

MASTER

CAD-EEM koppeling, slipcondities van het plaatwalsproces : bijdragen tot loopless control

Heintjes, T.B.

Award date:
1992

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

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

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

*CAD-EEM koppeling, Slipcondities
van het plaatwalsproces;
Bijdragen tot looperless control*

*T.B. Heintjes
TUE-W-WPA rapportnr. 1324
Hoogovens Lab. archiefnr. 73786*

Verslag afstudeeropdracht

Technische Universiteit Eindhoven,

Faculteit der Werktuigbouwkunde,

Vakgroep Werktuigbouwkundige Produktietechnologie en - Automatisering,

Sectie Bewerkingseigenschappen van Materialen.

Afstudeerhoogleraar: Prof.Ir. J.A.G. Kals

Begeleider: Dr.Ir. J.H. Dautzenberg

In opdracht van:

Hoogovens IJmuiden, afdeling RL-MIR-BOA, Centraal Laboratorium 2.

Begeleider: Ing. J. Vermeij

Haarlem, augustus 1992.

Samenvatting

De eindwalsgroep van warmbandwalserij 2 van Hoogovens IJmuiden bestaat uit zeven walsstands en zes loopers. De loopers zijn momenteel nog noodzakelijk om de lengtevariatiën van de band tussen twee walsstands op te vangen. Deze lengtevariatiën zijn het gevolg van de niet ideale regelacties van de massastroomregeling en de diktereregeling.

In het kader van kwaliteitsverbetering wordt gestreefd naar looperless control, dat wil zeggen, om de looperactiviteiten tot een minimum te reduceren, of liever te elimineren. Om de walstuigregelmodellen, die bij looperless control horen, vooraf te analyseren, wordt gewerkt aan een interactieve computersimulatie-omgeving. Deze simulatie-omgeving moet gaan bestaan uit de onderdelen *interactief ontwerpen*, *walsprocesmodellering* en *walsprocesvoering*. Het interactief ontwerpen moet gaan bestaan uit de onderdelen CAD ontwerp; eindige elementen analyse en modale analyse. Deze drie systemen zijn al beschikbaar, maar zijn nog niet interactief inzetbaar.

In het kader het interactief ontwerpen is een softwarekoppeling gerealiseerd tussen het 2D CAD systeem micro CADAM plus en het eindige systeem ANSYS. Hierbij wordt een micro CADAM tekening omgezet in een ANSYS invoerfile.

Deze koppeling maakt het mogelijk om de geometrie van een constructie, onafhankelijk van ANSYS, eenduidig te definiëren.

De voordelen van het automatisch genereren van de invoerfile betreffen de foutloze overdracht van informatie en tijdsbesparing.

Ten aanzien van walsprocesmodellering is voor de regeling van de eindwalsgroep met geen of geringe looperactiviteiten noodzakelijk dat er geen grote afwijkingen van nominale instellingen ontstaan. Een van de mogelijke grote afwijkingen is het doorslippen van de walsrollen over de plaat. Om dit te voorkomen, is een analyse gemaakt van de omstandigheden waaronder dit kan optreden.

Hierbij is gekeken naar slip die veroorzaakt wordt door een te grote ingangstrek.

Om de theoretische resultaten te verifiëren, is een theoretische verificatie en een praktische verificatie uitgevoerd. De theoretische verificatie bestaat uit het vergelijken van de resultaten met resultaten van Avitzur's theorie, en het vergelijken met een Hoogovens slipmodel. De praktische verificatie is uitgevoerd door in een proefopstelling de slipcondities te forceren. De theoretische en praktische resultaten moeten gaan dienen als een begrenzing voor een aantal parameters die voorkomen in de walstuigregelmodellen.

Summary

The final rolling section for sheet steel in the hot rolling factory nr.2 of Hoogovens IJmuiden consists of seven rolling mills and six loopers. The loopers are necessary to compensate the variations in sheetlength between two rolling mills. These variations of sheetlength are due to the imperfectness of the massflowcontrol and the thicknesscontrol.

In order to improve quality, the looperactivities should be minimalised or eliminated. This is possible with looperless control. To test the looperless control models, a simulation environment is needed. This simulation environment will consist the elements *interactive design*, *procesmodelling* and *processing*. The interactive design should consist of CAD design, finite element analysis and modal analysis. These three systems are already available, although they can not work interactively yet.

Within the above stated framework a softwarelink is made between the two dimensional CAD system micro CADAM plus and the finite element system ANSYS. The softwarelink consists of a conversion program that turns a micro CADAM drawing into an ANSYS inputfile.

This linkprogram makes it possible to define the geometry of a construction, independent of ANSYS.

The advantages of the automatic generation of the ANSYS inputfile are the flawless transference of information and timesaving.

For the procesmodelling, it is necessary for the control of the final rolling section with no or minimal looperactivities, that no large fluctuations of nominal values occur. One of the possible big differences of nominal parametervalues is when slipping occurs between the steel sheet and the rolls. In order to avoid this, an analysis is made of the circumstances under which this can happen. In this respect the critical entry tension is reviewed.

In order to verify the theoretical results, a theoretical and a practical verification has been done. The theoretical verification consists of comparing the results with results of Avitzur's theory, and a Hoogovens' model for slip. The practical verification was done bij forcing the slipping conditions in a small test rolling mill. The theoretical and practical results can be used as a boundary for the parameters in the looperless control models.

Symbolenlijst

<i>symbool</i>	<i>omschrijving</i>	<i>dimensie</i>
x, y, z	coördinaten	L
σ	spanning	$ML^{-1}T^{-2}$
σ_n	normaalspanning	$ML^{-1}T^{-2}$
C	specifieke spanning	$ML^{-1}T^{-2}$
ϵ	rek	-
ϵ_e	elastische rek	-
ϵ_p	plastische rek	-
ϵ_0	voordeformatie	-
n	verstevigingsexponent	-
τ	schuifspanning	$ML^{-1}T^{-2}$
μ	wrijvingscoëfficiënt	-
m	wrijvingsfactor	-
τ_{fr}	wrijvingsspanning	$ML^{-1}T^{-2}$
σ_f	initiële vloeispanning	$ML^{-1}T^{-2}$
$h_0, h_1, h(\alpha)$	plaathoogte	L
Δh	totale hoogteverandering	L
b_0	plaatbreedte	L
α	walshoek	rad
α_0	contacthoek	rad
α_n	hoek van de neutrale doorsnede	rad
I-I, U-U, N-N	doorsnede	-
R	walsrolradius	L
c	contactlengte	L
l	geprojecteerde contactlengte	L
A_d	contactoppervlak	L^2
$v_0, v_1, v(\alpha), w(\alpha)$	plaatsnelheid	LT^{-1}
v_w	walsrolomtrekssnelheid	LT^{-1}
u_t	tangentiële verplaatsing	L

<i>symbool</i>	<i>omschrijving</i>	<i>dimensie</i>
u_n	normale verplaatsing	
F_w	walskracht	MLT^{-2}
T_w	walskoppel	ML^2T^{-2}
ω	hoekfrequentie	$radT^{-1}$
P_m	procesvermogen	ML^2T^{-2}
P_{fr}	wrijvingsvermogen	ML^2T^{-2}
P_{Df}, P_{Df}	deformatievermogen	ML^2T^{-2}
P_t	vermogen geleverd door uitwendige krachten	ML^2T^{-2}
P	werkelijk procesvermogen	ML^2T^{-2}
t	tijd	T
σ_0	ingangstrek	$ML^{-1}T^{-2}$
σ_1	uitgangstrek	$ML^{-1}T^{-2}$
$\sigma_n(\alpha)$	normaalspanning in contactzone	$ML^{-1}T^{-2}$
S^u	uittreeoppervlak	L^2
S^{fr}	wrijvingsoppervlak	L^2
S^t	oppervlak waarin opgelegde spanningen werken	L^2
t_i	opgelegde spanning in vlak i	$ML^{-1}T^{-2}$
u_i	snelheid door een oppervlak i met opgelegde spanning	LT^{-1}
Γ_i	discontinuïteitsvlak	-
I,II,III	deformatiezone	-

Voorwoord

Dit verslag beschrijft mijn afstudeeropdracht bij Hoogovens IJmuiden.

De theorie is in dit rapport kort samengevat.

Gedetailleerde uitwerkingen van de theorie en aanvullende informatie is opgenomen in een WPA rapportnr. 1325.

Gedurende mijn onderzoek heb ik met diverse mensen, uit verschillende afdelingen, samengewerkt.

Ik wil graag iedereen bedanken voor hun hulp en enthousiasme.

Mijn speciale dank gaat uit naar Joop Vermeij, mijn bedrijfsbegeleider, en naar mijn ouders, voor hun onvoorwaardelijke steun gedurende mijn gehele studie.

Tom Heintjes

Opdrachtomschrijving

Student: T.B. Heintjes
Afstudeerhoogleraar: Prof.Ir. J.A.G. Kals
Begeleiders:
T.U. Eindhoven: Dr.Ir. J.H. Dautzenberg
Hoogovens IJmuiden: Ing. J. Vermeij
Periode: 11 november 1991 - 22 september 1992

Inleiding

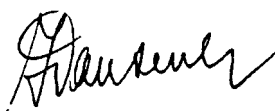
Binnen de divisie Staal van Hoogovens IJmuiden wordt continu gewerkt aan technologische verbeteringen van het produktieproces. Een onderdeel hiervan is het optimaliseren van het walsen van staalband. De research-afdeling RL-MIR-BOA van Hoogovens werkt aan een interactieve computersimulatie van de walsprocesregeling. De interactieve computersimulatie moet gaan bestaan uit de onderdelen CAD-ontwerp, eindige elementen analyse en modale analyse, ten behoeve van de simulatie van de walstuigregelmodellen. Een probleem is dat deze zelfstandig goed werkende onderdelen nog niet interactief kunnen samenwerken.

Opdracht

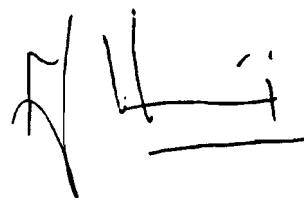
- 1 Realiseer een softwarekoppeling tussen het CAD ontwerpsysteem en het eindige elementen analyse systeem, zodat het genereren van de te analyseren geometrie buiten het eindige elementen systeem kan plaatsvinden.
- 2 Maak een analyse van de parameters bij het optreden van slip in het walsproces zoals dat in de eindwalsgroep van warmbandwalserij 2 plaatsvindt. Maak vervolgens een model van dit walsproces, dat onder andere met gebruikmaking van de gerealiseerde koppeling de relaties tussen de verschillende grootheden tot uitdrukking brengt, en, zo mogelijk, in getalwaarden uitdrukt.



Prof.Ir. J.A.G. Kals



Dr. Ir. J.H. Dautzenberg



Ing. J. Vermeij

Inhoudsopgave

Samenvatting	1
Summary	2
Symbolenlijst	3
Opdrachtschrijving	6
1 INLEIDING	9
1.1 Hoogovens Groep B.V.	9
1.2 Looperless control, probleemstelling	9
1.3 Simulatiehulpmiddelen	10
2 ONTWIKKELING VAN KOPPELINGSSOFTWARE	11
2.1 Uitvoer van CADAM	11
2.2 Invoer van ANSYS	11
2.3 Koppeling tussen CADAM en ANSYS	11
2.4 Het programma MALP	11
3 HET PLAATWALSPROCES	13
3.1 Inleiding	13
3.2 Plastische deformatie van het plaatmateriaal	14
3.3 Normaaldrukverdeling in de contactzone	14
3.4 De positie van het neutrale punt	15
3.5 Wrijving in de contactzone	15
3.6 Aannamen ten behoeve van de procesanalyse	16
3.7 Interacties tussen de parameters	16
4 SLIP BIJ PLAATWALSEN	17
4.1 Inleiding	17
4.2 Microslip bij plaatwalsen	17
4.3 Plaatsbepaling van de neutrale doorsnede	18
4.3.1 Plaatsbepaling van de neutrale doorsnede met het bovengrenstheorema	18
4.3.2 Plaatsbepaling van de neutrale doorsnede met de 'slab method'	20
4.4 Macroslip bij het inlopen van de plaat in de walsspleet	21
4.5 Macroslip bij stationnair walsen	23
4.5.1 Begrenzingswaarden van de onafhankelijke procesvariabelen bepaald met het bovengrenstheorema	24
4.5.2 Begrenzingswaarden van de onafhankelijke procesvariabelen bepaald met de slab method	24

5 VERIFICATIE VAN HET MATHEMATISCH SLIPMODEL	25
5.1 Verificatie van het slipmodel	25
5.2 Avitzur's theorie	25
5.3 Hoogovens' slipmodel voor koudwalsen	25
5.4 Een proefopstelling	26
6 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	25
Literatuur	29
Glossarium	32

Hoofdstuk 1 - Inleiding

1.1 - Hoogovens Groep B.V.

De activiteiten van de Hoogovens Groep B.V. zijn ondergebracht in vijf divisies. Dit zijn de divisies Staal; Aluminium; Staalverwerking en Handel; Technische Dienstverlening en Industriële Toelevering. De divisie Staal is de grootste van de vijf en is gevestigd te IJmuiden. Het produceren van staal gaat als volgt in zijn werk.

In de zeehaven van Hoogovens worden ijzererts en steenkool aangevoerd. De ijzerertsen uit de verschillende delen van de wereld worden op mengvelden gehomogeniseerd. Van het erts worden pellets of sinters gemaakt. Van de steenkool wordt in de kooksfabriek kooks gemaakt. In een hoogoven worden sinters, pellets en kooks gemengd en verhit. Na reductie smelt het ijzer uit het mengsel, en wordt als ruwijzer opgevangen. De overige bestanddelen worden als slak afgevoerd. Van de slak wordt later cement gemaakt. Het ruwijzer gaat naar de staalfabriek, waar het grootste gedeelte van de koolstof er uit wordt gehaald, en door toevoeging van andere stoffen de gewenste specificatie ontstaat. Het vloeibaar staal gaat vervolgens naar de continugietterij. Hier worden plakken of knuppels gegoten. De knuppels worden verwerkt tot langwerpige produkten. De plakken komen uiteindelijk terecht in de warmbandwalserij, waar ze worden uitgewalst tot plaat. De plaat wordt aan het einde van de walsstraat opgerold. De rollen plaat gaan naar de afnemer of worden verder in de koudbandwalserij uitgewalst tot dunne plaat.

1.2 - Looperless control, probleemstelling

In de warmbandwalserij worden de plakken, die uit de continugietmachine komen, verwarmd en vervolgens in meerdere stappen uitgewalst tot plaat. Achtereenvolgens wordt de plak verhit, voorgewalst en nagewalst. De voorwalsstraat bestaat uit vijf achter elkaar staande walstuigen, waarbij de plak zowel in breedte- als in dikterichting uitgewalst wordt. De eindwalsgroep bestaat uit zeven walsstands en zes 'loopers', ofwel uitschuifbare geleidingsarmen. In de eindwalsgroep wordt de plaat in dikte gereduceerd van intreedikte 37 mm. tot een uitreedikte die varieert tussen de 1.2 en 20 mm..

De regeling van de eindwalsgroep is onder te verdelen in de dikteregeling en de massastroomregeling.

De dikteregeling gebeurt door de overkoepelende monitorregeling die het signaal van de röntgendiktemeter naar de Automatic Gauge Control (AGC) regelingen in de walsstands terugkoppelt. De röntgendiktemeter meet de plaatdikte op diverse plaatsen na de zevende walsstand. De AGC regelingen dienen om de ingestelde walsspleethoogte zo goed mogelijk constant te houden totdat de röntgendiktemeter een nieuwe referentiewaarde opgeeft.

De regeling van de massastroom gebeurt door het variëren van de snelheden van de walsrollen.

De ingestelde walsspleethoogte, de walskracht en de hieruitvolgende walsframerek bepalen de uiteindelijke diktereductie van de plaat. Door de dikteregelacties ontstaan variaties in de massastroom.*

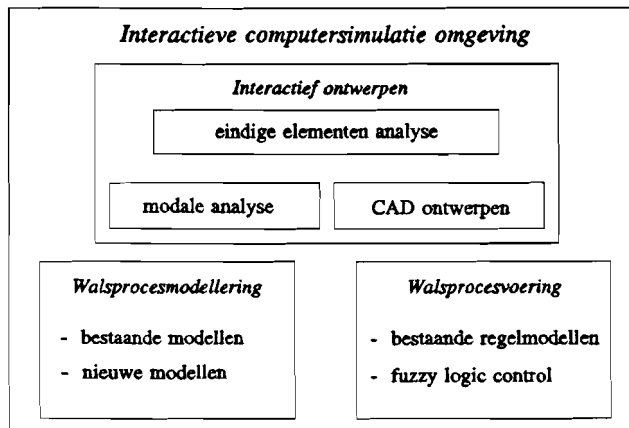
* [9] Govers, J., 'Modelvorming en massastroomregeling van de eindwalsgroep'.

Deze variaties worden niet waargenomen door de massastroomregeling, en moeten worden weggeregeld door de loopers.

In de huidige situatie zijn de uitslagen van de loopers groot. Door de ongunstige effecten van de loopers op het procesverloop en de plaatkwaliteit, wordt gestreefd naar warmwalsen zonder loopers (LooperLess Control, LLC) of met kleine loopers (Mini Looper Control, MLC). LLC en MLC brengen kostbare aanpassingen aan de walsstands met zich mee.

Daarom dient eerst nagegaan te worden of, en in welke mate LLC of MLC verbeteringen ten opzichte van de huidige situatie oplevert.

Om deze reden wordt een interactieve computersimulatieomgeving voor de walstuigregelmodellen ontwikkeld. De simulatieomgeving zal gaan bestaan uit de onderdelen: *interactief ontwerpen*, *walsprocesmodellering* en *walsprocesvoering*, zie figuur 1.



Figuur 1 - De onderdelen van de interactieve computersimulatieomgeving

1.3 - Simulatiehulpmiddelen

Een goed ontwerp van een walsstraat in combinatie met de juiste walsprocesmodellen moet een goed regelmodel voor de walsprocesvoering opleveren.

Het ontwerpen en analyseren van de diverse walsstraatonderdelen gebeurt met een CAD ontwerpsysteem, een eindige elementen analysesysteem en een modale analysesysteem. Deze drie systemen zijn reeds beschikbaar. Het probleem is dat ze nog niet interactief kunnen samenwerken.

In het kader van bovengenoemde ontwikkelingen is het volgende gedaan.

