mm]
r_p	= stempelstraal	[mm]
ρ_p	= afrondingsstraal van de stempel	[mm]
r_{Di}	= binnenstraal van de matrijs	[mm]
ρ_D	= afrondingsstraal van de matrijs	[mm]
β	= momentane dieptrekverhouding [r_u/r_p]	[-]
β_0	= initiële dieptrekverhouding [r_{u0}/r_p]	[-]
β_{0max}	= maximale dieptrekverhouding	[-]
C	= karakteristieke deformatieweerstand	[N/mm ²]
n	= verstevigingsexponent	[-]
ϵ_0	= voordeformatie	[-]
ϵ_{cr}	= kritische rek	[-]
r	= anisotropiefactor	[-]
σ_f	= momentane vloeispanning	[N/mm ²]
τ_f	= wrijvingsspanning	[N/mm ²]
σ_n	= normaalspanning	[N/mm ²]
P_{PL}	= plooihouderdruk	[N/mm ²]
μ	= wrijvingscoëfficiënt volgens Coulomb	[-]
μ_f	= wrijvingscoëfficiënt tussen flens en matrijs en tussen flens en plooihouder	[-]

μ_D	= wrijvingscoëfficiënt ter plaatse van de matrijsradius	[-]
μ_P	= wrijvingscoëfficiënt tussen stempel en produktwand	[-]
l	= lengte van het produkt bij breuk	[mm]
$F_{ber.}$	= maximaal benodigde dieptrekkkracht	[kN]
F_{cr}	= kritische dieptrekkkracht	[kN]
F_1	= kracht t.b.v. stuiken en rekken van de flens	[kN]
F_2	= wrijving plooihouder/flens en flens/matrijs	[kN]
F_3	= wrijving flens/matrijsafronding	[kN]
F_4	= kracht t.b.v. dubbele buiging	[kN]
F^*	= dimensieloze kracht $F^* = \frac{F}{2\pi r_p s_0 C}$	[-]

1. GRONDSLAGEN VAN HET PRAKTIKUM

1.1. INLEIDING

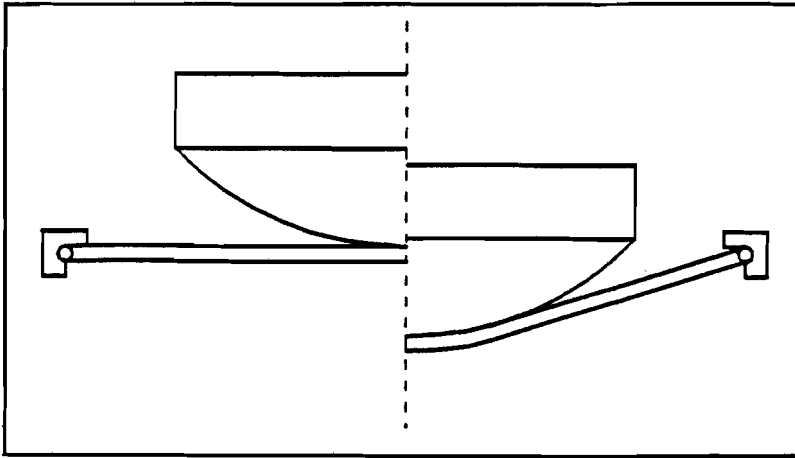
Een algemene definitie van dieptrekken zou kunnen zijn: Het vormen van holle ruimtelijke lichamen uit plaatmateriaal, waarbij de wand gevormd wordt door het toevloeien van materiaal uit de flens, zie figuur 1.



1. stempel
2. matrijs
3. plooihouder
4. flens
5. gevormde wand van het produkt
6. bodem van het produkt

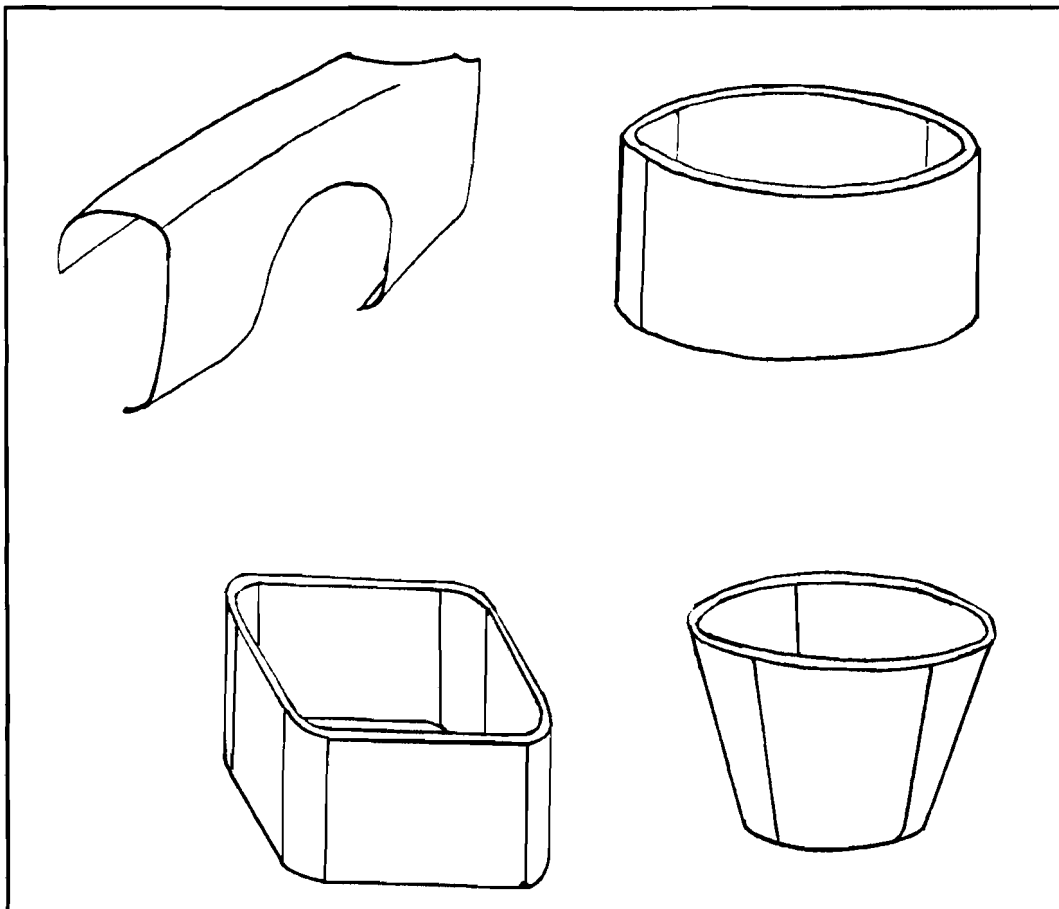
Figuur 1: Dieptrekken.

Een andere manier om soortgelijke producten te maken is strekken, waarbij het plaatmateriaal aan de rand ingespannen wordt en de holle vorm tot stand komt door strekking van de wand, zie figuur 2.



Figuur 2: Strecken.

Door middel van dieptrekken kunnen uiteenlopende holle vormen worden bereikt, zoals cilindrische, konische, vierkante en rechthoekige, maar meestal komen tussenvormen voor. Enkele dieptrekprodukten worden gegeven in figuur 3.

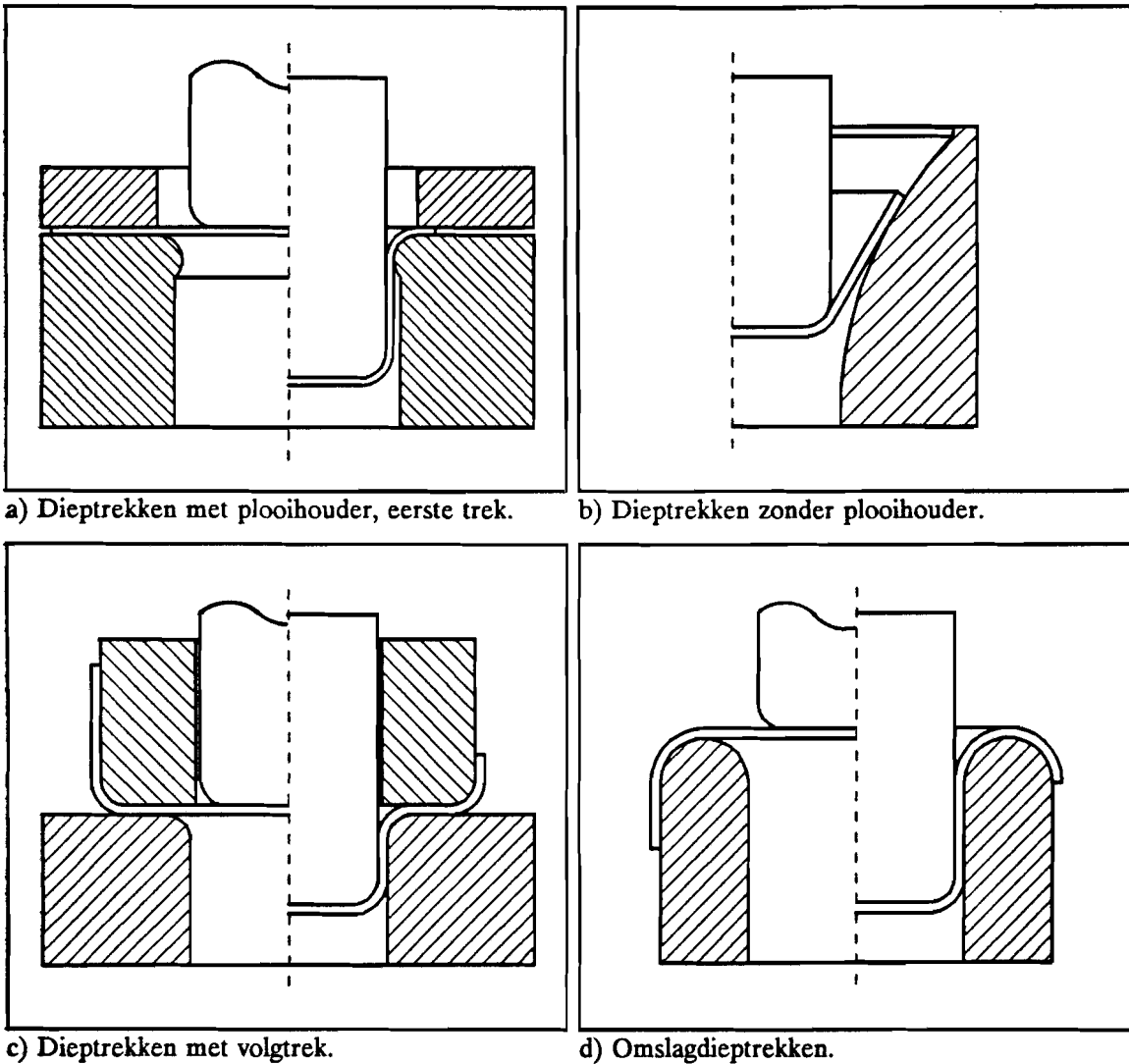


Figuur 3: Enkele dieptrekprodukten.

Het tot stand komen van de produktvorm, door strekken of door dieptrekken, is niet

altijd direct zichtbaar aan de hand van het eindprodukt. Vaak wordt ook een combinatie van beide methoden toegepast.

Dieptrekprodukten kunnen vaak op verschillende manieren tot stand komen. In figuur 2 zijn een aantal dieptrekprocessen weergegeven.

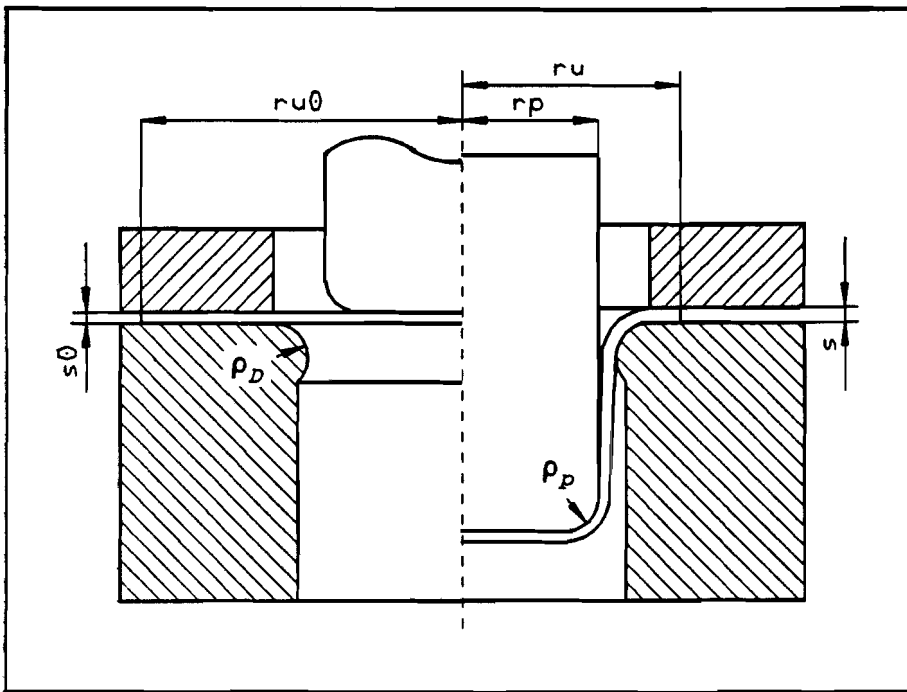


Figuur 4: Verschillende dieptrekprocessen.

Het praktikum zal zich beperken tot het dieptrekken met plooihouder in de eerste trek van een cilindrisch produkt in verband met de moeilijkheidsgraad en de beschikbare kennis, zie figuur 4a. Bovendien kan de mogelijkheid benut worden van processimulatie

1.2. DIEPTREKKEN VAN EEN CYLINDRISCH PRODUCT

Het wordingsverloop van een cilindrisch product is weergegeven in figuur 5. Tevens geeft deze figuur de geometrische grootheden weer die bij dieptrekken met plooihouder een rol spelen.



Figuur 5: Het dieptrekken van een cilindrisch product.

De geometrische parameters zijn dus:

- s_0 = initiële dikte van de blenk
- s = momentane dikte van de flens
- r_{u0} = straal van de blenk
- r_u = momentane straal van de flens
- r_p = stempelstraal
- ρ_p = afrondingsstraal van de stempel
- ρ_D = afrondingsstraal van de matrijs

Bij dieptrekken spelen ook materiaalgrootheden mee. Bij de modellering is gebruik gemaakt van het versterkingsmodel volgens Swift, namelijk:

$$\sigma_f = C(\epsilon + \epsilon_0)^n \quad (1)$$

De materiaalgrootheden zijn dus:

- C = karakteristieke deformatieweerstand
- n = versterkingsexponent
- ϵ_0 = voordeformatie
- (- r = anisotropiefactor, zie O7. Aan deze grootheid wordt in dit praktikum geen aandacht besteedt)

Verder zal er wrijving optreden tussen flens en plooihouder en tussen flens en matrijs en langs de matrijsafroning. Hierbij wordt uitgegaan van het wrijvingsmodel volgens Coulomb:

$$\tau_f = \mu \cdot \sigma_n \quad (2)$$

De grootheden die deze wrijving bepalen zijn:

- μ_f = wrijvingscoëfficiënt in contactvlak flens-plooihouder en flens-matrijs
- μ_D = wrijvingcoëfficiënt in het afrondingsvlak van de matrijs ($\mu_D \approx 2 \cdot \mu_f$)
- P_{pl} = plooihouderdruk (= σ_n)