Ten behoeve van het *interactief ontwerpen* is een softwarekoppeling gemaakt tussen het CAD systeem micro CADAM plus en het eindige elementen systeem ANSYS.

Deze gekoppelde systemen bieden de mogelijkheid om sneller dan voorheen constructies te ontwerpen en te analyseren. Een beschrijving van de koppeling is opgenomen in hoofdstuk 2.

Ten behoeve van de *walsprocesmodellering* is een analyse gemaakt van de omstandigheden waaronder grote slip kan optreden tussen walsrollen en de plaat. Deze slipcondities zullen in een later stadium in de walsprocesregelmodellen als begrenzing voor een aantal parameters optreden. Beschrijvingen van het walsproces en de slipcondities zijn opgenomen in de hoofdstukken 3, 4 en 5.

Hoofdstuk 2 - Ontwikkeling van koppelingssoftware

2.1 - Uitvoer van CADAM

Hoogovens IJmuiden gebruikt het IBM 2D CAD systeem micro CADAM plus. De informatie die een tekening bevat wordt in gedigitaliseerde vorm opgeslagen. Het is mogelijk om de tekeninginformatie als tekeningfile op te vragen en te bewerken. Hiervoor is de optionele Geometry Interface Module (GIM) van micro CADAM plus nodig. Door de programmatuur van de GIM aan te passen kan informatie op maat worden opgevraagd.

2.2 - Invoer van ANSYS

Het genereren en analyseren van een constructie gebeurt in vier stappen.

- 1 De constructie wordt gedefinieerd met behulp van de volgende basiselementen: punten, lijnen, cirkels, cirkelbogen, ellipsen en (lineaire) splines.
- 2 De basiselementen worden aaneengevoegd tot *areas* (oppervlakken).
- 3 De areas worden bedekt met analyse-elementen.
- 4 Na het aanbrengen van belastingen en/of verplaatsingen kunnen de vervorming en spanningstoestand van de constructie berekend worden.

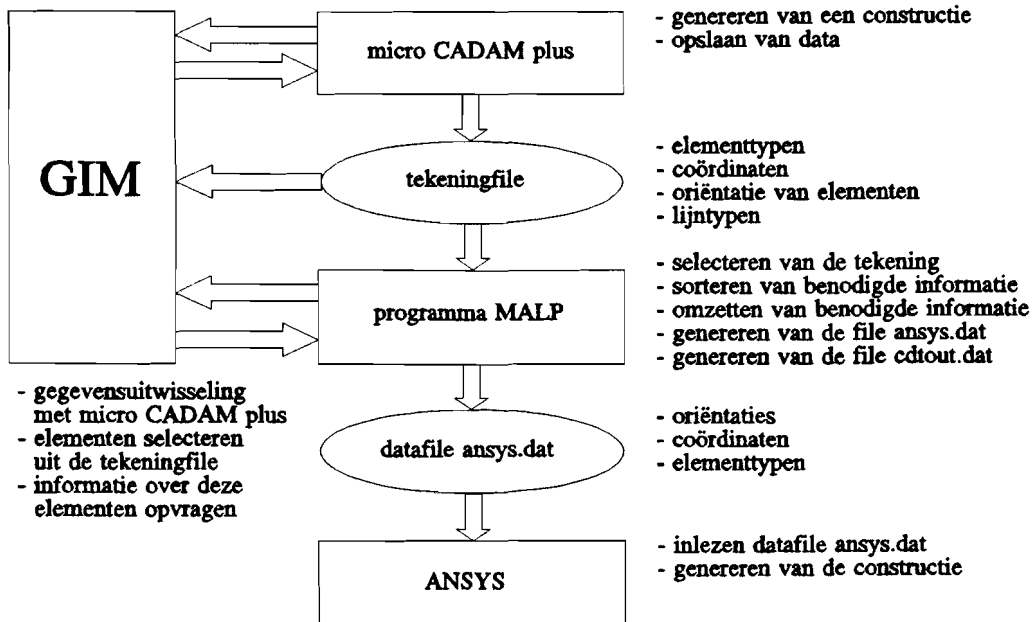
Het realiseren van een koppeling tussen micro CADAM plus en ANSYS betreft het zodanig omzetten van de tekeninginformatie dat stap 1 niet meer in ANSYS hoeft te gebeuren. De benodigde tekeninginformatie bestaat uit coördinaten, lijntypen, oriëntaties en elementtypen.

2.3 - Koppeling tussen CADAM en ANSYS

De koppeling bestaat uit het zelfontwikkelde programma Malp en de GIM module. De tekening die in micro CADAM plus is gemaakt, wordt opgeslagen in een tekeningfile. De file wordt geanalyseerd door Malp en de GIM. De resultaten van de analyse zijn de files cdtout.dat en ansys.dat. De file ansys.dat kan direct worden ingevoerd in ANSYS. Het resultaat is dat de constructie, met genummerde knooppunten en elementen, voor ANSYS eenduidig gedefinieerd is, en verder gegaan kan worden met de stappen 2, 3 en 4. Op de volgende pagina is een schema van de omzetting van informatie weergegeven.

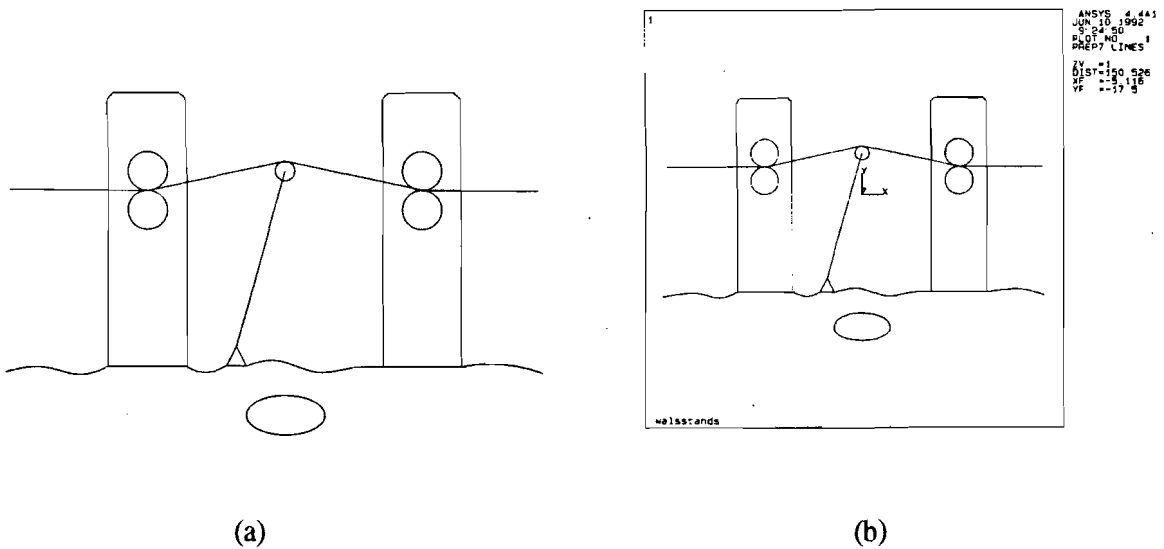
2.4 - Het programma Malp

Malp roept de GIM module aan. De GIM haalt één voor één de tekeningelementen uit de tekeningfile op en biedt ze, samen met de bijbehorende informatie, aan Malp aan. Malp schrijft over dit element alle aangeboden informatie weg naar de documentatiefile cdtout.dat. Vervolgens wordt bekeken of het element relevant is voor ANSYS. Indien dit het geval is, wordt het element, met geselecteerde informatie weggeschreven naar de file ansys.dat. De omzetting van tekeningelementen naar elementbeschrijvingen, zoals die voor ANSYS gebruikt worden, is volledig en eenduidig.



Figuur 2 - schema van informatie omzetting

In figuur 3 zijn de micro CADAM plus - en de ANSYS representatie van een tekening weergegeven. De ANSYS tekening is gegenereerd op basis van de file ansys.dat.



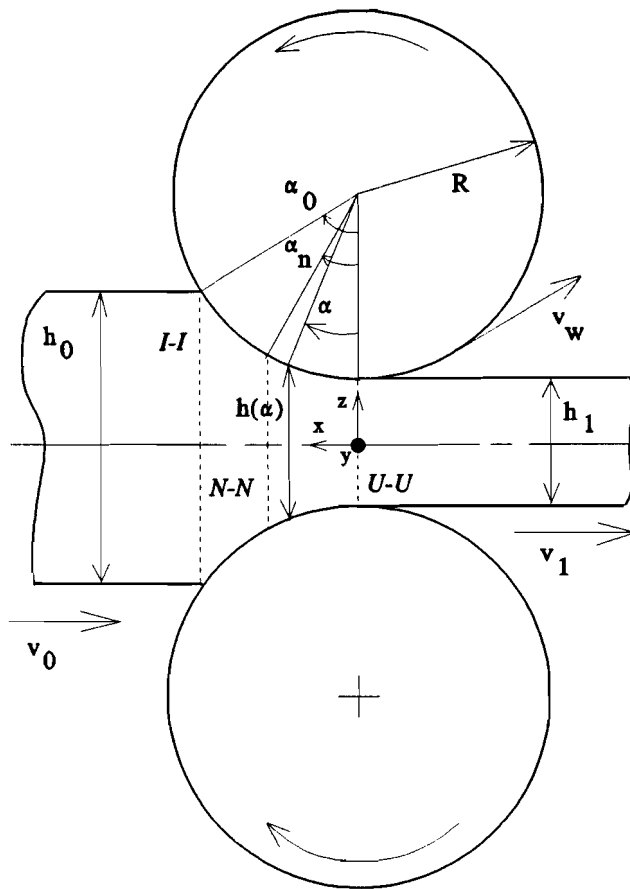
Figuur 3 - De micro CADAM tekening (a) en de ANSYS tekening (b)

In de bijlagen 1 t/m 5 is een gedetailleerde uitwerking van de koppeling tussen micro CADAM plus en ANSYS weergegeven.

Hoofdstuk 3 - Het plaatwalsproces

3.1 - Inleiding

In het plaatwalsproces wordt plaat in dikte gereduceerd. Dit gebeurt door de plaat tussen twee walsrollen door te voeren, waarbij het plaatmateriaal plastisch deformeert. In figuur 4 is het walsproces schematisch weergegeven. De plaat heeft een breedte b in y -richting.



Figuur 4 - Het plaatwalsproces

Tijdens stationnair walsen nadert de plaat de walsrollen met een snelheid v_0 . In de doorsnede $I-I$ begint het deformatieproces. Ter plekke van doorsnede $U-U$ is de deformatie voltooid. De plaat verlaat de walsrollen met een snelheid v_1 .

In de ingangdoorsnede komt de buitenkant van de plaat in contact met de walsrol. De walsrol heeft hier een snelheid die groter is dan die van de plaat. Door dit snelheidsverschil en de normaalspanning treedt wrijving op. Deze wrijving wordt groter naarmate het materiaal meer naar binnen wordt verplaatst. Tegelijkertijd neemt het snelheidsverschil af. In de zone $N-N$ is het snelheidsverschil tussen rollen en plaat nul geworden. De wrijving bereikt hier een maximum. Tussen de zone $N-N$ en de uitgangdoorsnede neemt de wrijving weer af. Het snelheidsverschil tussen plaat en walsrollen neemt weer toe, waarbij in dit gebied de plaat een grotere snelheid heeft dan omtreksnelheid van de walsrollen. Gedurende dit proces is de plaatdikte gereduceerd van intreedikte h_0 tot uitreedikte h_1 .

In de volgende paragrafen zal een aantal onderdelen van het plaatwalsproces nader worden bekeken. In de volgende hoofdstukken zal specifiek worden ingegaan op slip bij plaatwalsen.

3.2 - Plastische deformatie van het plaatmateriaal

Het deformatieproces van het plaatmateriaal begint in het vlak $I-I$ en eindigt in het vlak $U-U$. In dit gebied wordt de theoretische plastische deformatie bepaald door het materiaal, het gebruikte materiaaldeformatiemodel, de temperatuur en de optredende krachten. Hierbij wordt aangenomen dat het materiaal volgens een rechte rekweg deformeert. Tevens wordt aangenomen dat er geen rek in de breedterichting optreedt, dus $\epsilon_y = 0$. Ten behoeve van de materiaaldeformatie analyse worden twee materiaaldeformatiemodellen gebruikt.

Het model voor exponentieel versterkend materiaal:

$$\bar{\sigma} = C(\bar{\epsilon} + \bar{\epsilon}_0)^n \quad (1)$$

Het model voor ideaal plastisch materiaal:

$$\bar{\sigma} = \sigma_f \quad (2)$$

Het model voor exponentieel versterkend materiaal wordt gebruikt voor het koudwalsproces. Bij dit proces treedt materiaalversterking op. Het model van ideaal plastisch materiaal wordt gebruikt voor het warmwalsproces. Hierbij treedt geen materiaalversterking op.

3.3 - Normaaldrukverdeling in de contactzone

De plastische deformatie van het plaatmateriaal wordt bereikt door de normaalspanning in de contactzone. De normaalspanningsverdeling in de contactzone is niet constant. In de literatuur wordt algemeen aangenomen dat er een drukberg optreedt*. Het maximum van de drukberg komt overeen met de locatie van het neutrale punt.

Met behulp van de *slab method* kan de vorm van de drukberg bepaald worden. Hierbij wordt de normaalspanningsverdeling $\sigma_n(\alpha)$ bepaald uit het horizontale en verticale krachtenevenwicht van een infinitesimaal klein deformerend stukje materiaal, en een vloeivoorwaarde voor het materiaal. Deze methode is uitgebreid toegelicht in bijlage 7.2.

Integratie van de component van de drukberg in de z-richting over het contactoppervlak levert de walskracht F_w . De walskracht vermenigvuldigd met de afstand tussen het aangrijpingspunt van de walskracht en de hartlijn van de walsrollen levert het benodigde aandrijfkoppel T_w om de gewenste deformatie te realiseren.

* [2] Avitzur, B., 'Handbook of metal-forming processes',
[4] Christensen, P., Everfelt, H., Bay, N., 'Pressuredistribution in plate rolling',
[12] Huisman, R.L., 'Inleiding tot walstechnologie'.

3.4 - De positie van het neutrale punt

De positie van het neutrale punt α_n is een zich vrij instellende grootte, en is afhankelijk van de onafhankelijke procesparameters: *verhouding van ingangsdikte h_0 en uitgangsdikte h_1 , wrijvingsfactoren μ en m , respectievelijk volgens de wet van Coulomb en de wet van constante wrijving (constant friction), verhouding van plaatdikte en walsrolradius, verhouding van opgelegde ingangsspanning in x-richting σ_0 en initiële vloeigrens σ_f , en de verhouding van opgelegde uitgangsspanning in x-richting σ_1 en initiële vloeigrens.*

Het neutrale punt is te bepalen met behulp van een bovengrensanalyse* of de slab method*. De bovengrensanalyse minimaliseert het procesvermogen als functie van α_n . De slab method levert een integraal krachtenevenwicht over de walsspleet, als functie van α_n . In bijlage 7 wordt de berekening van het neutrale punt met behulp van beide methoden toegelicht.

3.5 - Wrijving in de contactzone

De wrijving tussen walsrollen en plaatmateriaal werkt in de twee contactoppervlakken. De grootte en richting van de wrijving hangen direct samen met de normaalspanningsverdeling en de ligging van het neutrale punt. Het neutrale punt is het omslagpunt voor het teken van de wrijving. Vóór het neutrale punt trekt de wrijving de plaat mee de walsspleet in. Voorbij het neutrale punt werkt de wrijving het uittreden van de plaat uit de walsspleet tegen. Voor de beschrijving van de wrijving worden twee modellen gebruikt.

Het model van Coulomb:

$$\tau_f(\alpha) = \mu \sigma_n(\alpha) \quad (3)$$

het constant friction model:

$$\tau_f(\alpha) = \frac{m \sigma_f}{\sqrt{3}} \quad (4)$$

Het Coulomb wrijvingsmodel wordt gebruikt in de slab method. Het constant friction model wordt gebruikt in de bovengrensanalyse.

Avitzur** stelt dat in het contactoppervlak, in de directe omgeving van het neutrale punt, een zone zonder slip tussen walsrollen en plaatmateriaal bestaat. In de analyse van de omstandigheden waaronder slip optreedt tussen walsrollen en plaatmateriaal zal er echter van worden uitgegaan dat alleen in het neutrale punt de snelheden van plaatmateriaal en walsrollen gelijk zijn.

* [11] Hoogenboom, S.M., 'Technische plasticiteitsleer'.

** [2] Avitzur, B., 'handbook of metal-forming processes'.

3.6 - Aannamen ten behoeve van de procesanalyse

De volgende aannamen ten aanzien van het plaatwalsproces worden gedaan:

- 1 Er treedt geen rek op in breedterichting van de plaat, ofwel er is sprake van een vlakspanningstoestand.
- 2 Het materiaal deformeert volledig plastisch.
- 3 In de y-richting zijn de spanningen constant.
- 4 Temperatuursinvloeden worden niet in beschouwing genomen.
- 5 De walsrollen worden verondersteld volledig star te zijn.
- 6 Het plaatmateriaal is homogeen en isotroop.
- 7 Er vindt geen smering van de contactoppervlakken plaats.
- 8 De wrijving in de contactzone is ofwel volledig volgens Coulomb, ofwel volledig volgens de constant friction methode te beschrijven.
- 9 De deformatie van het plaatmateriaal is te beschrijven volgens een rechte rekweg.
- 10 Er is slechts één punt in de contactzone waar walsrolomtrekssnelheden en plaatmateriaalsnelheid aan elkaar gelijk zijn.
- 11 De materiaalsnelheid in de walsspleet in x-richting is voor elke waarde van α onafhankelijk van z .
- 12 Het plaatwalsproces verloopt stationnair.
- 13 De walsspleetgeometrie, spanningen en deformaties zijn symmetrisch ten opzichte van het symmetrievlak $z=0$ van het plaatmateriaal.

3.7 - Interacties tussen de parameters

De interacties tussen de onafhankelijke procesvariabelen zijn verantwoordelijk voor het verloop van het walsproces. Het plaatwalsproces staat op het punt instabiel te worden op het moment dat het neutrale punt in de ingangszone $I-I$ of uitgangszone $U-U$ komt te liggen. De bovengrensanalyse en de slab method leveren beide een vergelijking waarin α_n als onbekende voorkomt, als functie van de onafhankelijke procesvariabelen.

Bovengenoemde methoden zullen in het volgende hoofdstuk nader uitgewerkt worden.