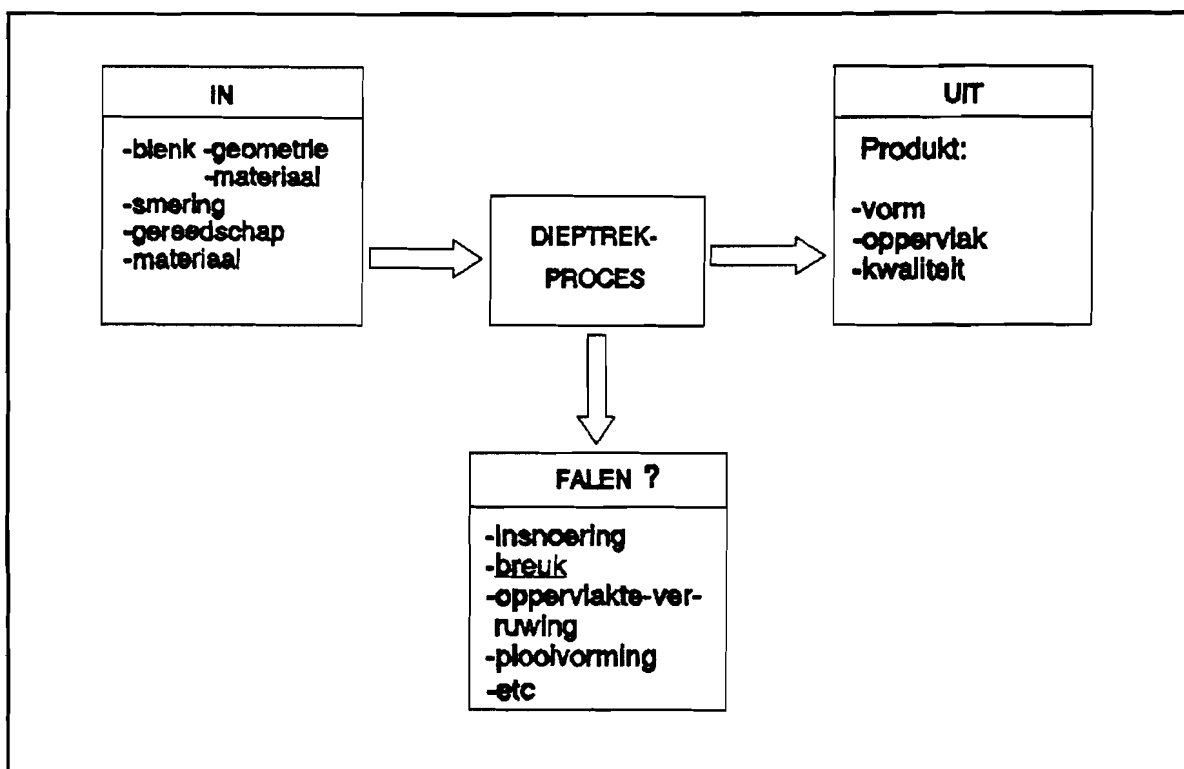
Uit experimenteel onderzoek is gebleken dat μ_D ongeveer twee keer zo groot is als μ_f . Dit wordt verklaard door de veel grotere contactdruk rond de matrijsafroning.

In het vervolg wordt alleen μ gebruikt, waarbij $\mu = \mu_f$

1.3. HET DIEPTREKPROCES

1.3.1. PROCESBEHEERSING

Het doel van technologisch onderzoek naar dieptrekken is erop gericht dit proces beter te beheersen. Met andere woorden: het procesverloop te voorspellen met de ingangsgrootheden als uitgangspunt. Schematisch kan dit verloop als volgt worden weergegeven, zie figuur 6:



Figuur 6: Schematische weergave van het procesverloop bij dieptrekken.

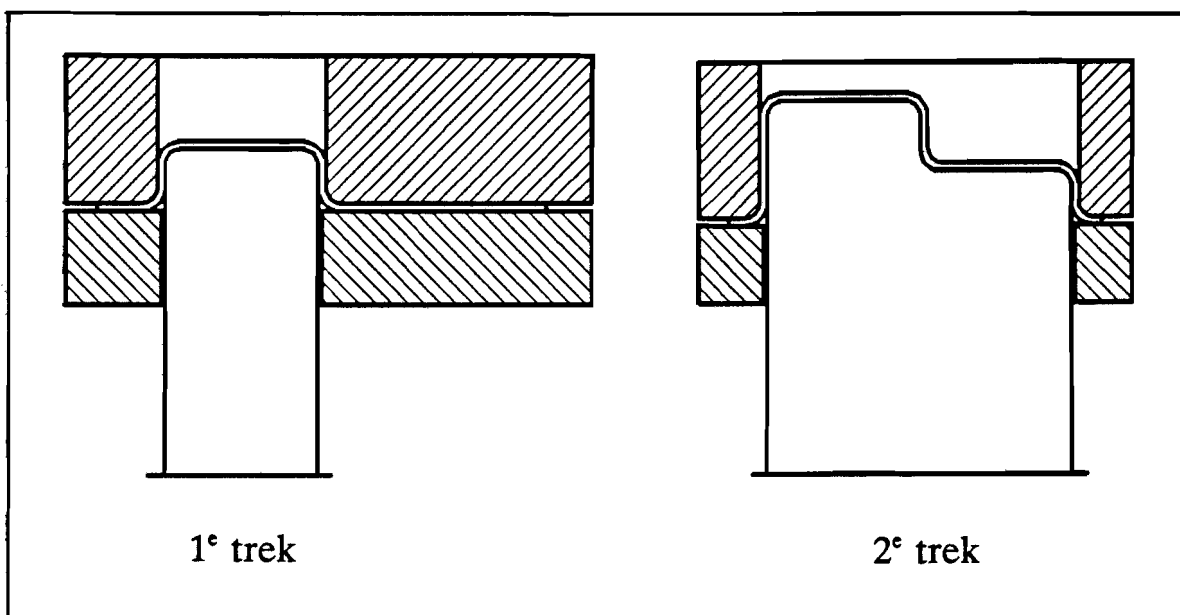
Een dergelijke weergave van het procesverloop heeft een algemene geldigheid voor fabrikageprocessen.

1.3.2. BENODIGDE PROCESKENNIS

Ter beoordeling van de slaagkans van het dieptrekproces is technologische kennis nodig. Deze benodigde kennis is van tweeërlei aard, namelijk:

- ervaringskennis
- procesmodellen

De ervaringskennis is afkomstig van de vakman. Deze stelt met zijn kennis voor een gevraagd produkt een trekschema op. Zie figuur 7.



Figuur 7: Voorbeeld van een trekschema voor een dieptrekprodukt.

Procesmodellen worden ontwikkeld met behulp van de technische plasticiteitsleer, waarbij een relatie gezocht wordt tussen input-parameters en procesgrootheden zoals optredende rekken, spanningen, krachten en arbeid. Met behulp van faalcriteria kan dan beoordeeld worden of bij bepaalde ingangsgrootheden wel of geen falen op zal treden en dus of het produkt wel of niet maakbaar is. Bij de trekproef luidt het

faalcriterium voor insnoering bijvoorbeeld: $\epsilon_{cr} = n - \epsilon_0$ (3)

In het praktikum zal wat betreft de faalorzaken alleen worden ingegaan op breuk.

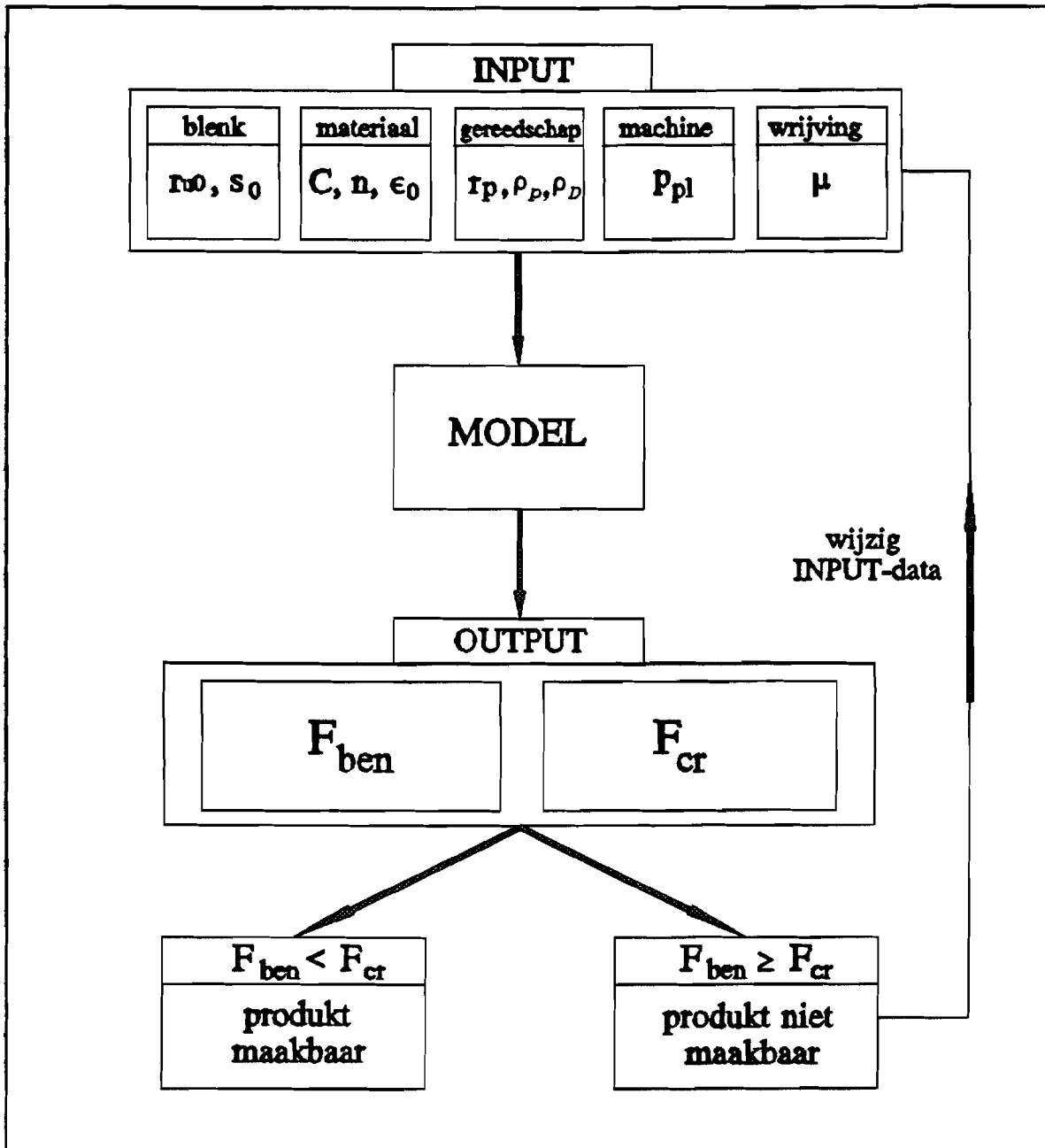
Als breukcriterium geldt: $F_{ben} \geq F_{cr}$ (4)

F_{ben} is de kracht die maximaal nodig is om het betreffende produkt diep te trekken.

F_{cr} is de kracht die maximaal door de wand van het dieptrekprodukt kan worden opgenomen. Indien F_{ben} kleiner is als F_{cr} zal er dus geen scheurvorming optreden. Het produkt is nu maakbaar indien er geen ander faalgedrag, bijvoorbeeld plooivorming, optreedt.

1.4. SCHEMATISCHE WEERGAVE PARAMETERONDERZOEK

Schematisch kan het parameteronderzoek als volgt worden weergegeven:



Figuur 8: INPUT-OUTPUT schema parameteronderzoek.

Het model rekt aan de hand van de ingegeven parameters de F_{ben} en de F_{cr} uit. Zolang $F_{ben} < F_{cr}$ treedt er geen breuk op en kan het produkt worden diepgetrokken. Indien $F_{ben} \geq F_{cr}$ dan treedt insnoering en vervolgens breuk op. Een of meerdere parameters moeten gewijzigd worden.

1.5. HET MODEL

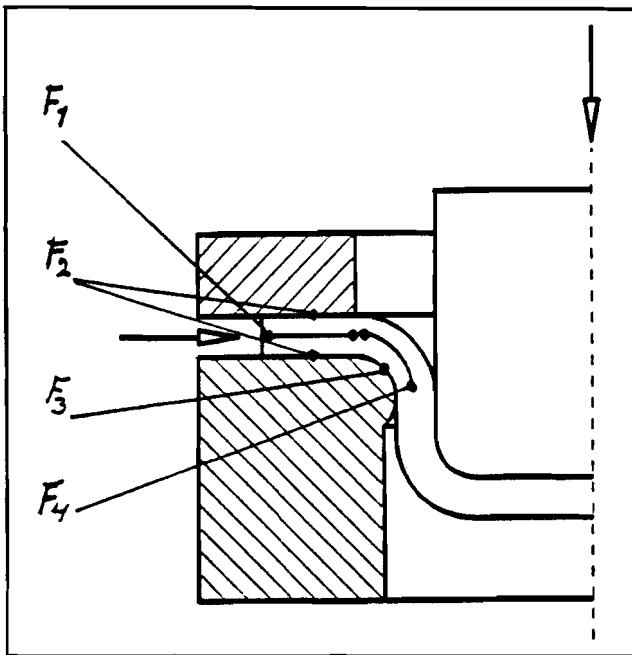
1.5.1. DE KEUZE VAN HET MODEL

De door het model uitgerekenende F_{ben} is opgebouwd uit vier deelkrachten:

- F_1 : de kracht ten behoeve van stuiken en rekken van de flens.
- F_2 : de wrijving tussen plooihouder en flens en tussen flens en matrijs.
- F_3 : de wrijving tussen flens en matrijsafronding.
- F_4 : de kracht ten behoeve van de dubbele buiging van de flens over de matrijsafronding.

Er geldt: $F_{ben} = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$ (5)

In figuur 9 staat weergegeven waar deze deelkrachten veroorzaakt worden.



Figuur 9: Lokaties van de deelkrachten.

Voor F_{ben} zijn in de loop van de tijd verschillende modelleringen opgesteld, onder andere door:

- Siebel, Romanowski
- TNO
- TUE

Op de TUE zijn voor F_1 zes modellen ontwikkeld.

Model 6, afgeleid door dr. ir. J.A.H. Ramaekers, is het vereenvoudigde evenwichtsmodel volgens de schillenmethode en onderdeel van een TURBO-PASCAL programma waarin ook de overige deelkrachten zijn gemodelleerd. Met dit programma kan de totale benodigde dieptrekkraft, evenals de afzonderlijke deelkrachten, met de dieptrekverhouding β als lopende variabele worden uitgerekend. De maximaal benodigde dieptrekkraft, de $F_{\text{ben max}}$, met de bijbehorende β worden dan op het scherm weergegeven. Desgevraagd kan de functie grafisch worden weergegeven.

β en β_0 zijn hierbij gedefiniëerd als:

$$\beta = \frac{I_u}{I_p} \quad : \text{momentane dieptrekverhouding} \quad (6)$$

$$\beta_0 = \frac{I_{u0}}{I_p} \quad : \text{initiële dieptrekverhouding} \quad (7)$$

Tevens rekt dit programma de kritische kracht uit

In dit parameteronderzoek wordt voor model 6 gekozen vanwege het aanwezige TURBO-PASCAL programma en de snelle rektijd: +/- 5 seconden.

Andere modellen vragen rektijden van 20 seconden tot 15 minuten.

De krachten in dit programma zijn steeds dimensieloos gemaakt op de volgende manier:

$$F^* = \frac{F}{2\pi I_p S_0 C} \quad (8)$$

1.5.2. DE MODELLERING VAN DE DEELKRACHTEN

Voor het aandeel van de flensdeformatie in de benodigde dieptrekkracht geldt:

$$F_1^* = 1,04 \sqrt{\frac{\beta_0}{\beta}} \left[\left(\left(\ln \frac{\beta_0}{\beta} + \epsilon_0 \right)^{n-1} \left(1 - \frac{1}{\beta} \right) + \ln \beta \right) \right] \quad (9)$$

Bij de afleiding van deze kracht is uitgegaan van versterking en niet uniform verdeelde vloeispanning in de flens. Zie verder literatuur[1,4].