Hoofdstuk 4 - Slip bij plaatwalsen

4.1 - Inleiding

Slip bij plaatwalsen is onder te verdelen in twee soorten, microslip en macroslip. Microslip is een verschijnsel dat inherent is aan het plaatwalsproces, macroslip is een ongewenst verschijnsel.

Het verschijnsel microslip wordt in paragraaf 4.2 behandeld.

Macroslip staat op het punt van optreden op het moment dat het neutrale punt α_n in de intreezone of uitreezone komt te liggen. Het plaatwalsproces staat dan op de rand van instabiliteit. Op het moment dat het neutrale punt buiten de contactzone komt te liggen, is er per definitie over de gehele contactzone een snelheidsverschil tussen walsrollen en plaatmateriaal, en is het proces instabiel geworden.

De positie van de zich vrij instellende grootte α_n is een functie van de in paragraaf 3.4 genoemde onafhankelijke procesvariabelen.

$$\alpha_n = \alpha_n \left(\frac{h_0}{h_1}, m \text{ of } \mu, \frac{h_1}{R}, \frac{\sigma_0}{\sigma_f}, \frac{\sigma_1}{\sigma_f} \right) \quad (5)$$

In het vervolg zal onder *het analyseren van de omstandigheden waaronder macroslip optreedt bij plaatwalsen*, worden verstaan *het analyseren van de omstandigheden waaronder het neutrale punt in de intreezone of de uitreezone komt te liggen*. Dit houdt weer in: *het vaststellen van de kritieke waarden en combinaties van de onafhankelijke procesvariabelen*.

4.2 - Microslip bij plaatwalsen

Microslip is de slip die optreedt om bij stationnair walsen het snelheidsverschil tussen walsrollen en plaat te overbruggen. Er wordt in dit onderzoek van uitgegaan dat slechts in het neutrale punt geen snelheidsverschil tussen walsrollen en plaatmateriaal is.

De zone van achterwaartse slip is de zone tussen de ingangsdorsnede en het vlak van de neutrale dorsnede. De zone van voorwaartse slip is de zone tussen de neutrale dorsnede en de uitgangsdorsnede.

Het snelheidsverschil tussen de walsrollen en de plaat, en de verdeling van $w(\alpha)$, volgt uit de invariantie van de massastroom in x-richting.

$$v_0 h_0 = v_1 h_1 = v(\alpha) h(\alpha) \quad (6)$$

waarbij voor de omtreksnelheid van het materiaal langs de walsrollen $w(\alpha)$ geldt:

$$w(\alpha) = \frac{v(\alpha)}{\cos \alpha} \quad v(\alpha_n) = w(\alpha_n) \cos \alpha_n = \omega R \cos \alpha_n \quad (7)$$

De uitdrukking voor het snelheidsverschil tussen walsrollen en plaatmateriaal in beide slipzones wordt dan:

$$(0 < \alpha < \alpha_n) \quad \dot{u}_t = w(\alpha) - \omega R = \omega R \left(\frac{(h_1 + 2R(1 - \cos \alpha_n)) \cos \alpha_n}{(h_1 + 2R(1 - \cos \alpha)) \cos \alpha} - 1 \right) \quad (8)$$

$$\alpha = \alpha_n \quad \dot{u}_t = 0 \quad (9)$$

$$(\alpha_n < \alpha < \alpha_0) \quad \dot{u}_t = \omega R - w(\alpha) = \omega R \left(1 - \frac{(h_1 + 2R(1 - \cos \alpha_n)) \cos \alpha_n}{(h_1 + 2R(1 - \cos \alpha)) \cos \alpha} \right) \quad (10)$$

met

$$h(\alpha) = h_1 + 2R(1 - \cos \alpha) \quad (11)$$

Deze snelheidsverschillen zijn bepalend voor het wrijvingsvermogen. Om te weten wanneer het neutrale punt in de intreezone of uitreezone komt te liggen, moet bekend zijn hoe de positie van het neutrale punt bepaald kan worden.

4.3 - Plaatsbepaling van de neutrale doorsnede

Twee manieren om de positie van het neutrale punt te bepalen zijn de bovengrensanalyse en de slab method. De bovengrensanalyse gaat uit van het procesvermogen P_m als functie van de walshoek α . Minimalisatie van dit procesvermogen naar α levert het neutrale punt α_n . De slab method levert een krachtenevenwicht over de deformatiezone, met α_n als onbekende. Oplossing van het krachtenevenwicht levert het gezochte neutrale punt α_n .

4.3.1 - Plaatsbepaling van de neutrale doorsnede met het bovengrenstheorema

Het bovengrenstheorema bepaalt het procesvermogen P_m als functie van de walshoek α . Dit vermogen P_m is groter dan of gelijk aan het werkelijk optredende, maar onbekende procesvermogen P .

Het materiaal wordt ingedeeld in gebieden, en per gebied wordt een materiaalsnelheidsmodel aangenomen.

Voor de modellering van het plaatwalsproces wordt de deformatiezone ingedeeld in drie gebieden met bijbehorende snelheidsmodellen.

gebied I: $v = v_0$ het gebied vóór $I-I$, v_0 uniform verdeeld.
 gebied II: $w(\alpha) = v(\alpha)/\cos(\alpha)$ het gebied tussen $I-I$ en $U-U$, $w(\alpha)$ is discontinu in $I-I$.
 gebied III: $v = v_1$ het gebied na $U-U$, v_1 uniform verdeeld.

De intreezone $I-I$ wordt het discontinuïteitsvlak Γ_i genoemd, de uitreezone $U-U$ wordt het discontinuïteitsvlak Γ_u genoemd. In Γ_i treedt een tangentiële snelheidssprong $v_{2II} - v_{2I}$ op. In Γ_u is geen tangentiële snelheidssprong. Voor de normaalsnelheidscomponenten in de discontinuïteitsvlakken geldt: $v_{nII} - v_{nI} = 0$ en $v_{nIII} - v_{nII} = 0$.

Het procesvermogen bij een stationnair proces is uit de volgende termen opgebouwd:

$$P_m = P_{D\Gamma} + P_{Fr} + P_t \quad P_m \geq P \quad (12)$$

P het werkelijke, maar onbekende procesvermogen

P_m het met behulp van het procesmodel berekende totale vermogen

$P_{D\Gamma}$ het inwendig in de gebieden I, II en III, en over Γ_i en Γ_u gedissipeerde vermogen

P_{Fr} het ten gevolge van wrijving tussen werkstuk en gereedschap gedissipeerde vermogen

P_t het vermogen verricht ter plekke van de vlakken waar de spanningen zijn voorgeschreven.

De afzonderlijke termen zijn als volgt te beschrijven (zie bijlage 7 voor een gedetailleerde uitwerking van onderstaande formules):

$$P_{Df} = \sigma_f \int_{S^u} \bar{\epsilon} \dot{\epsilon}_n dS^u \quad (13)$$

$$P_{Df} = \frac{C}{n+1} \int_{S^u} \left((\bar{\epsilon} + \bar{\epsilon}_0)^{n+1} - \bar{\epsilon}_0^{n+1} \right) \dot{\epsilon}_n dS^u \quad (14)$$

voor respectievelijk ideaal plastisch materiaal en exponentieel verstevigend materiaal.

$$P_{Fr} = \frac{m \sigma_f}{\sqrt{3}} \int_{S^{Fr}} |\dot{\epsilon}_t| dS^{Fr} \quad (15)$$

$$P_t = - \int_{S^t} t_i \dot{\epsilon}_i dS^t \quad (16)$$

Het neutrale punt is het punt waarvoor geldt:

$$\frac{dP_m}{d\alpha_n} = 0 \quad (17)$$

Uitwerken van de bovenstaande termen en differentiëren naar α_n levert de volgende vergelijkingen in geval van ideaal plastisch materiaal:

$$\frac{dP_{Df}}{d\alpha_n} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_f b_0 \left(\ln \frac{h_0}{h_1} + \frac{\tan \alpha_0}{2} \right) \omega R \sin \alpha_n (4R \cos \alpha_n - (h_1 + 2R)) \quad (18)$$

$$\frac{dP_t}{d\alpha_n} = (b_0 \sigma_0 \omega R \sin \alpha_n + b_0 \sigma_1 \omega R \sin \alpha_n) (4R \cos \alpha_n - (h_1 + 2R)) \quad (19)$$

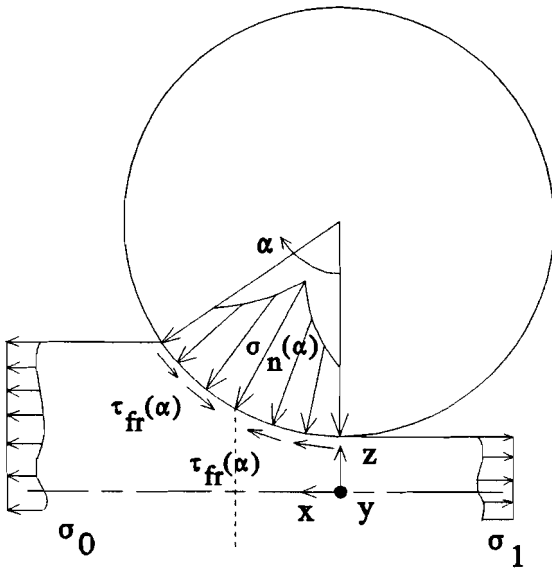
$$\begin{aligned} \frac{dP_{Fr}}{d\alpha_n} = & 2 \frac{m \sigma_f}{\sqrt{3}} b_0 \omega R^2 \left(\frac{\sin \alpha_n (4R \cos \alpha_n - h_1 - 2R)}{\sqrt{h_1} \sqrt{(h_1 + 4R)} (h_1 + 2R)} \quad 8R \arctan \frac{\sqrt{(h_1 + 4R)} \sin \alpha_n}{\sqrt{h_1} (\cos \alpha_n + 1)} \right) \\ & + 2 \frac{m \sigma_f}{\sqrt{3}} b_0 \omega R^2 \left(\frac{\sin \alpha_n (4R \cos \alpha_n - h_1 - 2R)}{\sqrt{h_1} \sqrt{(h_1 + 4R)} (h_1 + 2R)} \left(-4R \arctan \frac{\sqrt{(h_1 + 4R)} \sin \alpha_0}{\sqrt{h_1} (\cos \alpha_0 + 1)} \right) \right) \\ & + 2 \frac{m \sigma_f}{\sqrt{3}} b_0 \omega R^2 \left(\frac{\sin \alpha_n (4R \cos \alpha_n - h_1 - 2R)}{h_1 + 2R} \left(2 \ln \frac{\sin \alpha_n + 1}{\cos \alpha_n} - \ln \frac{\sin \alpha_0 + 1}{\cos \alpha_0} \right) \right) \end{aligned} \quad (20)$$

Het uitwerken en differentiëren is voor exponentieel verstevigend materiaal analoog. Met (18), (19) en (20) is α_n bepaald als functie van de bekende, onafhankelijke procesvariabelen.

4.3.2- Plaatsbepaling van de neutrale doorsnede met de 'slab method'

Het krachtenevenwicht over de deformatiezone in x-richting is volgens figuur 5 als volgt te schrijven.

Figuur 5 - Het krachtenevenwicht



$$b_0 \left(2 \int_{\alpha=0}^{\alpha_n} \tau_{fr}(\alpha) R \cos \alpha d\alpha - 2 \int_{\alpha=\alpha_n}^{\alpha_0} \tau_{fr}(\alpha) R \cos \alpha d\alpha + 2 \int_{\alpha=0}^{\alpha_0} \sigma_n(\alpha) \sin(\alpha) R d\alpha + \sigma_0 h_0 - \sigma_1 h_1 \right) = 0 \quad (21)$$

In (21) stellen de eerste twee termen de bijdragen voor van de wrijvingskrachten in respectievelijk de zone van voorwaartse slip en achterwaartse slip. De derde term brengt de normaalkrachtcomponent in x-richting in rekening. De laatste twee termen zijn de opgelegde spanningen in het intreevlak (ingangstrekk) en het uitreevlak (uitgangstrekk).

Met $\tau_{fr}(\alpha)$ volgens (3) en $\sigma_n(\alpha)$ volgens (22) in het geval van ideaal plastisch materiaal, kan de vergelijking (21) worden uitgewerkt. Voor de afleiding van (22) zie bijlage 7.

$$(0 < \alpha < \alpha_n) \quad \sigma_n(\alpha) = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_f e^{\frac{4\mu R}{h_0+h_1} \alpha} \cos \alpha \quad \text{en} \quad (\alpha_n < \alpha < \alpha_0) \quad \sigma_n(\alpha) = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_f \cos \alpha_0 e^{\frac{-4\mu R}{h_0+h_1} \alpha} \cos \alpha \quad (22)$$

In (22) zijn als randvoorwaarden genomen

$$\sigma_n(\alpha=0) = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_f = \sigma_n(\alpha=\alpha_0) \quad (23)$$

De positie van het neutrale punt wordt gevonden door (24) naar α_n op te lossen.

In (24) is in de derde en vierde term de factor $\sin(\alpha)/\cos(\alpha)$ gelijk gesteld aan $\sin(\alpha)$.

Dit is noodzakelijk om de termen analytisch te kunnen integreren.

Voor voldoende kleine α is dit toegestaan. Uitwerken van (21) geeft tenslotte:

$$\begin{aligned}
& \frac{h_0 + h_1}{\sqrt{3}} \left(e^{\frac{4\mu R}{h_0 + h_1} \alpha_n} - 1 \right) + \frac{(h_0 + h_1) \cos \alpha_0}{\sqrt{3}} \left(1 - e^{\frac{-4\mu R}{h_0 + h_1} (\alpha_n - \alpha_0)} \right) + \frac{\sigma_0 h_0}{\sigma_f} - \frac{\sigma_1 h_1}{\sigma_f} \\
& + \frac{4R}{\sqrt{3}} \frac{h_0 + h_1}{(h_0 + h_1)^2 + (4\mu R)^2} \left(e^{\frac{4\mu R}{h_0 + h_1} \alpha_n} \left(-(h_0 + h_1) \cos \alpha_n + 4\mu R \sin \alpha_n \right) + h_0 + h_1 \right) \\
& + \frac{4R \cos \alpha_0 (h_0 + h_1)}{\sqrt{3} ((h_0 + h_1)^2 + (4\mu R)^2)} \left(-(h_0 + h_1) \cos \alpha_0 + 4\mu R \sin \alpha_0 \right) \\
& + \frac{4R \cos \alpha_0 (h_0 + h_1)}{\sqrt{3} ((h_0 + h_1)^2 + (4\mu R)^2)} \left(e^{\frac{-4\mu R}{h_0 + h_1} (\alpha_n - \alpha_0)} \left((h_0 + h_1) \cos \alpha_n + 4\mu R \sin \alpha_n \right) \right) = 0 \quad (24)
\end{aligned}$$

4.4 - Macroslip bij het inlopen van de plaat in de walspleet

Bij het inlopen van de plaat in de walspleet kan het voorkomen dat de plaat niet meteen wordt meegesleurd. De wrijvingskrachten in de contactvlakken zijn dan niet in staat zijn om de plaat de walspleet in te voeren. De volgende formules, uitgaande van respectievelijk wrijving volgens Coulomb en wrijving volgens constant friction, zijn af te leiden voor de situatie waarin de plaat net niet door de wrijving in de spleet meegetrokken kan worden.
wrijving volgens Coulomb:

$$2F_n \mu \cos \alpha_0 - 2F_n \sin \alpha_0 = 0 \quad (25)$$

wrijving volgens constant friction:

$$\frac{2m \sigma_f A}{\sqrt{3}} \cos \alpha_0 - 2F_n \sin \alpha_0 = 0 \quad (26)$$

A is het contactoppervlak tussen de walsrol en de plaathoek. Uitwerken van (25) en (26) met

$$\alpha_0 = \arccos\left(1 - \frac{\Delta h}{2R}\right) \quad (27)$$

levert als grijpvoorwaarden de volgende maximale ingangsdikten:

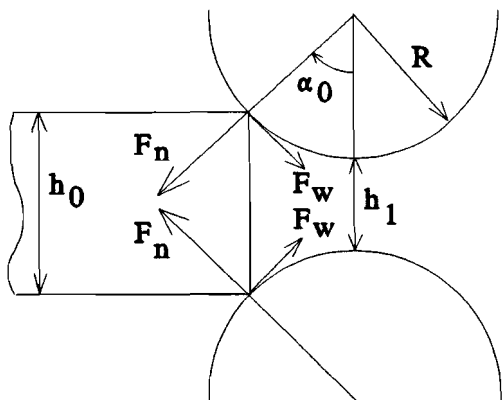
Coulomb:

$$h_0 = h_1 + 2R(1 - \cos \arctan \mu) \quad (28)$$

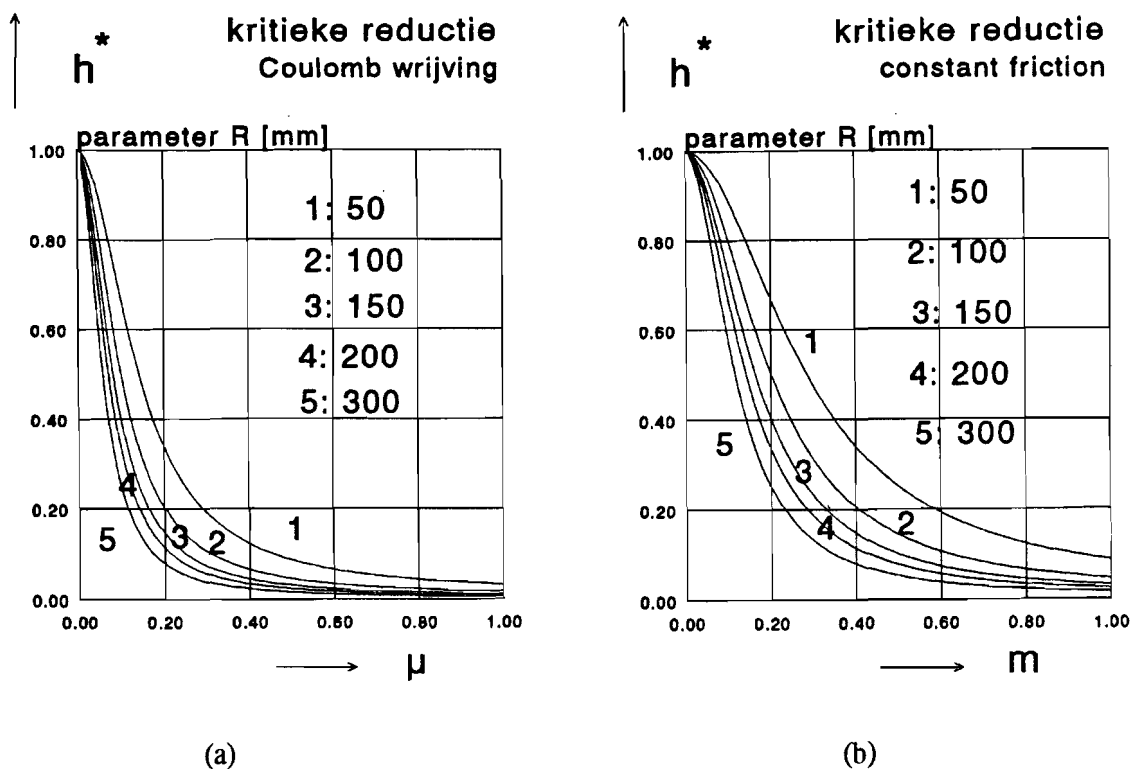
constant friction:

$$h_0 = h_1 + 2R\left(1 - \cos \arctan \frac{m}{2}\right) \quad (29)$$

Figuur 6 - Het krachtenspel bij het inlopen van de plaat



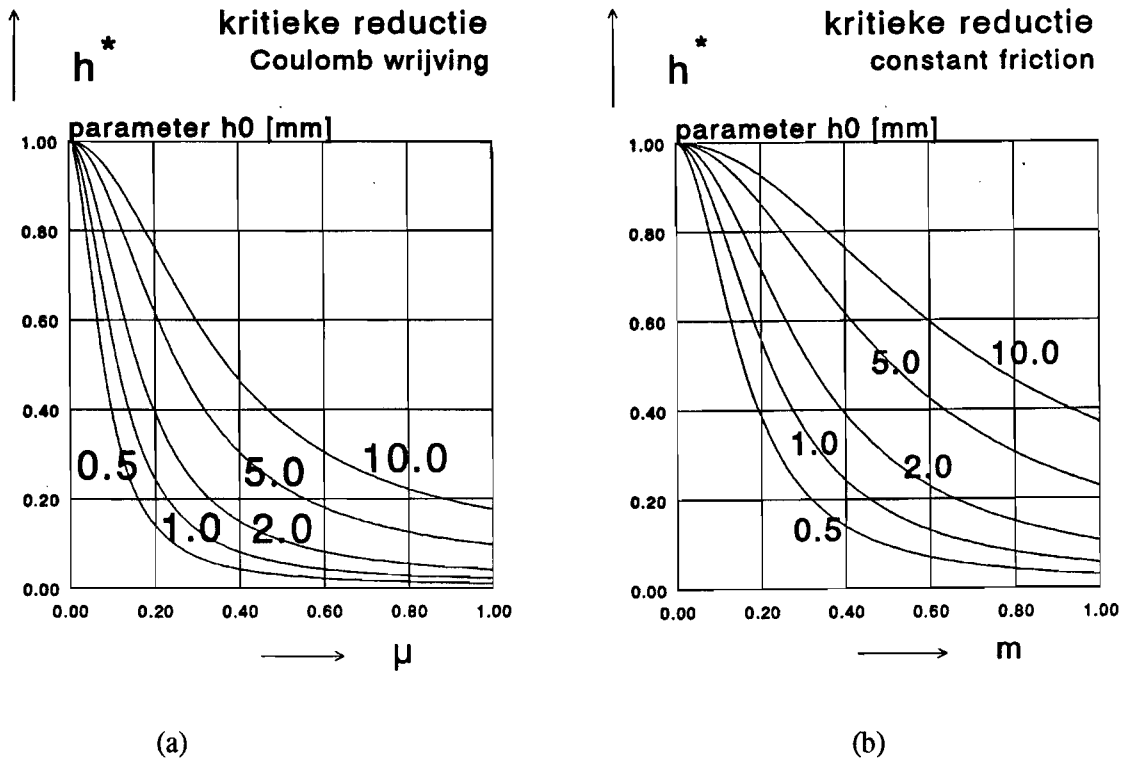
De resultaten van (28) en (29) zijn in de figuren 7 en 8 uitgezet.



Figuur 7 - kritieke reductie bij het inlopen van de plaat in de walspleet, als functie van μ (7a) en m (7b), en R als parameter. $h_0=1.0$ [mm].

De grootheid h^* op de verticale as in de figuren 7 en 8 is als volgt dimensieloos gemaakt:

$$h^* = \frac{h_0}{h_1} \tag{30}$$



Figuur 8 - Kritieke reductie voor het inlopen van de plaat in de walsspleet, als functie van μ (8a) en m (8b), en h_0 als parameter. $R=80.0$ [mm].

4.5 - Macroslip bij stationnair walsen

De situatie waarin het neutrale punt in de intreezone of uitreezone komt te liggen is te berekenen met de bovengrensmethode en de slab method. Door in deze vergelijkingen α_n naar 0 of naar α_0 te laten gaan, worden de kritieke waarden van de onafhankelijke procesvariabelen gevonden.

4.5.1- Begrenzingswaarden van de onafhankelijke procesvariabelen bepaald met het bovengrenstheorema

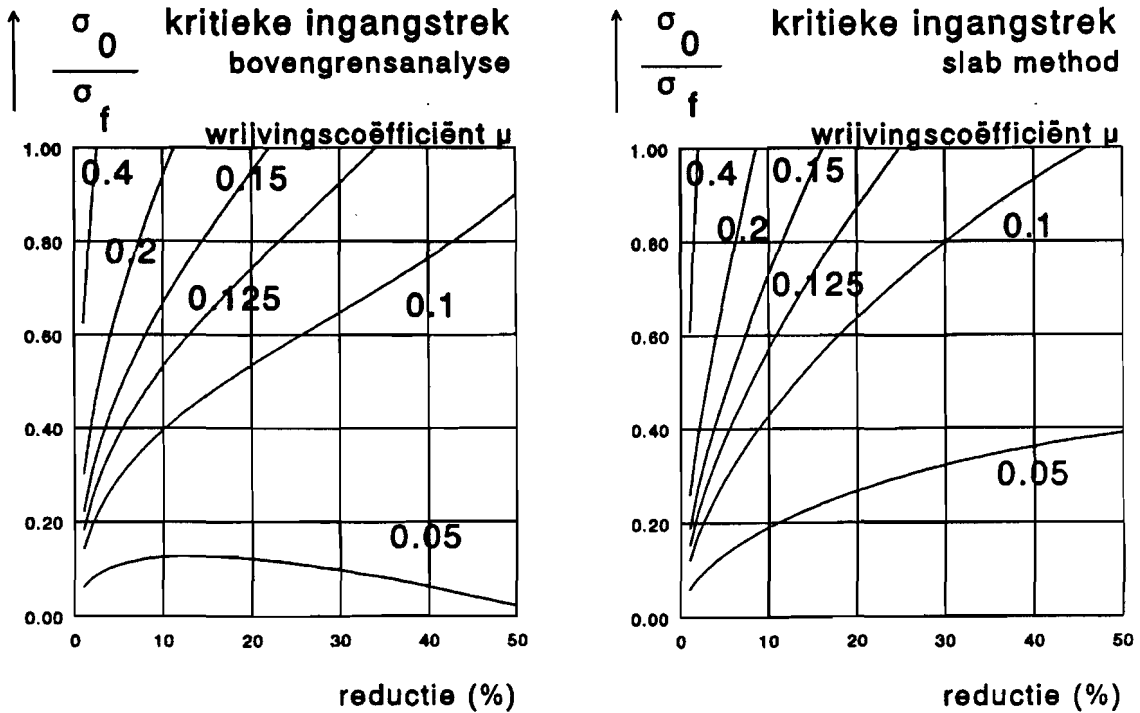
De berekeningen met behulp van het bovengrenstheorema leveren een resultaat, zoals afgebeeld in figuur 9(a). Hierbij is de wrijvingsfactor m verrekend naar de wrijvingscoëfficiënt μ , volgens de volgende formule van Avitzur:

$$m \approx 2\mu \left[1 - \frac{1}{3} \frac{\sigma_1 + 2\sigma_0}{\frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_f} \right] \quad (31)$$

Hierdoor is het mogelijk om de resultaten van de slab method en bovengrensanalyse direct te vergelijken.

4.5.2- Begrenzingswaarden van de onafhankelijke procesvariabelen bepaald met de slab method

De berekeningen met behulp van de slab method leveren grafiek 9(b).



(a)

(b)

*Figuur 9 (a) en (b) - Berekeningen met het bovengrenstheorema 9(a) en de slab method 9(b)
 In de berekeningen zijn de volgende getalwaarden gebruikt:
 $h_0=1.5$ [mm], $R=80$ [mm], $\sigma_f=194$ [N/mm²].*

Op de x-as staat de diktereductie van de plaat in %.
 Op de y-as staat de dimensieloze ingangstrek.

Hoofdstuk 5 - Verificatie van het mathematisch slipmodel

5.1 - Verificatie van het slipmodel

Om de nauwkeurigheid en de trends van de bovengrensanalyse en de slab method te toetsen is op drie manieren een verificatie uitgevoerd. De verificatie betreft het model van Avitzur*, een slipmodel van Hoogovens Research Laboratorium en meetresultaten van een slipproef. Op pagina 26 staan in figuur 9 (a) en (b) respectievelijk de resultaten van de Avitzur's theorie en het Hoogovens slipmodel, voor de kritieke ingangstrek. In figuur 10 op pagina 27 staan de meetresultaten van de slipproef. In alle berekeningen is uitgegaan van de materiaalgegevens van de plaat van 1.5 [mm] dikte uit de slipproef, zie pagina 27.

5.2 - Avitzur's theorie

Avitzur* beschrijft op basis van een bovengrensanalyse de relatie tussen de neutrale hoek α_n en de onafhankelijke procesparameters als volgt:

$$\alpha_n = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{h_1}{R}} \left(\tan^{-1} \sqrt{\frac{h_0}{h_1} - 1} - \frac{1}{m} \sqrt{\frac{h_1}{R}} \left(\ln \frac{h_0}{h_1} + \frac{1}{4} \sqrt{\frac{h_1}{R}} \sqrt{\frac{h_0}{R} - 1} + \frac{(\sigma_0 - \sigma_1)}{\frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_f} \right) \right) \quad (32)$$

5.3 - Hoogovens' slipmodel voor koudwalsen

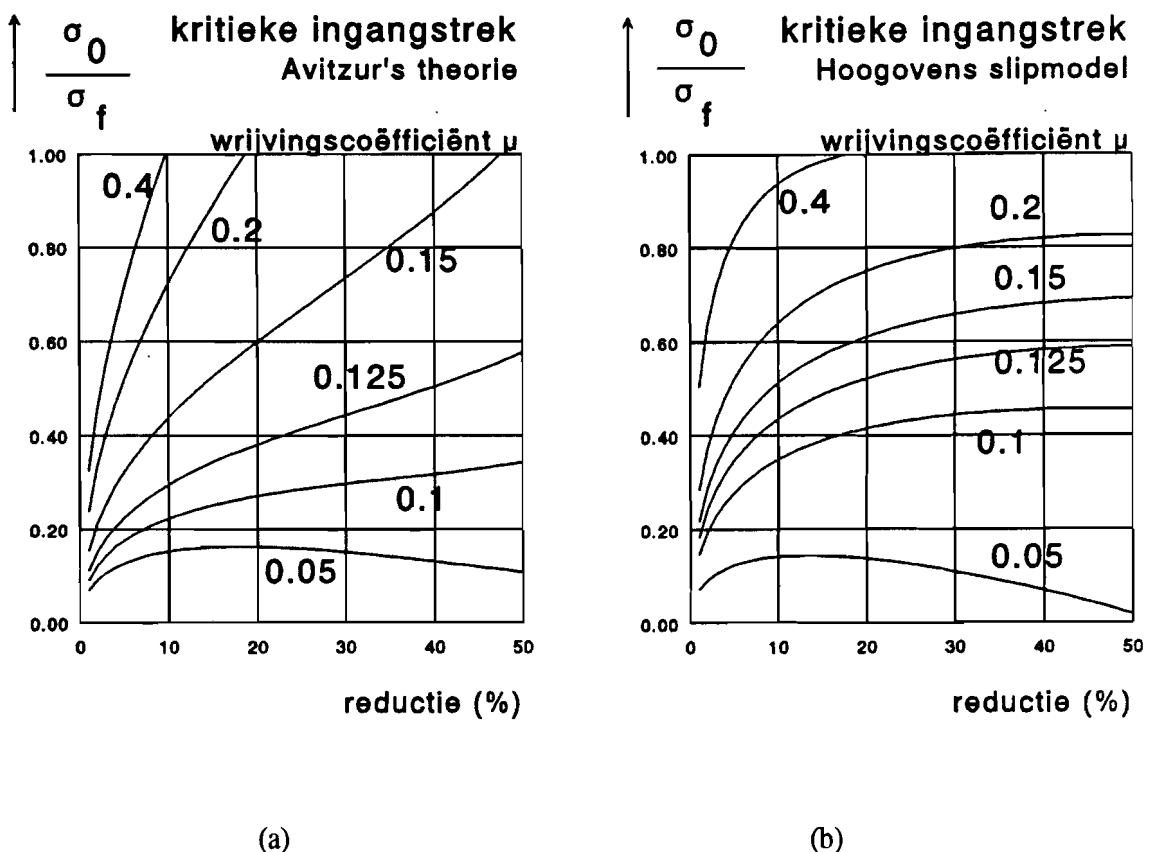
Binnen het Hoogovens Research Laboratorium wordt gebruikt gemaakt van een slipmodel voor het plaatwalsproces**. Dit model geeft berekent onder gegeven walscondities de positie van het neutrale punt. Door $\alpha=0$ of $\alpha=\alpha_0$ te stellen, kan de kritieke ingangstrek worden bepaald.

* [2] Avitzur, B., 'Handbook of metal-forming processes'.

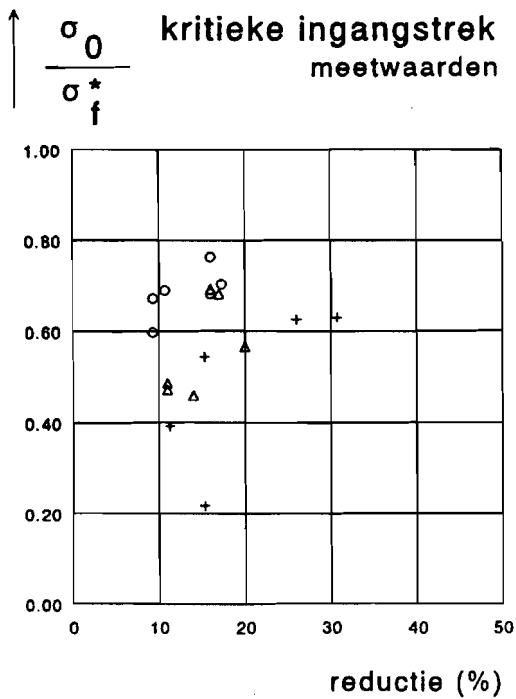
** [7] Galama, M.E., 'Dikteregelingen in het koudwalsproces, ...'

5.4 - Een proefopstelling

Om de theoretische berekeningen te verifiëren is een proefopstelling gebouwd. Deze proefopstelling bestaat uit een kleine walsstand, een drukcilinder met klem en twee tachogeneratoren. Strips koudgewalst staal worden in de klem verankerd. Op het moment dat begonnen wordt met walsen, wordt de strip de walsspleet in getrokken, en begint de cilinder geleidelijk aan een tegenhouddruk op te bouwen, tot het moment dat de plaat en walsrollen beginnen te slippen. Het druksignaal wordt omgerekend naar een kracht. De kritieke ingangstrek is dan te berekenen uit de gemeten kracht op het moment dat de neutrale zone uit de uittreezone schuift, en de plaat over de walsrollen begint te slippen. In bijlage 9 wordt de proefopstelling uitvoeriger beschreven. De metingen zijn uitgevoerd met drie soorten plaat, ieder met een andere dikte en materiaaleigenschappen.



Figuur 9 (a) en (b) - Resultaten van Avitzur's theorie en het Hoogovens slipmodel
 $h_0=1.5$ [mm], $C=541$ [N/mm²], $\sigma_f=194$ [N/mm²], $n=0.198$



Figuur 10 - Meetresultaten van de proefopstelling

De symbolen komen overeen met de volgende materialen:

+ $h_0=1.5$ [mm], $\sigma_f=194$ [N/mm²], $C=541$ [N/mm²], $n=0.198$

△ $h_0=1.0$ [mm], $\sigma_f=165$ [N/mm²], $C=547$ [N/mm²], $n=0.212$

○ $h_0=0.75$ [mm], $\sigma_f=162$ [N/mm²], $C=547$ [N/mm²], $n=0.206$

De slipproef is uitgevoerd onder koudwalscondities. Dit houdt in dat het materiaal is verstevigd gedurende de deformatie. In de berekeningen is uitgegaan van ideaal plastisch materiaal. Om de resultaten te kunnen vergelijken, is de gemeten ingangstrekk dimensieloos gemaakt door te delen door de maximaal bereikte rekgrens, volgens formule (1).

Hoofdstuk 6 - Conclusies en aanbevelingen

Conclusies:

- 1 Het programma Malp verzorgt een snelle en foutloze overdracht van informatie binnen de daarvoor gestelde grenzen.
- 2 De resultaten van de slab method en de bovengrensanalyse komen goed overeen. De resultaten van de slab method en bovengrensanalyse komen tevens redelijk overeen met de theorie van Avitzur en het Hoogovens slipmodel.
- 3 De cruciale factor in het plaatwalsproces is de wrijving. Een betrouwbare schatting maken voor de wrijvingsfactor is van essentieel belang voor alle berekeningen.
- 4 De kritieke ingangstrekk is altijd groter dan de kritieke ingangstrekk. Berekening van de kritieke ingangstrekk voldoet om de begrenzingswaarden van beide onafhankelijke procesparameters vast te stellen.
- 5 Berekening van de kritieke procesparameters in het geval van ideaal plastisch materiaal geeft een onderschatting van de waarde van die parameters in het geval van exponentieel verstevigend materiaal.