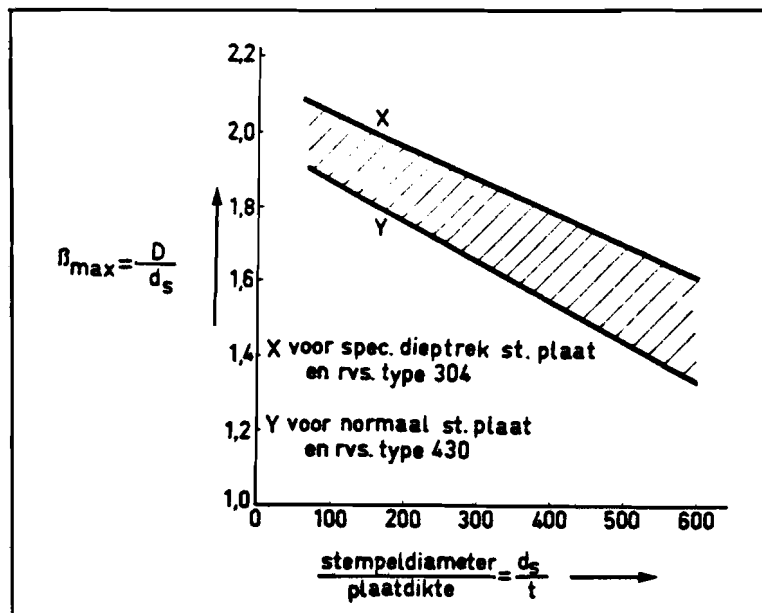
Uitgaande van het wrijvingsmodel van Coulomb:

$$\tau_f = \mu \cdot \sigma_n \quad (10)$$

is voor het wrijvingsaandeel in de flens afgeleid:

$$F_2^* = 2 \frac{\mu \cdot P_{PI} \cdot I_P}{C \cdot S_0} (\beta - 1) \quad (11)$$

Let hier vooral op de term r_p/s_0 . Dit impliceert dat het wrijvingsaandeel afhangt van de grootte van het produkt. Zie figuur 10. Zie verder literatuur[1].



Figuur 10: Vanuit de praktijk bekende verband tussen de stempeldiameter/blekdikte-verhouding en de maximale dieptrekverhouding

Voor de wrijving langs de matrijsafronding is afgeleid:

$$F_3^* = \pi \mu (F_1^* + F_2^*) \quad (12)$$

Voor het aandeel van de kracht ten behoeve van de dubbele buiging langs de matrijsafronding is afgeleid:

$$F_4^* = [(\ln \frac{\beta_0}{\beta} + \varepsilon_0)^{n-1} \frac{1}{\beta} + 1] \frac{1}{\sqrt{3}} \frac{\beta_0}{\beta} \left(\frac{p_d}{s_0} + \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\beta_0}}{\beta} \right)^{-1} \quad (13)$$

Bij de afleiding van bovenstaande formules is gebruik gemaakt van een zekere modellering van het deformatieproces, het materiaalgedrag en de wrijving. De modelmatig berekende kracht hoeft dus niet exact gelijk te zijn aan de gemeten waarde. Belangrijker is echter de mogelijkheid tot het uitvoeren van een parameteronderzoek of gevoeligheidsanalyse.

1.5.3. DE MODELLERING VAN DE KRITISCHE KRACHT

Kals [1,5] heeft voor de kritische kracht afgeleid:

$$F_{crk}^* = \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right)^{n+1} \cdot n^n \left\{ \frac{s_0}{\rho_p} + \frac{s_0}{r_p} + \exp \left(n - \frac{\sqrt{3}}{2} \varepsilon_0 \right) \right\}^{-1} \quad (14)$$

Hierin is rekening gehouden met de invloed op de spannings- en rektoestand ten gevolge van de dubbele kromming rond de stempelradii r_p en p_p .

Deze F_{cr} geeft de kracht aan die de wand van de cup maximaal kan opnemen.

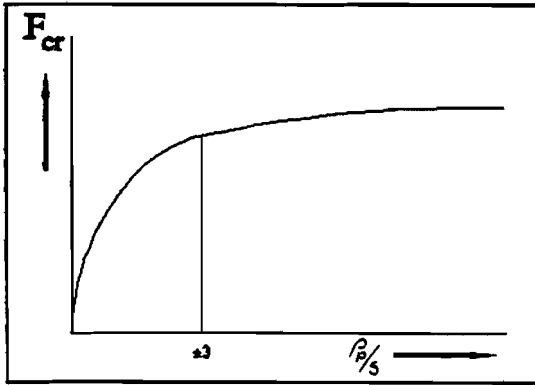
Overschrijdt de benodigde kracht deze kritische kracht, dan zal insnoering en vervolgens breuk optreden in de wand. Dit zal altijd gebeuren vlak boven de bodem, waar de stempelradius overgaat in de wand, aangezien de wand daar het dunst is.

Dit model voor de kritische kracht is echter niet voor alle soorten metaal bruikbaar.

Dit wordt duidelijk wanneer de modelmatig berekende kritische krachten voor een aantal verschillende metalen vergeleken worden met de experimentele waarden. Voor

staal bijvoorbeeld, geeft dit model (veel) te lage waarden, zie tabel 3 par. 2.2, terwijl voor aluminium te hoge waarden worden berekend.

Hoewel de exacte waarden bij het model van Kals voor staal fout zijn geeft de formule wel de juiste tendens weer, zie figuur 11.



Figuur 11: Invloed stempelafrondingsstraal/blekdikte-verhouding op de kritische kracht, afgeleid door Kals.

Voor staal is door Ramaekers [1] een eenvoudiger en toch nauwkeuriger benadering afgeleid:

$$F_{crR}^* = \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{n+1} \left(\frac{n}{e}\right)^n \exp\left(\frac{\sqrt{3}}{2} \epsilon_0\right) \quad (15)$$

Bij meting zal ook hier blijken dat de werkelijke kritische kracht hoger ligt. Dit wordt toegeschreven aan de wrijving tussen wand en stempel. Dit wordt uitgedrukt door een verbeterde vergelijking van Ramaekers en de Winter [9]:

$$F_{crRW}^* = F_{crR}^* \left(1 + \frac{\mu_p \cdot l}{2r_p}\right) \quad (16)$$

Omdat de contactlengte (l) tussen stempel en wand niet eenvoudig te bepalen is, is deze vergelijking niet in het TURBO-PASCAL programma opgenomen.

Vergelijking (15) wordt gehanteerd voor staal maar geeft enigszins te lage waarden. Hierbij moet bovendien altijd de juiste waarde voor de stempelafronding, ρ_p , gekozen worden. ($\rho_p > 3s_0$).

Voor aluminium geeft vergelijking (14) een enigszins te grote waarde. Berekende

maximale dieptrekverhoudingen moeten dus iets kleiner genomen worden.

De benodigde en kritische kracht worden dus bepaald door de volgende 10 parameters (deze parameters staan ook vermeld in het INPUT-OUTPUT-schema voor het parameteronderzoek, zie paragraaf 1.4):

De geometrische parameters :

- s_0 = initiële dikte van de blenk
- r_{u0} = straal van de blenk
- r_p = stempelstraal
- ρ_p = afrondingsstraal van de stempel
- ρ_D = afrondingsstraal van de matrijs

De materiaalparameters:

- C = karakteristieke deformatieweerstand
- n = versterkingsexponent
- ϵ_0 = voordeformatie

De wrijvingsparameters :

- μ = wrijvingscoëfficiënt
- p_{p1} = plooihouderdruk

1.5.4. DE BEPERKINGEN VAN HET MODEL

Een model geeft de werkelijkheid nooit volmaakt weer. Met enkele belangrijke zaken is geen rekening gehouden:

- * Er is uitgegaan van isotroop materiaal. In de praktijk hebben we altijd te maken met anisotropie, symbool r , wat een gevolg is van het walsproces. Bij anisotropie geldt het volgende: Hoe groter de r -waarde, hoe groter de te bereiken maximale dieptrekverhouding β_{0max} .
- * Het model geldt voor dieptrekken met plooihouder, vandaar de parameter p_{pl} . Maar het model waarschuwt niet voor plooivorming indien indien de plooihouderdruk een te lage waarde heeft. Hierdoor loopt in de praktijk de cup vast en loopt de dieptrekkraft zo hoog op dat scheuring op zal treden. Het model rekt hier gewoon verder.
- * Bij de berekening wordt niet gecontroleerd of de dikker wordende flens vast zal lopen in een te klein gekozen trekspleet, hetgeen ook breuk kan veroorzaken

2. DE INVULLING VAN DE PRAKTIKUMMIDDAG

Tijdschema praktikummiddag dieptrekken:

Duur: 13.30-16.15.

- | | |
|---|----------------------------------|
| * Theoretische inleiding: ± 30 min. | |
| groep 1: | groep 2: |
| * Rekenen aan PC: ± 45 min. | * Demonstraties aan Erichsenbank |
| * Demonstraties aan Erichsenbank: ± 45 min. | * Rekenen aan PC |
| * Maken van opgaven: ± 45 min. | |

2.1. HET REKENGEEDEELTE

Het rekengedeelte bestaat uit het maken van twee opgaven met behulp van het computerprogramma. De formules voor de vier deelkrachten, tezamen de totale benodigde dieptrekkkracht vormend, evenals de formule voor de kritische kracht zijn geprogrammeerd in een TURBO-PASCAL programma. Na het ingeven van waarden voor de tien dieptrekparameters rekent dit programma de maximale benodigde dieptrekkkracht uit met bijbehorende dieptrekverhouding β en tevens de kritische kracht en beeldt deze waarden af op het scherm. Wanneer de benodigde kracht groter is dan de kritische kracht dan vermeldt het programma dat het produkt met deze geometrie niet kan worden diepgetrokken. Desgevraagd kunnen de dimensieloze kracht-wegkrommes grafisch worden afgebeeld.

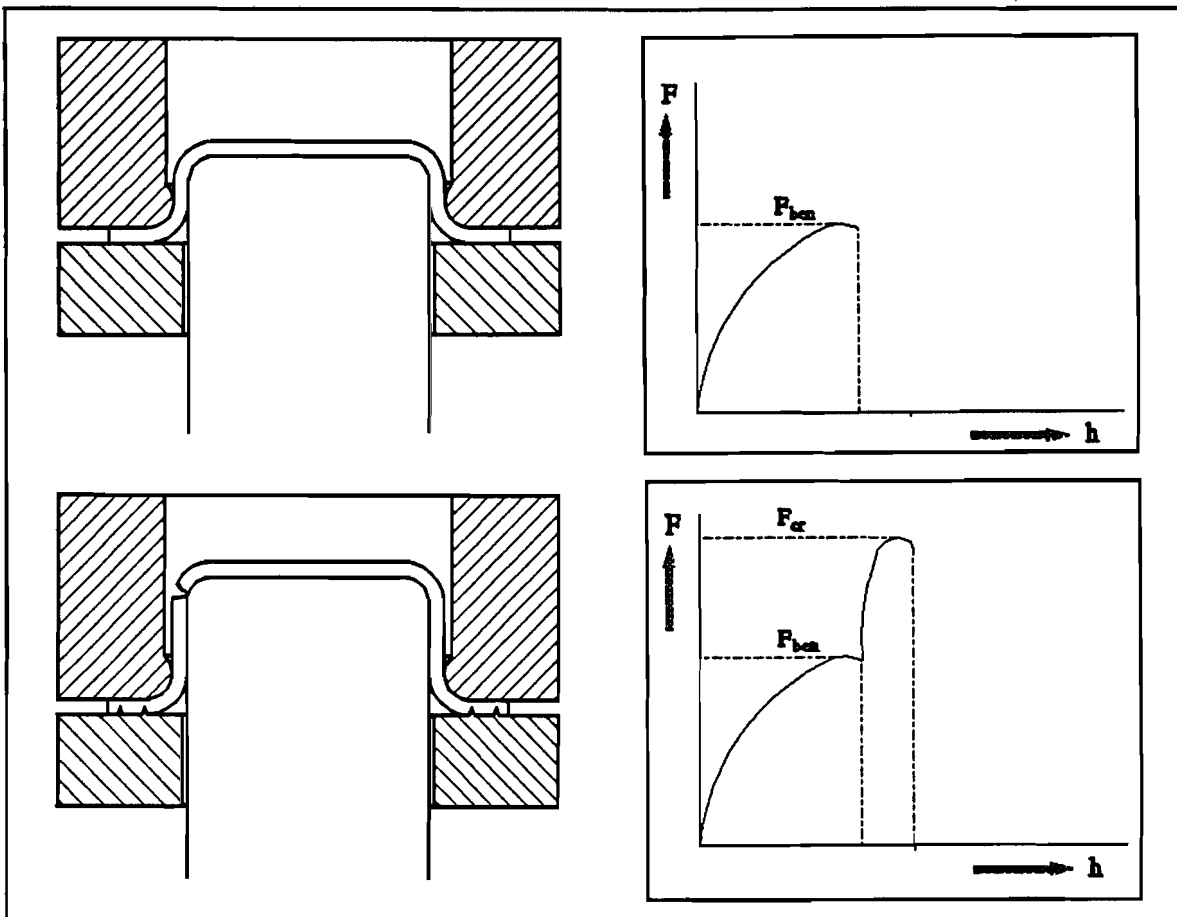
Opgave 1 dient om per parameter na te gaan welke invloed deze heeft op F_{ben} en aan welke deelkracht deze invloed kan worden toegeschreven. Ook de invloed op F_{cr} kan zo bepaald worden. Deze opgave vormt de voorbereiding op opgave 2, waarin gevraagd wordt of een gegeven produkt maakbaar is door middel van dieptrekken. Bij deze opgave moet gebruik worden gemaakt van het ontwerpstroomschema, zie bijlage

Deze vraag is van het grootste belang bij de koppeling tussen produktontwerp en produktievoorbereiding. Bij dieptrekken speelt wat betreft maakbaarheid ook de beperkte vorm- en maatnauwkeurigheid een rol. De wanddikte van een dieptrekprodukt is namelijk van bodem tot bovenrand bekeken niet constant, zie figuur 5, en altijd zal de onvermijdelijke stempelradius een afgeronde overgang van bodem naar wand tot gevolg hebben. Meestal zullen dus een of meerdere nabewerkingen nodig zijn, zoals afsteken van de oren, calibreren van de bodem of het afstrijken van de wand naar een geëiste, constante dikte. Wanneer dit niet leidt tot het gewenste eindprodukt of te duur wordt, zal naar een andere produktiemethode gezocht moeten worden.

Zie voor de opgaven de bijlagen.

2.2. HET MACHINEGEDEELTE

In de praktijk kunnen de benodigde en de kritische kracht voor een axisymmetrisch rond produkt gemakkelijk en snel bepaald worden met behulp van de Engelhardttest, zie figuur 12.



Figuur 12: De Engelhardt test.

De uitvoering van deze test is als volgt:

- Uit een blenk wordt een cupje getrokken tot het moment waarop de benodigde dieptrekkraft zijn maximum heeft bereikt. De pers slaat dan automatisch af. Het kracht-weg verloop wordt hierbij geregistreerd door een X-Y schrijver.
- De dieptrekring wordt vervangen door een ring met rillen. Dit dient om de nog aanwezige flens goed vast te houden.
- De flens wordt vastgeklemd tussen de plooihouder en de geribbelde dieptrekring. De plooihouderkracht wordt verhoogd.

de pers wordt weer aangezet en de stempel blijft de wand strekken totdat scheuring optreedt. Het vervolg van het kracht-weg-verloop wordt geregistreerd.