Aanbevelingen:

- 1 Verder onderzoek dient gedaan te worden om de kritieke waarden van de overige onafhankelijke procesparameters h_0/h_1 en h_1/R vast te stellen.
- 2 Tevens dient verder onderzoek gedaan te worden om een regelmodel op te zetten voor het sturen van de procesparameters. Met de door dit onderzoek verkregen relaties tussen de neutrale hoek α_n en de onafhankelijke procesparameters kunnen begrenzingswaarden voor enkele van deze onafhankelijke procesparameters worden vastgelegd.
- 3 Beschikbare gegevens van het koudwalsproces en het warmwalsproces dienen gebruikt te worden om correctiefactoren te genereren. Deze correctiefactoren kunnen gebruikt worden om voor de diverse materiaalsoorten en procesomstandigheden een aanpassing van het algemene model aan de specifieke processituatie te verkrijgen.

Literatuur

- [1] 'ANSYS command reference guide'.
- [2] Avitzur, B.,
'Handbook of metal-forming processes'.
John Wiley & Sons, Inc., New York, 1983.
ISBN 0-471-03474-6.
- [3] Balen, B.J. van,
'Handleiding ANSYS 4.4'.
Hogeschool Alkmaar, afdeling Werktuigbouwkunde, 1990.
- [4] Christensen, P., Everfelt, H., Bay, N.,
'Pressure distribution in plate rolling'.
Annals of the CIRP Vol. 35/1/1986. Pagina 141 t/m 146.
- [5] Coan, J.S.,
'Basic FORTRAN'.
Hayden Book Company, Inc., Rochelle Park, New Jersey, 1980.
- [6] Diverse auteurs
'The science and technology of flat rolling'.
4th International steel rolling conference, vol.1.
ATS IRSID, Deauville France, 1-3 juni 1987.
- [7] Galama, M.E.,
'Diktereregelingen in het koudwalsproces, met mogelijkheden en beperkingen bij koudwals 12'.
Intern rapport Hoogovens Groep B.V., afdeling RL-WPM-DEF, januari 1991.
- [8] Ginzburg, V.B.,
'Steel-rolling technology, theory and practice'.
Marcel Dekker, Inc., New York, 1989.
- [9] Govers, J.,
'Modelvorming en massastroomregeling van de eindwalsgroep'.
Hoogovens IJmuiden, afdeling RL-MIR-BOA, april 1991.
Lab. archief nr. 71001.
- [10] Hoerster, C.,
'Bedeutung der reibung für die breitung beim warmwalzen von stahl'.
Umformtechnische schriften band 24.
1990 Verlag Stahleisen mbH, Düsseldorf.
A. Mainz, Aachen, Germany, 1990.

- [11] Hoogenboom, S.,
'*Technische plasticiteitsleer*'.
Collegedictaat behorende bij het vak Technologie van de plastische processen.
Technische universiteit Eindhoven, 1987. Dictaatnummer 4406.
- [12] Huisman, R.,
'*Inleiding tot walstechnologie*'.
Hoogovens IJmuiden, research en bedrijfslaboratoria, afd. walserijprocessen en
metaalkunde, PRW, 1992.
- [13] Hume, J.N.P., Holt, R.C.,
'*Cursus FORTRAN 77*'.
Academic service, Den Haag, 1984. 2^e verbeterde druk.
Vertaling van: '*Programming FORTRAN 77: a structured approach*'.
Reston: Reston, 1979. ISBN 90-6233-116-5.
- [14] Jarl, M.,
'*Friction and forward slip in hot rolling*'.
In: Scandinavian Journal of Metallurgy, nr. 17, 1988.
Pagina 2 t/m 7.
- [15] Jong, A.W.M. de,
'*FORTRAN 77*'.
Technische Universiteit Eindhoven, Rekencentrum.
RC-informatie AG-117. TUE-RC 76481.
- [16] Kaas, E.A., Stakenborg, M.J.L.,
'*CAD/CAM/CAE in de werktuigbouw*'.
Kluwer Deventer, 1990. Eerste druk.
- [17] Knapp, J.,
'*CADAM installed user program, introduction*'.
IBM Corporation, Engineering Support Center.
Los Angeles, California 90010, september 1981.
- [18] '*Micro CADAM basic self study course*'. Second edition.
CADAM Inc., Burbank, California 91504, maart 1987.
- [19] '*Micro CADAM Geometry Interface Module (GIM) user guide*'.
Release 1.3. CADAM Inc., Burbank, California 91504, mei 1988.
- [20] '*Micro CADAM system user guide*'.
CADAM Inc., Burbank, California 91504, maart 1989.
- [21] '*Microsoft FORTRAN - Environment and Tools*'. Version 5.1.
Microsoft Corporation, Redmond, WA 98073-9717, USA, 1991.
- [22] '*Microsoft FORTRAN - Reference*'. Version 5.1.
Microsoft Corporation, Redmond, WA 98073-9717, USA, 1991.

- [23] Ramaekers, J.A.H., Kals, J.A.G.,
'*Mathematical representation of friction in metal forming analysis*'.
In: *Annals of the CIRP*, Vol. 35/1/1986. Pagina 137 t/m 140.
- [24] Ramaekers, J.A.H., Houtackers, L.J.A., Peeters, P.B.G.,
'*Plastisch bewerken van metalen*'.
OMTEC, Mierlo, 1976. ISBN 90-6808-007-5
- [25] Reimer, C., Huisman, R.L.,
'*Geometrical effects of large reductions in the first stands of the finishing mill*'.
Interne notitie Hoogovens Groep B.V., IJmuiden, afdeling RL-WPM-PRW, 1992.
- [26] Sas, P., Heylen, W.,
'*Modale Analyse testmethodes*'.
Uit: 'De constructeur', nr.10, oktober 1991.
Pagina 62 t/m 70.
- [27] Siebel, E.,
'*Kräfte und Materialfluß bei der bildsamen Formänderung*'.
In: *Stahl und Eisen*, 45^e jaargang 1925, september, nr.37.
Pagina 1563 t/m 1566.
- [28] Spur, G., Stöferle, T.,
'*Handbuch der fertigungstechnik. Band 2/1 Umformen*'.
Carl Hanser Verlag München Wien, 1983. Printed in Germany.
ISBN 3-446-12533-7.
- [29] Tarnovskii, I.Ya., Pozdeyev, A.A., Lyashkov, V.B.,
'*Deformation of metals during rolling*'.
Pergamon Press Ltd., Oxford, 1965. First edition.
- [30] Vegter, H.,
'*On the plastic behaviour of steel during sheet forming*'.
Hoogovens Groep B.V., afdeling R&D, 1991. ISBN 90-9004373-X.
Proefschrift ter verkrijging van de graad van doctor aan de Universiteit
Twente.
- [31] Verbruggen, J.A.,
'*NASTRAN wegwijzer versie 63*'.
Hoogovens IJmuiden, afdeling Nieuwbouw, comité TWR, januari 1984.
- [32] Zuijdgeest, B., Vermeer, H.,
'*Functionaliteitgericht werkstationpakket*'.
In: 'CA-Techiek', 9^e jaargang 1991, juni, nr.6.
Pagina 23 t/m 27.
- [33] Zuijdgeest, B.,
'*Micro CADAM plus*'.
In: 'CA-Techniek', 8^e jaargang 1990, mei, nr.5.
Pagina 30 t/m 34.

Glossarium

Achterwaartse slip

Snelheidsverschil tussen walsrollen en plaatmateriaal in het gebied tussen de ingangszone en het neutrale vlak.

Automatic Gauge Control (AGC)

Regeling die er voor zorgt dat in een walsstand de ingestelde walsspleethoogte zo goed mogelijk gehandhaafd wordt.

Analyse-element

Kleinste onderdeel van een constructie dat belastingen en/of verplaatsingen krijgt opgelegd.

Ansys.dat

Uitvoerdatafile van het programma malp.exe, waarin alle voor ANSYS relevante informatie is opgeslagen.

Area

Een aaneengesloten deel van een constructie.

Bovengrensanalyse

Analyse op basis van het bovengrenstheorema.

Bovengrenstheorema

Analysestrategie op basis van vermogens, waarbij gesteld wordt dat de met behulp van de modellen berekende vermogens altijd groter zijn dan het werkelijke, maar onbekende vermogen.

CAD

Staat voor Computer Aided Design, ofwel ontwerpen met behulp van de computer.

Cdtout.dat

Uitvoerdatafile van het programma malp.exe, waarin alle informatie uit een micro CADAM tekening is opgeslagen.

Contactzone

Het gebied waar walsrollen en plaatmateriaal in contact zijn.

EEM

Staat voor Eindige Elementen Methode. Dit is een methode waarmee constructies onder belasting en/of vervorming geanalyseerd kunnen worden.

GIM

Geometry Interface Module. Optionele module van micro CADAM plus, die gebruikt kan worden om informatie over tekeningfiles op te vragen en bewerken.

Glossarium

Lijst van glossen, ook wel verklarende woordenlijst genoemd.

Ingangdoorsnede

De plaatdoorsnede waar de deformatie van het plaatmateriaal begint.

Ingangstrek

Opgelegde spanning in het plaatmateriaal vóór de ingangszone.

Looper

Pneumatische arm die lengtevariaties van plaatmateriaal tussen twee walsstands moet opvangen, opdat de spanning in de plaat gelijk blijft.

LooperLess Control (LLC)

Regeling van de massastroomvariaties in de eindwalsgroep zonder gebruik te maken van loopers.

Malp.exe

Koppelingsprogramma voor micro CADAM plus en ANSYS.

Macroslip

Slip tussen walsrollen en plaatmateriaal, waarbij er geen enkel punt in het contactvlak is, waar walsrollen en plaatmateriaal dezelfde snelheid hebben.

Microslip

Slip tussen walsrollen en plaatmateriaal, waarbij er één punt in het contactvlak is, waar de walsrollen en plaatmateriaal dezelfde snelheid hebben.

Mini Looper Control (MLC)

Regeling van de massastroomvariaties in de eindwalsgroep met behulp van kleine loopers.

Neutraal punt

Het punt in de contactzone waar walsrollen en plaatmateriaal dezelfde snelheid hebben.

Rechte rekweg

Manier van deformeren van materiaal waarbij alleen rek in de richting van de hoofdasen plaatsvindt.

Reductie

Percentage waarmee de ingangsdikte van de plaat bij het walsen afneemt.

Slab method

Methode om met krachtenevenwichten spanningen en rekken te bepalen.

Slip.exe

Programma voor de berekening van de condities waaronder slip plaatsvindt tussen walsrollen en plaatmateriaal.

Spline

Vloeiende kromme door meerdere punten.

Tekeningelement

Bouwsteen van een tekening. Tekeningelementen zijn punten, lijnen, cirkels, cirkelbogen, splines, lineaire splines en ellipsen.

Uitgangsdoorsnede

De plaatdoorsnede waar de deformatie van de plaat eindigt.

Uitgangstrek

Opgelegde spanning in het plaatmateriaal na de uitgangzone.

Virtueel neutraal punt

Het virtuele punt buiten de contactzone waar de snelheden van walsrollen en de band gelijk zijn.

Voorwaartse slip

Snelheidsverschil tussen walsrollen en plaatmateriaal in het gebied tussen de neutrale doorsnede en de uitgangzone.

Walspleet

Kleinste opening tussen de twee walsrollen van een walsstand.

Walsstand

Frame met twee aangedreven walsrollen.

*CAD-EEM koppeling, Slipcondities
van het plaatwalsproces;
Bijdragen tot looperless control*

*T.B. Heintjes
WPA rapportnr. 1325
Hoogovens rapportnr.*

Bijlagen

Bijlagen, behorend bij het afstudeerverslag

Technische Universiteit Eindhoven,

Faculteit der Werktuigbouwkunde,

Vakgroep Werktuigbouwkundige Produktietechnologie en -Automatisering,

Sectie Bewerkingseigenschappen en materialen.

Afstudeerhoogleraar: Prof.Ir. J.A.G. Kals

Begeleiders: Dr.Ir. J.H. Dautzenberg

Prof.Dr.Ir.A.C.H. van der Wolf

In opdracht van:

Hoogovens IJmuiden, afdeling RL-MIR-BOA, Centraal Laboratorium 2.

Begeleider: Ing. J. Vermeij

Haarlem, juni 1992.

Symbolenlijst

<i>symbol</i>	<i>omschrijving</i>	<i>dimensie</i>
x, y, z	coördinaten	L
$\sigma, \sigma_m, \sigma_{mc}, \sigma_{ml}$	spanning	$ML^{-1}T^{-2}$
σ_n	normaalspanning	$ML^{-1}T^{-2}$
C	specifieke spanning	$ML^{-1}T^{-2}$
ϵ	rek	-
ϵ_e	elastische rek	-
ϵ_p	plastische rek	-
ϵ_0	voordeformatie	-
n	verstevigingsexponent	-
τ	schuifspanning	$ML^{-1}T^{-2}$
$\mu_0, \mu_1, \mu(\alpha)$	wrijvingscoëfficiënt	-
τ_{fr}	wrijvingsspanning	$ML^{-1}T^{-2}$
σ_f	initiële vloeispanning	$ML^{-1}T^{-2}$
$h_0, h_1, h(\alpha)$	plaathoogte	L
Δh	totale hoogteverandering	L
$b_0, b_1, b(\alpha)$	plaatbreedte	L
α	walshoek	rad
α_0	contacthoek	rad
I-I, U-U	doorsnede	-
R	walsrolradius	L
c	contactlengte	L
l	geprojecteerde contactlengte	L
A_d	contactoppervlak	L^2
$v_0, v_1, v(\alpha), w(\alpha)$	plaatsnelheid	LT^{-1}
v_w	walsrolomtreksnelheid	LT^{-1}
u_t	tangentiële verplaatsing	L
u_n	normale verplaatsing	L

<i>symbool</i>	<i>omschrijving</i>	<i>dimensie</i>
ω	hoekfrequentie	radT^{-1}
F_{wr}	wrijvingskracht	MLT^{-2}
F_n	normaalkrachtcomponent	MLT^{-2}
$F_{wr,x}$	wrijvingskrachtcomponent in x-richting	MLT^{-2}
$F_{n,x}$	normaalkrachtcomponent in x-richting	MLT^{-2}
F	kracht	MLT^{-2}
T	temperatuur	K
t	tijd	T

Inhoudsopgave

Symbolenlijst	1
Bijlagen	5
<i>Bijlagen, behorend bij de koppeling micro CADAM plus - ANSYS</i>	5
1 GEOMETRIEBESCHRIJVING IN ANSYS	6
1.1 Punten	6
1.2 Lijnen	6
1.3 Cirkels	6
1.4 Cirkelbogen	7
1.5 Splines	7
1.6 Lineaire splines	7
1.7 Ellipsen	7
2 DE MICRO CADAM GIM MODULE	9
3 HET PROGRAMMA MALP	10
4 KOPPELINGSSOFTWARE VOOR MICRO CADAM PLUS EN ANSYS	14
5 VOORBEELD VAN CONVERSIE VAN EEN TEKENING	31
<i>Bijlagen, behorend bij de analyse van de slipcondities van het plaatwalsproces</i>	35
6 DE PARAMETERS VAN HET PLAATWALSPROCES	36
6.1 De geometrische grootheden en hun symbolen	37
6.2 De kinematische grootheden en hun symbolen	38
6.3 De dynamische grootheden en hun symbolen	38
6.4 De materiaalafhankelijke grootheden en hun symbolen	39
7 MODELLEN VOOR DE RELATIES TUSSEN DE PARAMETERS	40
7.1 Het lineaire normaalspanningsmodel	40
7.2 Het exponentiële normaalspanningsmodel	40
7.3 Het model van Coulomb	43
7.4 Het model van von Mises	43
7.5 Het model van ideaal plastisch materiaalgedrag	44
7.6 Het model van exponentieel verstevigend materiaal	44

8	UITWERKINGEN VAN DE VERGELIJKINGEN	45
8.1	Oplossing van het krachterevenwicht met de exponentiële drukberg	45
8.1.1	Kritieke ingangstrek met constante Coulomb-wrijving	45
8.1.2	Kritieke reductie met constante Coulomb-wrijving	45
8.2	Oplossing van het krachterevenwicht met de lineaire drukberg	46
8.2.1	Kritieke ingangstrek met lineaire Coulomb-wrijving	46
8.2.2	Kritieke ingangstrek met lineaire von Mises-wrijving	46
8.2.3	Kritieke reductie met lineaire Coulomb-wrijving	47
8.2.4	Kritieke reductie met lineaire von Mises-wrijving	48
9	BEREKENINGSRESULTATEN VAN HET PROGRAMMA SLIP	49
10	HET PROGRAMMA SLIP	52
11	DE PROEFOPSTELLING	62
12	TESTRESULTATEN	65
12.1	Eigenschappen van de gebruikte materialen	65
12.2	Recordersignalen	66
12.3	Resultaten van alle proeven	67

*Bijlagen, behorend bij de koppeling micro CADAM plus -
ANSYS*

Bijlage 1 - Geometriebeschrijving in ANSYS

ANSYS kent vijf soorten elementen om geometrie te definiëren. Elke elementsoort heeft zijn eigen beschrijvingswijze.

Punten

Punten worden in ANSYS 'keypoints' genoemd. Keypoints worden gedefinieerd door een uniek nummer α en de x,y en z coördinaat. Het nummer is noodzakelijk om aan het punt te kunnen refereren zonder de coördinaten te hoeven opgeven. Twee punten met verschillende nummers kunnen dezelfde coördinaten hebben. Twee punten met verschillende coördinaten kunnen nooit hetzelfde nummer hebben. De beschrijvingswijze is als volgt:

K , α , x , y , z

waarbij x, y en z staan voor de x-, y- en z-coördinaten van het punt.
 α Is een willekeurig nummer.

Lijnen

Lijnen worden beschreven door een beginpunt α en een eindpunt β . Deze twee punten moeten vóór het definiëren van de lijn al gedefinieerd zijn als keypoint. Dit geldt voor alle elementen waarbij voor de definitie keypoints gebruikt worden. De beschrijvingswijze is als volgt:

L , α , β

Waarbij α en β willekeurige, niet gelijke nummers zijn.

Cirkels

Cirkels worden beschreven door hun middelpunt α en straal R. De beschrijvingswijze is als volgt:

CIRCLE , α , R

Hierbij is α weer een willekeurig getal.

Bijlage 1 - Geometriebeschrijving in ANSYS

Cirkelbogen

Cirkelbogen worden gedefinieerd door een beginpunt, een eindpunt, een middelpunt en een straal R . De beschrijvingswijze is als volgt:

LARC , α , β , τ , R

Hierbij zijn α en β willekeurige getallen die de keypointnummers van respectievelijk het beginpunt en eindpunt aanduiden. Het keypoint met nummer τ is het cirkelmiddelpunt.