Tijdens de demonstraties, die de studenten zelf in groepjes van twee uitvoeren, zal de invloed van de matrijsafroning en van de stempelafronding in de praktijk aangetoond worden. Hieruit zal blijken dat bij grotere matrijsafroning de benodigde kracht afneemt, terwijl de kritische kracht onveranderd blijft, zie tabel 2. Een grotere stempelafronding zal een hogere kritische kracht bij gelijkblijvende benodigde kracht te zien geven, zie tabel 3. Vergroting van matrijs- en stempelstraal komt dus de maakbaarheid ten goede. Vanwege tijdgebrek zal de praktische invloed van de overige dieptrekgrootheden getoond worden aan de hand van een demonstratiebord. Het betreft hier 21 proefcupjes, waarmee Engelhardt tests zijn uitgevoerd. Hiermee wordt getoond welke invloed een dieptrekgrootheid heeft door deze te variëren onder verder gelijke omstandigheden. Bij elk cupje wordt de bijbehorende benodigde en kritische kracht vermeld evenals alle waarden voor de dieptrekparameters. Zo wordt dus een duidelijk totaalbeeld verkregen van de invloed die elke parameter in de praktijk heeft op de benodigde en kritische kracht. Zie de bijlagen voor de opgaven, behorende bij het machinegedeelte.

Hieronder volgt een overzicht van de resultaten van deze tests. Zie voor de waarden van de parameters het demonstratiebord.

materiaal	C [kN]	n	ϵ_0	F_{ben} [kN]	F_{cr} [kN]
SPD	580	0,23	0	21,50	31,75
Al	254	0,30	0	7,50	11,38
RVS	1370	0,51	0,05	35,75	55,50

Tabel 1: Invloed materiaalgrootheden op F_{ben} en F_{cr} .

ρ_D [mm]	2	4	6	8	10
F_{ben} [kN]	21,00	20,38	19,25	18,25	15,00

Tabel 2: Invloed matrijsafroning op F_{ben} .

ρ_p [mm]	2	4	6	8	10
F_{ben} [kN]	20,00	n.b.	19,75	20,00	19,63
F_{cr} [kN]	28,88	30,88	29,75	30,13	30,25

Tabel 3: Invloed stempelafronding op F_{ben} en F_{cr} .

Bij waarden van ρ_p , die groter zijn dan drie keer de blenkdikte neemt de kritische kracht nauwelijks toe. Het is dus zinvol om deze serie tests uit te breiden met waarden voor ρ_p , die kleiner zijn dan drie keer de blenkdikte, bijvoorbeeld 1 of 1,5 mm, ($s_0=0,8$ mm). Zo wordt beter inzicht verkregen in de invloed die ρ_p heeft op de kritische kracht. Zie hiervoor ook figuur 11.

smeermiddel	μ	F_{ben} [kN]	F_{cr} [kN]
Talk	0,109	19,07	25,72
Fynarol	0,132	20,05	26,50

Tabel 4: Invloed smering op F_{ben} en F_{cr} .

$\beta_0 = (r_{u0}/r_p)$	52/30 \approx 1,73	65/30 \approx 2,16
F_{ben} [kN]	15,63	25,25
F_{cr} [kN]	28,00	28,25

Tabel 5: invloed initiële dieptrekverhouding op F_{ben} en F_{cr} .

BIJLAGEN

OPGAVEN REKENGEEDEELTE

Ogave 1

Ga uit van de volgende parameterwaarden, behorende bij een gegeven cup.

parameterwaarden:

-blenkparameters:

s_0 = initiële dikte van de blenk

r_{u0} = straal van de blenk

-materiaalparameters:

C = karakteristieke deformatieweerstand

n = verstevigingsexponent

ϵ_0 = voordeformatie

-gereedschapsparameters:

r_p = stempelstraal

ρ_p = afrondingsstraal van de stempel

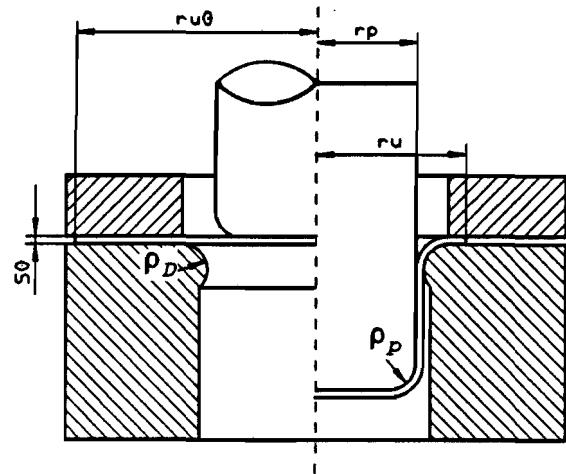
ρ_D = afrondingsstraal van de matrijs

-wrijvingsparameters :

μ = wrijvingscoëfficiënt

-machineparameter

P_{p1} = plooihouderdruk



a. Bereken met behulp van het computerprogramma F_{ber}^* en F_{cr}^* .

b. Variëer achtereenvolgens elke parameter en ga na wat hiervan de invloed is op

F_{ber}^* en F_{cr}^* . Bekijk ook aan welke deelkracht(en) de verandering aan F_{ber}^*

kan (kunnen) worden toegeschreven. Gebruik de bijgevoegde tabel.

	begin- waarde	effect parameter op		deelkrachten			
		F_{ber}^*	F_{cr}^*	F_1^*	F_2^*	F_3^*	F_4^*
s_0							
r_{u0}							
r_p							
ρ_p							
ρ_D							
C							
n							
ϵ_0							
μ							
P_{PL}							

Opgave 2

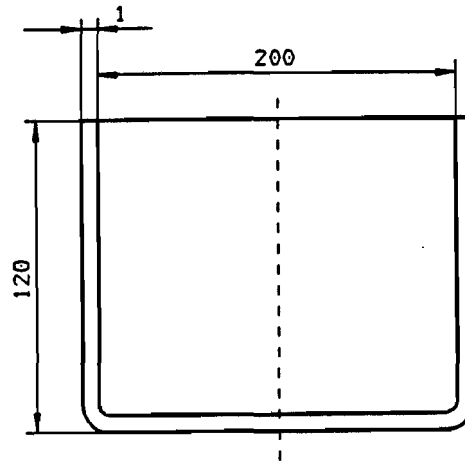
a. Onderzoek of het volgende produkt maakbaar is.

materiaal: SPD

$$C = 520 \text{ N/mm}^2$$

$$n = 0,23$$

$$\epsilon_0 = 0,00$$



Bepaal hiertoe alle dieptrekparameters.

Maak gebruik van het bijgevoegde ontwerpschema.

Bepaal de straal van de blenk door middel van volume invariantie:

$$2\pi r_p s_0 H + \pi r_p^2 s_0 = \pi r_{u0}^2 s_0$$

Maak voor de onbekende parameters een schatting.