Splines

Splines zijn vloeiende krommen door een aantal punten. In ANSYS mogen maximaal zes punten voor een spline worden gebruikt. Als een spline met meer punten gewenst is, dan moeten meerdere kleine, aaneengesloten, splines achter elkaar gedefinieerd worden. Hierbij moet er voor gezorgd worden dat de raakvectoren in de raakpunten van twee deelsplines aan elkaar gelijk zijn. De beschrijvingswijze is als volgt:

SPLINE , α_1 , α_2 , α_3 , α_4 , α_5 , α_6 , $XV1$, $YV1$, $ZV1$, $XV2$, $YV2$, $ZV2$

Hierbij zijn de getallen $XV1$, $YV1$ en $ZV1$ respectievelijk de x-, y- en z-component van de raakvector in het beginpunt van de spline. De getallen $XV2$, $YV2$ en $ZV2$ zijn de componenten van de raakvector in het eindpunt van de spline.

De boven beschreven vijf elementsoorten zijn ook in micro CADAM plus te definiëren. Bovendien maakt micro CADAM plus gebruik van lineaire splines en ellipsen. Om elke elementsoort uit micro CADAM plus zonder problemen om te kunnen zetten naar ANSYS, moeten lineaire splines en ellipsen anders gedefinieerd worden.

Lineaire splines

Lineaire splines zijn splines waarbij tussen twee punten lineair wordt geïnterpoleerd. De lineaire spline is dus een verzameling aaneengesloten lijnstukken. Daarom wordt een lineaire spline naar ANSYS weggeschreven in de vorm van een serie lijnstukken.

ellipsen

ANSYS kent geen ellipsen. Om dit probleem te omzeilen wordt de ellips gedefinieerd als een spline door vijf punten. Deze punten zijn de vier eindpunten van de ellipsassen. Het beginpunt van de vier wordt opnieuw als eindpunt gedefinieerd. Hierdoor wordt een gesloten spline verkregen. Door ook hier de raakvectoren in het beginpunt

Bijlage 1 - Geometriebeschrijving in ANSYS

en eindpunt aan elkaar gelijk te stellen, wordt een zeer goede benadering van een ellips verkregen.

Bijlage 2 - De micro CADAM GIM module

De GIM module is een optionele module van micro CADAM plus. De GIM is noodzakelijk bij het lezen en verwerken van tekeninginformatie. De GIM bestaat uit drie delen:

CADCD

CADCD is een bibliotheek van subroutines. Om CADCD te kunnen gebruiken moet de gebruiker zelf een of meerdere programma's schrijven. De programma's bevatten instructies voor de subroutines. De subroutines zijn in staat om een groot aantal verschillende elementen te genereren.

CADET

CADET is eveneens een bibliotheek van subroutines. De routines zijn in staat om informatie uit een bestaande tekening te halen. De gebruiker moet hiervoor eerst zelf een hoofdroutine schrijven die dit proces van informatie ophalen regelt. De hoofdroutine wordt aangevuld met een aantal subroutines. De subroutines beschrijven welke informatie opgehaald moet worden.

Een andere toepassing van CADET is dat het de tekeninginformatie kan overbrengen naar andere CAD systemen.

SCLIB

SCLIB is een tekeningenbeheerprogramma. Ook dit programma bestaat uit een bibliotheek van kleine routines. De routines regelen het opslaan, oproepen en verwerken van tekeningen.

Om de data van bestaande tekeningen te kunnen verwerken is de CADET bibliotheek nodig. De software van de GIM module bevat twee files etmain.for en reslve.for, die respectievelijk als hoofdprogramma en subroutines gebruikt kunnen worden. Deze twee files regelen alle informatie-uitwisseling met de GIM module. De GIM routine regelt op zijn beurt weer het contact met de micro CADAM omgeving en de tekeningfile.

Verder zijn nog twee routines van CADCD nodig. Deze twee zorgen er voor dat de tekening opgeroepen kan worden.

Om tot een aanpassing van de manier van wegschrijven van informatie te komen, die geschikt is voor ANSYS, is het noodzakelijk om de files etmain.for en reslve.for aan te passen.

Bijlage 3 - Het programma MALP

Malp is een programma waarmee CAD informatie van constructies kan worden bewerkt tot voor ANSYS bruikbare geometrieën.

Elementen van een tekening worden met hun coördinaten beschreven.

Punten die relevant zijn om de constructie, of om andere elementen te beschrijven, worden gerangschikt.

Lijnstukken, lijnstukken van lineaire splines, en cirkelbogen worden gerangschikt naar coördinaten van begin- en eindpunt. Dit heeft als doel de definitie van 'areas' in ANSYS te vergemakkelijken.

Het programma malp.exe kan alleen gebruikt worden op een pc of workstation dat zowel MS DOS, micro CADAM plus en micro CADAM GIM bevat. De GIM module moet, evenals de micro CADAM files, in de subdirectory \MCADAM staan. Het opstarten van MALP gebeurt, in de directory \MCADAM, met het commando:

GIM MALP.exe.

De hieronder geschreven tekst verschijnt op het beeldscherm.

MALP

Dit programma is eigendom van:

HOOGOVS IJMUIDEN afdeling RL-MIR-BOA

MALP - Micro CADAM ANSYS Link Program.

Dit programma is een link tussen MCADAM plus en ANSYS.

Het programma leest informatie uit een MCADAM tekening en genereert een ANSYS inputfile.

Lees de bijbehorende handleiding voor u verder gaat.

GEEF USER CODE (4 CHAR.)

GEEF TEKENINGNAAM (20 CHAR.)

....|....|....|....|

De gevraagde usercode is een username die ook gebruikt wordt in micro CADAM van hetzelfde systeem. Daarna wordt de naam van de te analyseren tekening gevraagd. Deze tekeningnaam is de naam waaronder de tekening is weggeschreven in micro CADAM. De naam is maximaal 20 karakters lang.

Als default is aangenomen dat de tekeningen in de group 'RLW' zijn weggeschreven. Tevens geldt als default dat de harde schijf waar bovengenoemde programma's op staan, schijf 'E' is.

Na het ingeven van de tekeningnaam worden automatisch de files cdtout.dat en ansys.dat gegenereerd. Ze worden weggeschreven in de directory \MCADAM.

Bijlage 3- Het programma MALP

De files bevatten alleen ASCII tekens.

Bij het opnieuw aanroepen van malp.exe en het opnieuw analyseren van een tekening worden de files cdtout.dat en ansys.dat overschreven. Het is dus zaak ze na de analyse, indien men ze wil bewaren, te kopiëren of een andere naam te geven.

De basis voor het programma malp.exe zijn twee GIM files, etmain.for en reslve.for. Deze files zijn standaard in de GIM ondergebracht. Etmain.for is een file die als hoofdprogramma dient. Reslve.for bevat een groot aantal subroutines.

Elke subroutine roept een specifiek onderdeel van de tekening aan. Het hoofdprogramma zorgt ervoor dat alle tekeningelementen één voor één worden aangeroepen. De routine CADET zorgt hiervoor.

Voor het gemak worden van elke tekening twee files gemaakt. De eerste is een waarin alle informatie over alle elementen in de meest volledige vorm is opgenomen. Deze file heet cdtout.dat. Het is slechts een documentatiefile.

De tweede is een file waarin de noodzakelijke informatie van de nuttige elementen in een voor ANSYS leesbare vorm wordt weergegeven. De file heet ansys.dat, en wordt later als inputfile voor ANSYS gebruikt.

Hieronder wordt beschreven hoe de voor ANSYS noodzakelijke informatie in de documentatiefile cdtout.dat komt te staan.

Punten De informatie over losse punten wordt gegenereerd door de subroutine *CDTPT*. Elke keer dat een punt wordt geanalyseerd, wordt deze subroutine aangeroepen. In de file cdtout.dat wordt het nummer van het punt geschreven, gevolgd door de drie coördinaten. De naam van het punt is C.

Lijnen De subroutine *CDTLN* analyseert lijnstukken. Lijnstukken worden weggeschreven met een nummer, hun beginpunt C, eindpunt D en lijntypenummer (LT). Van begin- en eindpunt worden de alleen de coördinaten gegeven.

Cirkels Cirkels worden aangeroepen door de subroutine *CDTCIR*. In cdtout.dat komen ze te staan met nummer, coördinaten van het middelpunt C, hun radius en het nummer dat het lijntype aangeeft.

Cirkelbogen Dit zijn delen van een cirkel. *CDTARC* roept ze aan en schrijft hun nummer, coördinaten van middelpunt C, beginpunt D en eindpunt E, en het lijntype naar cdtout.dat. Het beginpunt is altijd het punt dat het eerst door de tekenaar is gedefinieerd.

Ellipsen Ellipsen worden niet onderverdeeld in hele en gedeeltelijke ellipsen. In cdtout.dat komen altijd het nummer, de coördinaten van middelpunt C, beginpunt D en eindpunt E, de lengte van de lange as (AMAJ), de lengte van de korte as (AMIN), de hoek tussen de x-as en de lange as

Bijlage 3- Het programma MALP

(A), en het lijntypenummer. Als de ellips gesloten is, zijn D en E aan elkaar gelijk. *CDTEPS* is de subroutine voor de ellipsen.

Splines Aan het aantal punten van de spline is geen maximum verbonden. De subroutine *CDTSPL* schrijft, na het nummer van de spline en enige begeleidende informatie, de punten van de spline onder elkaar, met de bijbehorende coördinaten. Daarna volgen de hellingshoekvectoren bij elk punt, en de lengte van het splinedeel tussen twee punten in.

Lineaire splines Ook aan het aantal punten van de lineaire spline is geen maximum gebonden. *CDTMPL* schrijft het nummer van de spline, het aantal punten en de coördinaten van de punten, en het lijntype.

De informatie van bovenstaande 7 soorten elementen wordt, samen met de informatie van de overige, niet relevante tekeningelementen, opgeslagen in de file *cdtout.dat*. Tegelijkertijd worden bovenstaande elementen opgeslagen in de file *ansys.dat*. Dit gebeurt echter in een andere vorm. Dit is beschreven in bijlage 1, *Geometriebeschrijving in ANSYS*.

In de file *ansys.dat* worden coördinaten en nummers van punten, lijnen, cirkels, cirkelbogen, ellipsen, splines en lineaire splines weggeschreven. Daarnaast staat er */PREP7*, */TITLE*, *NUMMRG*, *ALL*, en *SAVE*.

/PREP7

roept de General Analysis Data generator aan.

/TITLE

zorgt er voor dat bij elke plot van de tekening de titel van de tekening vermeld wordt.

NUMMRG,ALL

zorgt er voor dat alle knooppunten, lijnstukken e.d. met dezelfde coördinaten, maar met verschillende nummers, verwijderd worden op één na.

SAVE

zorgt er voor dat de data bewaard wordt.

De regels die beginnen met *'/COM'* zijn commentaarregels. De tekst die er in staat is zuiver informatief van aard of is bedoeld om de verschillende delen van de file te scheiden.

Het programma *malp.exe* kent de volgende specificatie:

1 Default drive 'E'

Malp gaat er vanuit dat micro CADAM plus, GIM en *malp.exe* op de E drive van de computer staan. Indien u dit wilt veranderen, verander dan de E in de subroutine *CDTST* van *malp.for* in de gewenste drive.

Bijlage 3- Het programma MALP

2 Default group 'RLW'

Malp gaat er eveneens van uit dat de tekeningen geplaatst zijn in de subgroup RLW op de harde schijf. Indien u dit wilt veranderen, verander dan RLW in de subroutine CDTGP van malp.for in een andere, op de harde schijf binnen MCADAM aanwezig, subgroup.

3 Omzetting van ellips in spline

Ellipsen worden in de file ansys.dat als spline gedefinieerd. Dit houdt in dat de spline een benadering is van de ellips. Delen van ellipsen worden ingelezen als een volledige ellips. Dit komt de nauwkeurigheid ten goede. Later moet dan in ANSYS een deel verwijderd worden.

4 Areas worden niet gecreëerd

Malp maakt geen 'areas'. In ANSYS worden areas gecreëerd van lijnstukken, cirkels, enz. Deze gebieden worden vervolgens bedekt met elementen. Deze areas moeten dus in een editor, of in ANSYS, worden toegevoegd. Hiervoor wordt verwezen naar de ANSYS handleidingen.

5 Maximum aantal elementen

Er is een maximum aan het aantal elementen. Per tekening mogen niet meer dan 9999 elementen per soort voorkomen, dus 9999 punten, 9999 lijnen, enz.

6 Maximum aantal coördinaten

De coördinaten van de punten zijn gebonden aan een maximum van 9 cijfers, waarvan 3 cijfers achter de komma.

7 Dubbele nummering van punten bij aaneensluiting van lijnen

Bij aaneensluiting van lijnen wordt twee maal een punt op die plaats gedefinieerd, een keer als element van de eerste lijn, en een keer als element van de tweede lijn. Er wordt ook twee keer een keypoint gedefinieerd in de file ansys.dat. Dit zijn twee punten met een verschillend nummer, maar met dezelfde coördinaten. Dit levert voor ANSYS geen problemen op.

8 Afhankelijkheid van FORTRAN

MALP is geschreven in FORTRAN 77. Indien veranderingen noodzakelijk zijn, dan kan dit in FORTRAN gebeuren. Na compilen van het programma MALP.for, moet het programma MALP.obj gelinkt worden met drie bibliotheken van de GIM. Deze drie bibliotheken zijn:

```
\MCADAM\GIMLIB\GICD,  
\MCADAM\GIMLIB\GIUT,  
\MCADAM\GIMLIB\GIET.
```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

De software die benodigd is om micro CADAM plus en ANSYS te koppelen is de micro CADAM GIM module en een aantal zelfgeschreven FORTRAN routines. De FORTRAN routines worden op de volgende pagina's beschreven. Ze vormen het programma malp.for.

Na compileren van malp.for ontstaat het programma malp.obj. Dit programma wordt gelinkt met de volgende drie GIM bibliotheken:

```
\MCADAM\GIMLIB\GICD  
\MCADAM\GIMLIB\GIUT  
\MCADAM\GIMLIB\GIET.
```

Het aldus ontstane programma is malp.exe.

Het compileren en linken is gebeurd met MicroSoft FORTRAN, versie 5.1.

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

C *****
C SUBROUTINES VOOR ANALYSE VAN ELEMENTEN
C *****
C OUTPUT ARC INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTARC(C,D,E,LT)
    INTEGER*4 LT
    REAL*4 C(1),D(1),E(1),RAD
    COMMON /COM1/ QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QEQ,QSQ,QNQ
    INTEGER*4 QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QEQ,QSQ,QNQ
    DATA QAQ /0/
    QAQ=QAQ+1
    QPQ=QPQ+1
100  WRITE(6,100) QAQ,(C(I),I=1,3),(D(I),I=1,3),(E(I),I=1,3),LT
    1  /9X,'D XY(Z)=' ,3(F10.3,1X),
    2  /9X,'E XY(Z)=' ,3(F10.3,1X),' LT=' ,I4
    IF (LT.GT.2) THEN
      GO TO 103
    END IF
    RAD=SQRT(((C(1)-D(1))**2)+((C(2)-D(2))**2))
    IF (D(1).GT.E(1)) THEN
      GO TO 91
    END IF
    IF (E(1).GT.D(1)) THEN
      GO TO 90
    END IF
    IF (D(1).EQ.E(1)) THEN
      IF (D(2).GT.E(2)) THEN
        GO TO 91
      ELSE
        GO TO 90
      END IF
    END IF
90  WRITE(60,105) QPQ,(D(I),I=1,3)
    WRITE(60,105) QPQ+1,(E(I),I=1,3)
    WRITE(60,105) QPQ+2,(C(I),I=1,3)
    WRITE(60,101) QPQ,QPQ+1,QPQ+2,RAD
    GO TO 102
91  WRITE(60,105) QPQ,(E(I),I=1,3)
    WRITE(60,105) QPQ+1,(D(I),I=1,3)
    WRITE(60,105) QPQ+2,(C(I),I=1,3)
    WRITE(60,101) QPQ,QPQ+1,QPQ+2,RAD
    GO TO 102
105  FORMAT('K',',',',',I4,',',',F10.3,',',',F10.3,',',',F10.3)
101  FORMAT('LARC',',',',',I4,',',',I4,',',',I4,',',',F10.3)
102  QPQ=QPQ+2
103  CALL SAVEAC(QAQ,QPQ)
    CALL ANALEL
    RETURN
  END
C
  SUBROUTINE SAVEAC
    SAVE QAQ
    SAVE QPQ
    RETURN
  END
C
C *****
C OUTPUT ARROW INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTARO(PT1,PT2,NCHAR,TEXT,START,C,DUM1,DUM2)

```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

    INTEGER*4  NCHAR
    REAL*4     PT1(1),PT2(1),START(1),C(1),DUM1,DUM2
    CHARACTER*1 TEXT(1)
    WRITE(6,100) (PT1(I),I=1,3), (PT2(I),I=1,3), (C(I),I=1,3),NCHAR,
1   (START(I),I=1,3), (TEXT(I),I=1,57)
100  FORMAT(' CDTARO - ARROW HEAD (END1)=' ,3(F10.3,1X),
1   /10X,'ARROW HEAD (END2)=' ,3(F10.3,1X),
2   /10X,'WITNESS LINE ENDS AT XY(Z)=' ,3(F10.3,1X),
3   /10X,'ARROW HAS ',I3,'CHARACTERS OF TEXT AT XY(Z)=' ,3(F10.3,
   1X),
4   /10X,'TEXT=' ,57A1)
C
    CALL ANALEL
    RETURN
    END
C *****
    SUBROUTINE CDTBGD(IVU,I)
    INTEGER*4 IVU,I
    I = 1
    WRITE(6,100)IVU,I
100  FORMAT(' CDTBGD - DETAIL NO =' ,I2,' EXPAND=' ,I2,30(' *'))
C
    RETURN
    END
C *****
C OUTPUT BALLON INFORMATION ROUTINE
C
    SUBROUTINE CDTBLN(PT1,NCHAR,TEXT,RAD,PT2,DUM1,DUM2)
    INTEGER*4 NCHAR
    REAL*4     PT1(1),RAD,PT2(1),DUM1,DUM2
    CHARACTER*1 TEXT(1)
    WRITE(6,100) (PT1(I),I=1,3),RAD,NCHAR, (PT2(I),I=1,3),
1   (TEXT(I),I=1,57)
100  FORMAT(' CDTBLN - CENTER XY(Z)=' ,3(F10.3,1X), ' RADIUS =' ,F10.3,
1   /10X,' BALLON HAS ',I3,'CHARACTERS OF TEXT AT XY(Z)=' ,3(F10.3,
   1X),
2   /10X,'TEXT=' ,57A1)
C
    CALL ANALEL
    RETURN
    END
C *****
C OUTPUT VIEW INFORMATION ROUTINE & SET VIEW CO-ORDINATES TYPE(/PAPER/
C VIEW/ABSOLUTE/) & ELEMENT' CHAINING PARAMETER
C
    SUBROUTINE CDTBVU(IVU,ID,IOTYP,IR,ARRAY,C,A,B,SCAL)
    INTEGER*4 IVU,IOTYP,IR
    REAL*4     ARRAY(3,1),C(1),A(1),B(1),SCAL,UPI
    CHARACTER ID*2
    IOTYP = 1
    IR = 0
    WRITE(6,100)IVU,ID,IOTYP,IR, (ARRAY(1,I),I= 1,3), (ARRAY(2,I),I=1,3)
1   , (ARRAY(3,I),I=1,3), (C(I),I=1,3), (A(I),I=1,2), (B(I),I=1,2), SCAL
100  FORMAT(' CDTBVU VU NO=' ,I4,'/10X,' ROTATION MATRIX =' ,3(F10.3,1X),/10X,
1   ' REJECT CODE=' ,I4,'/10X,' ROTATION MATRIX =' ,3(F10.3,1X),/10X,
2   ' ',3(F10.3,1X),/10X,' ',3(F
3   10.3,1X),/10X,' TRANSLATION =' ,3(F10.3,1X),
4   /10X,' AXIS BLOCK TRANSLATION =' ,2(F10.3,1X),
5   /10X,' AXIS BLOCK ROTATION=' ,2(F10.3,1X),
6   /10X,' SCALE=' ,F10.3)
    RETURN
    END

```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

C
C *****
C OUTPUT CIRCLE INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTCIR(C,RAD,LT)
  INTEGER*4 LT
  REAL*4 C(1),RAD
  COMMON /COM1/ QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QQQ,QSQ,QNQ
  INTEGER*4 QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QQQ,QSQ,QNQ
  DATA QCQ /0/
  QPQ=QPQ+1
  QCQ=QCQ+1
  IF (LT.GT.2) THEN
    GO TO 103
  END IF
  WRITE(6,100) QCQ,(C(I),I=1,3),RAD,LT
  OPEN(UNIT=60,FILE='ANSYS.DAT',STATUS='OLD')
  WRITE(60,96) QPQ,(C(I),I=1,3)
  WRITE(60,97) QPQ,RAD
96  FORMAT('K',',',',',I4,',',',',F10.3,',',',',F10.3,',',',',F10.3)
97  FORMAT('CIRCLE',',',',',I4,',',',',F10.3)
100 FORMAT(' CR=',I4,' C XY(Z)=' ,3(F10.3,1X),' RAD=',F10.3,
1    ' LT=',I4)
  QPQ=QPQ+4
  CALL SAVECR(QCQ,QPQ)
  CALL ANALEL
103 RETURN
  END

C
  SUBROUTINE SAVECR
  SAVE QCQ
  SAVE QPQ
  RETURN
  END

C *****
C OUTPUT DIMENSION INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTDIM(ISW,IRET,ITYPE,IFSPEC)
  INTEGER*4 ISW,IRET,ITYPE,IFSPEC
  IRET = 1
  IF (ISW.EQ.1)WRITE(6,100)ISW,IRET,ITYPE,IFSPEC
100 FORMAT(' CDTDIM - START SWITCH=',I1,' EXPAND FLAG=',I1,
1    ' DIMENSION TYPE=',I2,' SPECIAL DIMENSION=',I1)
  IF (ISW.NE.1) THEN
    WRITE(6,101)ISW
  END IF
101 FORMAT(' CDTDIM - STOP EXPAND COMPLETE. STOP FLAG=',I2)
C
  RETURN
  END

C
C *****
C OUTPUT DELTA INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTDLT(PT1,NCHAR,TEXT,PT2,DUM1,DUM2,DUM3,DUM4,DUM5,
1  DUM6,DUM7)
  INTEGER*4 NCHAR
  REAL*4 PT1(1),PT2(1),DUM1,DUM2,DUM3,DUM4,DUM5,DUM6,DUM7
  CHARACTER*4 TEXT
  WRITE(6,100)(PT1(I),I=1,3),NCHAR,(PT2(I),I=1,3),TEXT
100 FORMAT(' CDTDLT - CENTER XY(Z) =',3(F10.3,1X),/10X,
1    ' DELTA HAS ',I3,' CHARACTERS OF TEXT AT XY(Z)=' ,3(F10.3,1X),

```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```
      2 /10X,'TEXT=',A)
C
      CALL ANALEL
      RETURN
      END
C *****
C OUTPUT DOT INFORMATION ROUTINE
C
      SUBROUTINE CDTDOT(C,R,LT)
      REAL*4 C(1),R
      INTEGER*4 LT
      WRITE(6,100)(C(I),I=1,3),R,LT
100  FORMAT(' CDTDOT - CENTER XY(Z) =',3(F10.3,1X),'RADIUS=',F10.3,
1    /10X,'LINE TYPE=',I4)
C
      CALL ANALEL
      RETURN
      END
C *****
C OUTPUT DITTO INFORMATION ROUTINE
C
      SUBROUTINE CDTDTO(C,D,IDET,SCAL,IFMIRR,IFXPND,LT)
      REAL*4 C(1),D(1),SCAL,CDT
      INTEGER*4 IDET,IFMIRR,IFXPND,LT
      IFXPND = 1
      WRITE(6,100)(C(I),I=1,3),(D(I),I=1,3),IDET,SCAL,IFMIRR,IFXPND,LT
100  FORMAT(' CDTDTO - XY(Z) PIVOT PT=',3(F10.3,1X),
1    /10X,'XY(Z) LEVER PT=',3(F10.3,1X),/10X,
2    'DETAIL NO.=',I2,'SCALE=',F6.3,'MIRRO FLAG=',I2,'EXPAND FLAG=',
3    I2,2X,'FILL/XHATCH=',I2,'(0=NORMAL,2=FILL,3=45HATCH,4=135HATCH)')
      RETURN
      END
C *****
C OUTPUT DETAIL END INFORMATION ROUTINE
C
      SUBROUTINE CDTEDT(P,Q,R,T,I)
      INTEGER*4 I
      REAL*4 P,Q,R,T
      WRITE(6,100)P,Q,R,T,I
100  FORMAT(' CDTEDT - PIVOT PT=',2(F10.3,1X),'LEVER PT=',2(F10.3,1X),
1    /10X,'DETAIL NO.=',I4)
      RETURN
      END
C *****
C OUTPUT END OF CADET INFORMATION ROUTINE
C
      SUBROUTINE CDTEND(EMPNO,PART)
      CHARACTER EMPNO*8,PART*20
      WRITE(6,100)EMPNO,PART
      WRITE(60,99)'/COM'
      WRITE(60,101)EMPNO,PART
      WRITE(60,99)'/COM'
      WRITE(60,98)PART
98   FORMAT('/TITLE',A)
100  FORMAT(' USER NAME=',A,'DRAWING NAME=',A)
99   FORMAT(A4)
101  FORMAT('/COM USER NAME=',A,' DRAWING NAME=',A)
C
      RETURN
      END
C *****
C OUTPUT ELLIPSE INFORMATION ROUTINE
```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

C
SUBROUTINE CDTEPS(C,D,E,AMAJ,AMIN,A,LT)
INTEGER*4 LT
REAL*4 C(1),D(1),E(1),AMAJ,AMIN,A
COMMON /COM1/ QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QEQ,QSQ,QNQ
INTEGER*4 QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QEQ,QSQ,QNQ
DATA QEQ /0/
QEQ=QEQ+1
WRITE(6,100) QEQ,(C(I),I=1,3),(D(I),I=1,3),(E(I),I=1,3),AMAJ,
3 AMIN,A,LT
100 FORMAT(' EL=',I4,' C XY(Z)=' ,3(F10.3,1X),/9X,' D XY(Z)=' ,
1 3(F10.3,1X),/9X,' E XY(Z)=' ,3(F10.3,1X),/9X,
2 'MAJ MIN=' ,2(F10.3,1X),' ANGLE=' ,F10.3,1X,' LT=' ,I4)
IF (LT.GT.2) THEN
GO TO 106
END IF
WRITE(60,101) QPQ+1,C(1)+0.5*AMIN*SIN((90+A)/57.296),C(2)+0.5
1 *AMIN*COS((90+A)/57.296),C(3)
WRITE(60,101) QPQ+2,C(1)+0.5*AMAJ*COS((180+A)/57.296),C(2)+0.5
2 *AMAJ*SIN((180+A)/57.296),C(3)
WRITE(60,101) QPQ+3,C(1)+0.5*AMIN*SIN((270+A)/57.296),C(2)+0.5
3 *AMIN*COS((270+A)/57.296),C(3)
WRITE(60,101) QPQ+4,C(1)+0.5*AMAJ*COS(A/57.296),C(2)+0.5*AMAJ*
4 SIN(A/57.296),C(3)
WRITE(60,101) QPQ+5,C(1)+0.5*AMIN*SIN((90+A)/57.296),C(2)+0.5
5 *AMIN*COS((90+A)/57.296),C(3)
101 FORMAT(' K',',',',',I4,',',',',F10.3,',',',',F10.3,',',',',F10.3)
WRITE(60,105) QPQ+1,QPQ+2,QPQ+3,QPQ+4,QPQ+5,COS((180+A)/57.296),
. SIN((180+A)/57.296),C(3),COS((180+A)/57.296),SIN((180+A)/57.
. 296),C(3)
105 FORMAT(' SPLINE',',',',',I4,',',',',I4,',',',',I4,',',',',I4,',',',',I4,',',',',F8.3,',',',',
. F8.3,',',',',F8.3,',',',',F8.3,',',',',F8.3,',',',',F8.3)
QPQ=QPQ+5
106 CALL SAVEEL(QEQ,QPQ)
CALL ANALEL
RETURN
END

C
SUBROUTINE SAVEEL
SAVE QEQ
SAVE QPQ
RETURN
END

C *****
C OUTPUT END OF SYMBOL EXPANSION INFORMATION ROUTINE
C
SUBROUTINE CDTESE(NSYMTB,ISYMNO,IRET)
INTEGER*4 ISYMNO,IRET
CHARACTER NSYMTB*4
WRITE(6,100)NSYMTB,ISYMNO,IRET
100 FORMAT(' CDTESE - SYMBOL TABLE NO.=' ,A,' SYMBOL NO.=' ,I4,
1 ' RETURN CODE=' ,I4)
C
RETURN
END
C *****
C OUTPUT END VIEW INFORMATION ROUTINE
C
SUBROUTINE CDTEVU(II)
INTEGER*4 II
WRITE(6,100)II
100 FORMAT(' CDTEVU - VIEW NO.=' ,I4)

```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```
C
  RETURN
  END
C *****
C SET GROUP NAME ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTGP(GROUP)
  CHARACTER*4 GROUP
  GROUP = 'RLW'
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT INFORMATION FOR GRID OF POINTS ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTGRD(SHOFLG,TCLCKN,DSPLMT,XYPGIG,XYMNSR,XYMXSR,
. NXSTEP,NYSTEP,XSTEP,YSTEP)
  INTEGER*4 SHOFLG,TCLCKN,DSPLMT,XYMNSR(1),XYMXSR(1),NXSTEP,NYSTEP
  REAL*4 XYPGIG(1),XSTEP(1),YSTEP(1)
  WRITE(6,100)SHOFLG,TCLCKN,DSPLMT,XYPGIG(1),XYPGIG(2),XYMNSR(1),
1 XYMNSR(2),XYMXSR(1),XYMXSR(2),NXSTEP,NYSTEP
100 FORMAT(' CDTGRD - GRID OF POINT : ',/,
* 3X,'SHOWFLG ( 0 = NOSHOW , 1 = SHOW ) = ',I3,/,
* 3X,'TC-LOCKON FLAG( 0 = LOCKON , 1 = NORMAL ) = ',I3,/,
* 3X,'DISPLAY LIMIT ( 1 = UNLIMIT , 2 = BOUNDED ) = ',I3,/,
* 3X,'GRID ORIGIN AT',2(F10.4,3X),/,
* 3X,'MINIMUM X -GRID SCISSORED = ',I2,3X,
* 3X,'MINIMUM Y -GRID SCISSORED = ',I2,/,
* 3X,'MAXIMUM X -GRID SCISSORED = ',I2,3X,
* 3X,'MAXIMUM Y -GRID SCISSORED = ',I2,/,
* 3X,'NUMBER OF X-STEPS ( <= 20 ) = ',I3,
* 3X,'NUMBER OF Y-STEPS ( <= 20 ) = ',I3 )
  DO 10 I= 1,NXSTEP
  WRITE(6,101)I,XSTEP(I)
101 FORMAT(' XSTEP #',I3,' = ',F10.4)
10 CONTINUE
  DO 11 I= 1,NYSTEP
  WRITE(6,102)I,YSTEP(I)
102 FORMAT(' YSTEP #',I3,' = ',F10.4)
11 CONTINUE
C
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT SYMBOL TABLE INFORMATION
C
  SUBROUTINE CDTGSN(NSYMTB,NUMSYM,IRET)
  INTEGER*4 IRET,NUMSYM
  CHARACTER NSYMTB*4
  WRITE(6,100)NSYMTB,NUMSYM,IRET
100 FORMAT(' CDTGSN - SYMBOL TABLE NO.=',A,'SYMBOL NO.=',I4,
1 'RETURN CODE =',I4)
C
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT ISO-DIMENSION (TYPE & END CONDITION)INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTISO(DIMTYP,IE1,IE2)
  INTEGER*4 DIMTYP,IE1,IE2
  WRITE(6,100)DIMTYP,IE1,IE2
100 FORMAT(' CDTISO - DIMENSION TYPE =',I4,/10X,
1 'FIRST END CONDITION =',I4,/10X,
```


Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

2 'SECOND END CONDITION =',I4)
C
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT LINE INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTLN(C,D,LT)
  INTEGER*4 LT
  REAL*4 C(1),D(1)
  COMMON /COM1/ QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QEQ,QSQ,QNQ
  INTEGER*4 QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QEQ,QSQ,QNQ
  DATA QLQ /0/
  DATA QPQ /0/
  IF (LT.GT.2) THEN
    GO TO 103
  END IF
  QLQ=QLQ+1
  QPQ=QPQ+1
  WRITE(6,100) QLQ,(C(I),I=1,3),(D(I),I=1,3),LT
  OPEN(UNIT=60,FILE='ANSYS.DAT',STATUS='OLD')
  IF (C(1).GT.D(1)) THEN
    GO TO 95
  END IF
  IF (D(1).GT.C(1)) THEN
    GO TO 94
  END IF
  IF (C(1).EQ.D(1)) THEN
    IF (C(2).GT.D(2)) THEN
      GO TO 95
    ELSE
      GO TO 94
    END IF
  END IF
  94 WRITE(60,96) QPQ,(C(I),I=1,3)
  WRITE(60,96) QPQ+1,(D(I),I=1,3)
  WRITE(60,97) QPQ,QPQ+1
  GO TO 104
  95 WRITE(60,96) QPQ,(D(I),I=1,3)
  WRITE(60,96) QPQ+1,(C(I),I=1,3)
  WRITE(60,97) QPQ,QPQ+1
  96 FORMAT('K',',',',',I4,',',',',F10.3,',',',',F10.3,',',',',F10.3)
  97 FORMAT('L',',',',',I4,',',',',I4)
  100 FORMAT(' LN=',I4,' C XY(Z)=' ,3(F10.3,1X),/9X,
  1 'D XY(Z)=' ,3(F10.3,1X),' LT=' ,I4)
  104 QPQ=QPQ+1
  CALL SAVELN(QLQ,QPQ)
  CALL ANALEL
  103 RETURN
  END
C
  SUBROUTINE SAVELN
  SAVE QLQ
  SAVE QPQ
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT MULTI-POINT LINE(LINEAR SPLINE) INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTMPL(PTS,NOPTS,OFFSET,LT,IDUM,ITYP)
  INTEGER*4 NOPTS,LT,IDUM,ITYP
  REAL*4 PTS(3,1),OFFSET

```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

COMMON /COM1/ QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QEQ,QSQ,QNQ
INTEGER*4 QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QEQ,QSQ,QNQ
DATA QNQ /0/
QPQ=QPQ+1
QNQ=QNQ+1
IF (LT.GT.2) THEN
  GO TO 103
END IF
WRITE(6,100) QNQ,NOPTS,OFFSET,LT,ITYP
OPEN(UNIT=60,FILE='ANSYS.DAT',STATUS='OLD')
100 FORMAT(' LS=',I4,' NOPTS=',I3,' OFFSET=',F6.3,
1 ' LT=',I4,' LINE INFO=',I4)
DO 10 I=1,NOPTS
  WRITE(6,105) I,(PTS(II,I),II=1,3)
105 FORMAT(' PTS=',I4,3(F10.3,1X))
10 CONTINUE
DO 20 I=1,NOPTS-1
  IF (PTS(1,I).GT.PTS(1,I+1)) THEN
    GO TO 15
  END IF
  IF (PTS(1,I+1).GT.PTS(1,I)) THEN
    GO TO 14
  END IF
  IF (PTS(1,I).EQ.PTS(1,I+1)) THEN
    IF (PTS(2,I).GT.PTS(2,I+1)) THEN
      GO TO 15
    ELSE
      GO TO 14
    END IF
  END IF
14 WRITE(60,110) QPQ,(PTS(II,I),II=1,3)
  WRITE(60,110) QPQ+1,(PTS(II,I+1),II=1,3)
  WRITE(60,109) QPQ,QPQ+1
  GO TO 77
15 WRITE(60,110) QPQ,(PTS(II,I+1),II=1,3)
  WRITE(60,110) QPQ+1,(PTS(II,I),II=1,3)
  WRITE(60,109) QPQ,QPQ+1
  GO TO 77
109 FORMAT('L',',',',',I4,',',',',I4)
110 FORMAT('K',',',',',I4,',',',',F10.3,',',',',F10.3,',',',',F10.3)
77 QPQ=QPQ+2
  CALL SAVELS(QNQ,QPQ)
20 CONTINUE
103 CALL SAVELS(QNQ,QPQ)
  CALL ANALEL
  RETURN
  END
C
  SUBROUTINE SAVELS
  SAVE QNQ
  SAVE QPQ
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT MULTI-LINE INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTML(PTS,NOPTS,OFFSET,LT,IDUM,ITYP)
  INTEGER*4 NOPTS,LT,IDUM,ITYP
  REAL*4 PTS(3,1),OFFSET
  WRITE(6,100)NOPTS,OFFSET,LT,ITYP
100 FORMAT(' CDTML - NUMBER OF POINT =',I3,' OFFSET =',F6.3,
1 'LINE TYPE=',I4,'LINE INFORMATION=',I4)