Aanwijzingen:

$$\rho_D \geq (3-5) s_0$$

$$\rho_p = (3-5) s_0$$

$$p_{p1} \approx (2-3) \cdot 10^{-3} [(\beta_0 - 1)^3 + 0,5 \cdot 10^{-2} \frac{2r_{u0}}{s_0}] \cdot \sigma_B \quad \sigma_B = C \left(\frac{n}{e}\right)^n e^{\epsilon_0}$$

$$\mu \approx 0,10 - 0,15$$

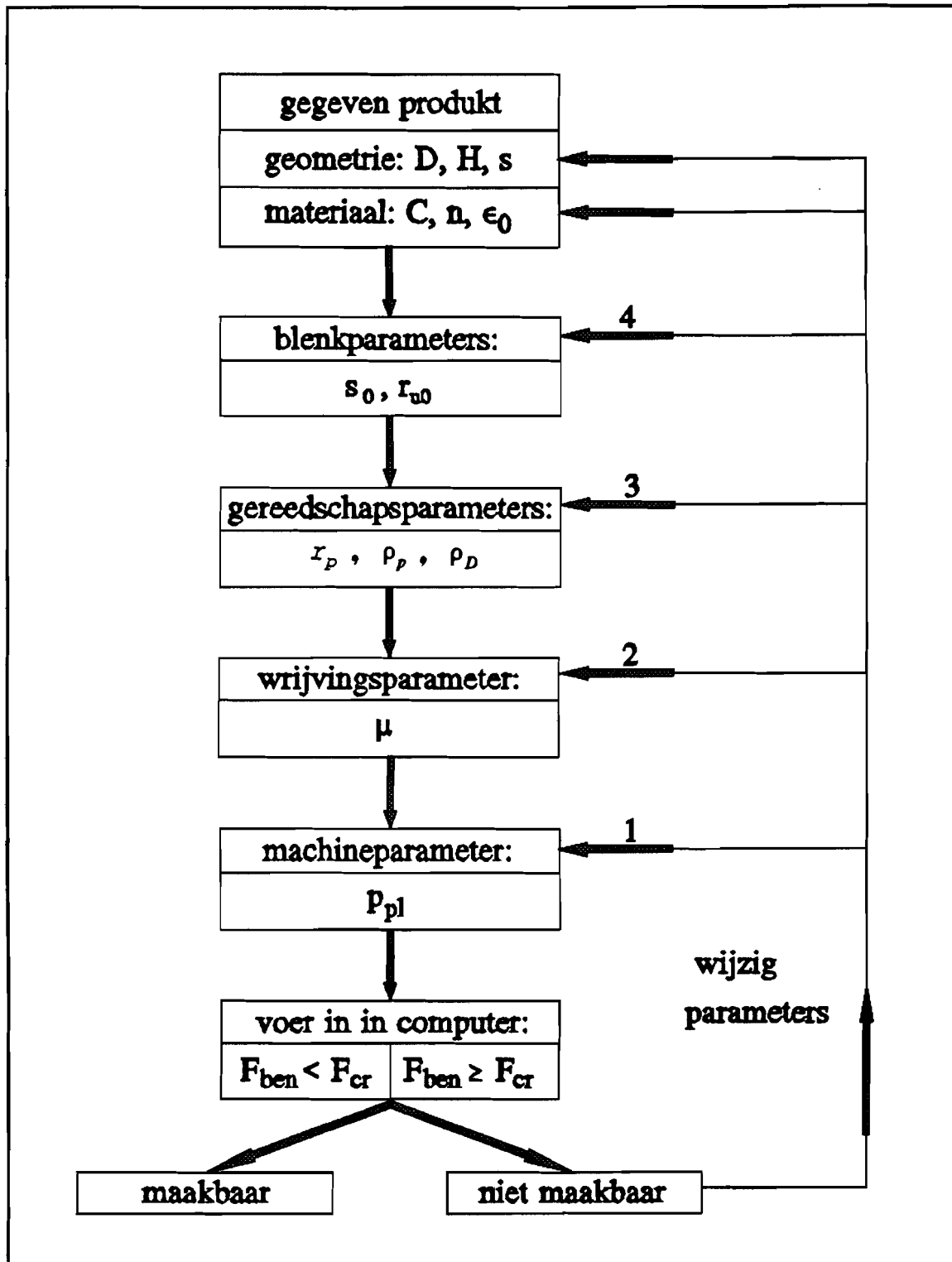
Is het produkt in eerste instantie niet maakbaar ($F_{ben} \geq F_{cr}$), verander dan

- eerst de machineparameter,
- dan de wrijvingsparameter,
- dan de gereedschapsparameters.

b. Waarom deze volgorde?

-Leveren deze veranderingen geen maakbaar produkt op, dan moet het produkt gemodificeerd worden naar materiaal of naar geometrie.

ONTWERPSCHEMA



OPGAVEN MACHINEGEDEELTE**Opdracht**

gegevens: -instelling X-Y-schrijver: -Y = 500 mV/cm, 1V = 5kN
 -X = 3,9 mm/cm in kalibreerstand
 -plooihouderkracht tot F_{ben} bereikt is: 6 kN
 -plooihouderkracht tot F_{cr} bereikt is: 30 kN
 -stempelsnelheid: 0,4 mm/s
 -plooihoudersnelheid: 1,0 mm/s
 -materiaal: SPDD
 -smearing: Talk
 -dieptrekgrootheden:

- s_0 = 1 mm
- r_{uo} = 30 mm
- r_p = 16,25 mm
- ρ_p = 1,1.5,2,4,6,8,10 mm
- ρ_D = 2,4,6,8,10 mm
- C = 530 N/mm²
- n = 0,23
- ϵ_0 = 0,00
- μ = 0,11

* Groep 1: Elk tweetal voert de Engelhardt test uit, waarbij voor elke test een andere afrondingsstraal voor de matrijs wordt genomen. Neem $\rho_p = 4$ mm. Registreer het kracht-wegverloop met behulp van de X-Y-schrijver. Zorg dat deze goed is ingesteld! Noteer de schaalwaarden en de afrondingsstraal van de matrijs op het registratiel.

* Groep 2: Elk tweetal voert de Engelhardt test uit. Elk tweetal neemt echter een andere afrondingsstraal voor de stempel. Neem $\rho_D = 4$ mm. Registreer het kracht-wegverloop met behulp van de X-Y-schrijver. Zorg dat deze goed is ingesteld! Noteer de afrondingsstraal van de stempel, evenals de schaalwaarden van de schrijver.

Opgave 1

Bepaal uit de geregistreerde kromme F_{ben} en F_{cr} . Wat valt op wanneer je de krommes van groep 1 vergelijkt? Maak één diagram, waarin je F_{ben} en F_{cr} uitzet tegen ρ_D .

Met welke ρ_D kun je in één trek de hoogste cupjes maken? Verklaar.

Opgave 2

Wat valt op wanneer je de krommes van groep 2 vergelijkt? Maak één diagram, waarin je F_{ben} en F_{cr} uitzet tegen ρ_D . Welke waarde is een praktische richtlijn

voor $\frac{\rho_D}{s_0}$?

Opgave 3

Bepaal uit je eigen test de dieptrekpotentiaal T.

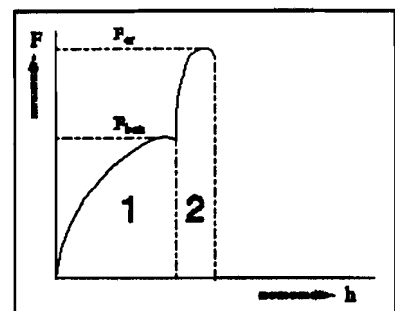
$$T = \frac{F_{cr} - F_{ben}}{F_{cr}}$$

Opgave 4

Bepaal uit de kromme van je eigen test de absolute en de relatieve arbeidsreserve.

$$\text{Relatieve arbeidsreserve (A)} = \frac{opp(2)}{opp(1+2)}$$

$$\text{Absolute arbeidsreserve} = opp(2)$$



LITERATUUR

- [1] J.A.H. Ramaekers Plastisch bewerken van metalen.
L.J.A.Houtackers 2^e druk Mierlo juli 1988
P.B.G. Peeters
- [2] K. Lange Lehrbuch der Umformtechnik, Band 3.
Springer-Verlag 1975
- [3] Oehler/Kaiser Schnitt-, Stanz- und Ziehwerkzeuge.
Springe-Verlag
- [4] J.G.E. van Lieshout Eenvoudige modellering voor een axisymmetrisch
dieptrekprodukt.
TUE WPA nr.1260, IOPD, feb 1992
- [5] J.A.G. Kals Bewerkingstechnologie collegediktaat
J.H. Dautzenberg TUE WPA 1983
J.A.H. Ramaekers
- [6] M.t.H. de Groot Bewerkingstechnologie praktikumhandleiding
L.J.A. Houtackers TUE WPA 1989
- [8] TNO Machinale plaatbewerking
- [9] A. de Winter De kritische kracht voor ronde produkten, metingen en
berekeningen vergeleken
TUE WPA nr.1388, IOPM-D 044, aug 1992