```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

DO 10 I=1,NOPTS
  WRITE(6,101)I,(PTS(II,I),II=1,3)
101  FORMAT(' POINT (' ,I6,' ) =',3(F10.3,1X))
10  CONTINUE
C
  CALL ANALEL
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT PLOT AXIS BLOCK INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTPLT(XYZLP,ANG,SCL,UPI,CHI, FN,DH,DW, IOVRPV,DUM1,
.  DUM2, IDUM)
  INTEGER*4 IOVRPV,DUM1, IDUM
  REAL*4 XYZLP(1),ANG,SCL,UPI,CHI,DH,DW,DUM2
  CHARACTER FN*20
  WRITE(6,100)(XYZLP(I),I=1,3),ANG,SCL,UPI,CHI, FN,DH,DW, IOVRPV
100  FORMAT(' CDTPLT - LOARD POINT XY(Z) =',3(F10.3,1X),/,
* 3X,' ANGLE OF PLOT DATA =',F10.3,/,
* 3X,' SCALE =',F10.3,/,
* 3X,' UNITS OF PLOT DATA =',F10.3,/,
* 3X,' SCALE OF PLOT DATA =',F10.3,/,
* 3X,' FORMAT NAME OF PLOT DATA =',A20,/,
* 3X,' HEIGHT OF PLOT FORMAT =',F10.3,/,
* 3X,' WIDTH OF PLOT FORMAT =',F10.3,/,
* 3X,' INFORMATION OF PLOT FORMAT =',I4)
C
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT POINT INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTPT(C, IDUM)
  INTEGER*4 IDUM,QPPQ
  REAL*4 C(1)
  COMMON /COM1/ QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QQQ,QSQ,QNQ
  INTEGER*4 QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QQQ,QSQ,QNQ
  DATA QPPQ /0/
  GO TO 101
99  WRITE(6,100)QPPQ,(C(I),I=1,3)
100  FORMAT(' PT=',I4, F10.3, F10.3, F10.3)
  GO TO 102
101  QPPQ=QPPQ+1
  CALL SAVEPT(QPPQ)
  GO TO 99
102  CALL ANALEL
  RETURN
  END
C
  SUBROUTINE SAVEPT
  SAVE QPPQ
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT RECTANGLE INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTREC(C,HH,HW,LT,DIR)
  INTEGER*4 LT
  REAL*4 C(1),HH,HW,DIR(1)
  WRITE(6,100)(C(I),I=1,3),HH,HW,LT,(DIR(I),I=1,3)
100  FORMAT(' CDTREC- CENTER =',3(F10.3,1X),/10X,' HALF HEIGHT=',F10.3
1  ,1X,' HALF WIDTH =',F10.3,' LINE TYPE =',I4,/10X,' DIRECTION - CENT

```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

2 ER TO MIDDLE OF RIGHT SIDE=',3(F10.3,1X)
C
  CALL ANALEL
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT RIVET INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTRVT(C,D,DIST)
  REAL*4 C(1),D(1),DIST
  WRITE(6,100)(C(I),I=1,3),(D(I),I=1,3),DIST
100 FORMAT(' CDTRVT - CENTER XY(Z)=',3(F10.3,1X),/10X,
1 'AB(C) DIRECTION=',3(F10.3,1X),'LENGHT =',F10.3)
C
  CALL ANALEL
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT SECTION ARROW INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTSC(T,PT1,PT2,DUM1,DUM2,DUM3)
  REAL*4 PT1(1),PT2(1),DUM1,DUM2,DUM3
  WRITE(6,100)(PT1(I),I=1,3),(PT2(I),I=1,3)
100 FORMAT(' CDTSC - ARROW SHAFT = ',3(F10.3,1X),/10X,
1 'ARROW HEAD TIP=',3(F10.3,1X))
C
  CALL ANALEL
  RETURN
  END
C *****
C OUTPUT SPLINE INFORMATION ROUTINE
C
  SUBROUTINE CDTSP(L,NOPTS,KIND,XYZ,ABC,S,FANGLE,FDERIV,OFFSET,JMIN,
. JMAX,LT,IBPRNT,UMIN,UMAX)
  INTEGER*4 NOPTS,KIND,JMIN,JMAX,LT,IPBRNT,G,NPTS
  REAL*4 XYZ(3,1),ABC(3,1),S(1),FANGLE,FDERIV,
. OFFSET,UMIN,UMAX
  COMMON /COM1/ QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QQQ,QQQ,QQQ
  INTEGER*4 QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QQQ,QQQ,QQQ
  DATA QSQ /0/
  QSQ=QSQ+1
  IF (LT.GT.2) THEN
    GO TO 101
  END IF
  WRITE(6,100) QSQ,KIND,NOPTS,JMIN,JMAX,LT,UMIN,UMAX
  DO 10 N=1,NOPTS
    WRITE(6,105) N,XYZ(1,N),XYZ(2,N),XYZ(3,N),ABC(1,N),ABC(2,N),
. ABC(3,N),S(N)
10 CONTINUE
  NPTS=NOPTS
  DO 88 G=1,100
    IF (NOPTS.GT.6) THEN
      WRITE(60,87) QPQ+NOPTS-5,XYZ(1,NOPTS-5),XYZ(2,NOPTS-5),
. XYZ(3,NOPTS-5)
87 FORMAT('K',' ',' ',I4,' ',' ',F10.3,' ',' ',F10.3,' ',' ',F10.3)
      WRITE(60,87) QPQ+NOPTS-4,XYZ(1,NOPTS-4),XYZ(2,NOPTS-4),
. XYZ(3,NOPTS-4)
      WRITE(60,87) QPQ+NOPTS-3,XYZ(1,NOPTS-3),XYZ(2,NOPTS-3),
. XYZ(3,NOPTS-3)
      WRITE(60,87) QPQ+NOPTS-2,XYZ(1,NOPTS-2),XYZ(2,NOPTS-2),
. XYZ(3,NOPTS-2)
      WRITE(60,87) QPQ+NOPTS-1,XYZ(1,NOPTS-1),XYZ(2,NOPTS-1),

```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

. XYZ(3,NOPTS-1)
  WRITE(60,87) QPQ+NOPTS,XYZ(1,NOPTS),XYZ(2,NOPTS),
. XYZ(3,NOPTS)
  WRITE(60,86) QPQ+NOPTS-5,QPQ+NOPTS-4,QPQ+NOPTS-3,
  QPQ+NOPTS-2,QPQ+NOPTS-1,QPQ+NOPTS,ABC(1,NOPTS-5),
. ABC(2,NOPTS-5),ABC(3,NOPTS-5),ABC(1,NOPTS),ABC(2,NOPTS),
. ABC(3,NOPTS)
86  FORMAT('SPLINE',,,,I4,,,,I4,,,,I4,,,,I4,,,,I4,,,,I4
. ,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3)
  NOPTS=NOPTS-5
  CALL SAVESP(QSQ,QPQ)
  ELSE
    GO TO 300
  END IF
88  CONTINUE
300  IF (NOPTS.EQ.1) THEN
  WRITE(60,301) QPQ+1,XYZ(1,1),XYZ(2,1),XYZ(3,1)
301  FORMAT('K',,,,I4,,,,F10.3,,,,F10.3,,,,F10.3)
  WRITE(60,201) QPQ+1,ABC(1,1),ABC(2,1),ABC(3,1)
201  FORMAT('SPLINE',,,,I4,,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3)
  END IF
  IF (NOPTS.EQ.2) THEN
  WRITE(60,302) QPQ+1,XYZ(1,1),XYZ(2,1),XYZ(3,1)
  WRITE(60,302) QPQ+2,XYZ(1,2),XYZ(2,2),XYZ(3,2)
302  FORMAT('K',,,,I4,,,,F10.3,,,,F10.3,,,,F10.3)
  WRITE(60,202) QPQ+1,QPQ+2,ABC(1,1),ABC(2,1),ABC(3,1),ABC(1,2),
. ABC(2,2),ABC(3,2)
202  FORMAT('SPLINE',,,,I4,,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3
. ,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3)
  END IF
  IF (NOPTS.EQ.3) THEN
  WRITE(60,303) QPQ+1,XYZ(1,1),XYZ(2,1),XYZ(3,1)
  WRITE(60,303) QPQ+2,XYZ(1,2),XYZ(2,2),XYZ(3,2)
  WRITE(60,303) QPQ+3,XYZ(1,3),XYZ(2,3),XYZ(3,3)
303  FORMAT('K',,,,I4,,,,F10.3,,,,F10.3,,,,F10.3)
  WRITE(60,203) QPQ+1,QPQ+2,QPQ+3,ABC(1,1),ABC(2,1),ABC(3,1),
. ABC(1,3),ABC(2,3),ABC(3,3)
203  FORMAT('SPLINE',,,,I4,,,,I4,,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,
. F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3)
  END IF
  IF (NOPTS.EQ.4) THEN
  WRITE(60,304) QPQ+1,XYZ(1,1),XYZ(2,1),XYZ(3,1)
  WRITE(60,304) QPQ+2,XYZ(1,2),XYZ(2,2),XYZ(3,2)
  WRITE(60,304) QPQ+3,XYZ(1,3),XYZ(2,3),XYZ(3,3)
  WRITE(60,304) QPQ+4,XYZ(1,4),XYZ(2,4),XYZ(3,4)
304  FORMAT('K',,,,I4,,,,F10.3,,,,F10.3,,,,F10.3)
  WRITE(60,204) QPQ+1,QPQ+2,QPQ+3,QPQ+4,ABC(1,1),ABC(2,1),
. ABC(3,1),ABC(1,4),ABC(2,4),ABC(3,4)
204  FORMAT('SPLINE',,,,I4,,,,I4,,,,I4,,,,,F8.3,,,,
. F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3)
  END IF
  IF (NOPTS.EQ.5) THEN
  WRITE(60,305) QPQ+1,XYZ(1,1),XYZ(2,1),XYZ(3,1)
  WRITE(60,305) QPQ+2,XYZ(1,2),XYZ(2,2),XYZ(3,2)
  WRITE(60,305) QPQ+3,XYZ(1,3),XYZ(2,3),XYZ(3,3)
  WRITE(60,305) QPQ+4,XYZ(1,4),XYZ(2,4),XYZ(3,4)
  WRITE(60,305) QPQ+5,XYZ(1,5),XYZ(2,5),XYZ(3,5)
305  FORMAT('K',,,,I4,,,,F10.3,,,,F10.3,,,,F10.3)
  WRITE(60,205) QPQ+1,QPQ+2,QPQ+3,QPQ+4,QPQ+5,ABC(1,1),ABC(2,1),
. ABC(3,1),ABC(1,5),ABC(2,5),ABC(3,5)
205  FORMAT('SPLINE',,,,I4,,,,I4,,,,I4,,,,I4,,,,,F8.3
. ,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3,,,,F8.3)

```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

END IF
IF (NOPTS.EQ.6) THEN
  WRITE(60,306) QPQ+1,XYZ(1,1),XYZ(2,1),XYZ(3,1)
  WRITE(60,306) QPQ+2,XYZ(1,2),XYZ(2,2),XYZ(3,2)
  WRITE(60,306) QPQ+3,XYZ(1,3),XYZ(2,3),XYZ(3,3)
  WRITE(60,306) QPQ+4,XYZ(1,4),XYZ(2,4),XYZ(3,4)
  WRITE(60,306) QPQ+5,XYZ(1,5),XYZ(2,5),XYZ(3,5)
  WRITE(60,306) QPQ+6,XYZ(1,6),XYZ(2,6),XYZ(3,6)
306  FORMAT('K',',',',',I4,',',',',F10.3,',',',',F10.3,',',',',F10.3)
      WRITE(60,206) QPQ+1,QPQ+2,QPQ+3,QPQ+4,QPQ+5,QPQ+6,ABC(1,1),
      . ABC(2,1),ABC(3,1),ABC(1,6),ABC(2,6),ABC(3,6)
206  FORMAT('SPLINE',',',',',I4,',',',',I4,',',',',I4,',',',',I4,',',',',I4,',',',',
      . F8.3,',',',',F8.3,',',',',F8.3,',',',',F8.3,',',',',F8.3)
      END IF
100  FORMAT(' SP=',I4,' KIND=',I4,' NOPTS =',I4,' MIN BAY=',
1    I4,' MAX BAY=',I4,' LT=',I4,/11X,' UMIN =',F8.4,' UMAX=',F8.4)
105  FORMAT(' SPT= ',I4, 2X, 3F10.3, 2X, 3F10.3, 2X, F10.3)
      QPQ=QPQ+NPTS
      CALL SAVESP(QSQ,QPQ)
      CALL ANALEL
101  RETURN
      END
C
      SUBROUTINE SAVESP
      SAVE QSQ
      SAVE QPQ
      RETURN
      END
C *****
C  START CADET PROCESSING
C
      SUBROUTINE CDTST(EMPNO,PART,IDUM,IEOF)
      INTEGER*4  IDUM,IEOF,I
      REAL*4     UPI
      CHARACTER  EMPNO*8,PART*20,DV*1
      DATA I /0/
      IF(I.EQ.0)THEN
        WRITE(*,1)
1       FORMAT(' GEEF USER CODE (4 CHAR.)')
        READ(*,2)EMPNO
2       FORMAT(A)
        WRITE(*,3)
        WRITE(*,4)
3       FORMAT(' GEEF TEKENINGNAAM (20 CHAR.)')
4       FORMAT(' .....|.....|.....|.....|')
        READ(*,5)PART
5       FORMAT(A)
        I = 1
        IEOF = 0
        DV='E'
        CALL SETDRV(DV)
        ELSE
        IEOF = 1
      END IF
      RETURN
      END
C *****
C  OUTPUT TEXT INFORMATION ROUTINE
C
      SUBROUTINE CDTSUP(START,ANG,NCHAR,CHHIGH,CHWIDE,TEXT,DUM1,SCALE,
      . TURN,JUST,HORIZ,VERT,SLANT,SPAN,HSPACE,VSPACE,DUM2,IPSURP)
      INTEGER*4  NCHAR,DUM1,SCALE,TURN,JUST,HORIZ,VERT,SPAN

```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

REAL*4    START(1),ANG,CHHIGH,CHWIDE,SLANT,HSPACE,VSPACE,DUM2,
.  IFSURP
CHARACTER*1 TEXT(*)
WRITE(6,100)(START(I),I=1,3),ANG,NCHAR,CHHIGH,CHWIDE,SCALE,TURN,
1  JUST,HORIZ,VERT,SLANT,SPAN,HSPACE,VSPACE,(TEXT(I),I=1,62)
100  FORMAT(' CDTSUP - START POINT OF TEXT=',3(F10.3,1X),/,
* 3X,'ANGLE OF TEXT = ',F10.3,/,
* 3X,'NUMBER OF CHARACTER = ',I4,/,
* 3X,'HEIGHT OF CHARACTER = ',F10.3,/,
* 3X,'WIDTH OF CHARACTER = ',F10.3,/,
* 3X,'SCALING          = ',I4,/,
* 3X,'TURNING          = ',I4,/,
* 3X,'JUSTIFICATION   = ',I4,/,
* 3X,'TEXT BLOCK POSITION : HORIZONTAL = ',I4,/,
* 3X,'                  VERTICAL    = ',I4,/,
* 3X,'SLANT           = ',F10.3,/,
* 3X,'SPAN            = ',I4,/,
* 3X,'CHARACTER SPACING = ',F10.3,/,
* 3X,'LINE SPACING = ',F10.3,/,
* 3X,'TEXT = ',62A1)

C
CALL ANALEL
RETURN
END
C *****
C OUTPUT SYMBOL INFORMATION ROUTINE
C
SUBROUTINE CDTSYM(PT1,DIR,SCAL,MIRR,ISTN,ISY,IFFILL,IFXPND)
INTEGER*4 MIRR,ISTN,ISY,IFFILL,IFXPND
REAL*4    PT1(1),DIR(1),SCAL
WRITE(6,100)(PT1(I),I=1,3),(DIR(I),I=1,3),SCAL,MIRR,ISTN,ISY,
1  IFFILL,IFXPND
100  FORMAT(' CDTSYM - XY(Z)',3(F10.3,1X),/10X,'AB(C) DIRECTION = ',
1 3(F10.3,1X),'SCALE = ',F10.3,/10X,'MIRROR FLAG = ',I4,'SYMBOL TABLE
2  NUMBER = ',I3,1X,'SYMBOL NUMBER = ',I6,/10X,'FILL FLAG = ',I2,
3  '(NORMAL=0,FILL=2,45HATCH=4,135HATCH=6',/10X,'EXPAND FLAG=',I3,2X
4  ,(1=YES)')

C
CALL ANALEL
RETURN
END
C *****
C OUTPUT TRIANGLE INFORMATION ROUTINE
C
SUBROUTINE CDTTRI(C,D,DUM,LT)
INTEGER*4 LT
REAL*4    C(1),D(1),DUM
WRITE(6,100)(C(I),I=1,3),(D(I),I=1,3),LT
100  FORMAT(' CDTTRI - END1=',3(F10.3,1X),/10X,'END2=',3(F10.3,1X),
1  'FILL FLAG = ',I2)

C
CALL ANALEL
RETURN
END
C *****
C OUTPUT TEXTLINE INFORMATION ROUTINE
C
SUBROUTINE CDTTXL(PT1,START,PT2,NCHAR,ISVERT,TEXT,DUM1,DUM2,
.  DUM3,DUM4)
INTEGER*4 NCHAR,ISVERT
REAL*4    PT1(1),PT2(1),START(1),DUM1,DUM2,DUM3,DUM4
CHARACTER*1 TEXT(1)

```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```

WRITE(6,100)(PT1(I),I=1,3),(START(I),I=1,3),(PT2(I),I=1,3),
1 NCHAR,ISVERT,(TEXT(I),I=1,57)
100 FORMAT(' CDTTXL - START XY(Z) =',3(F10.3,1X),
1 /10X,'TEXT PT XY(Z) =',3(F10.3,1X),
2 /10X,'END PT XY(Z) =',3(F10.3,1X),'NCHAR=',I2,
3 /10X,'(VERT TEXT = 1,HIROZ = 0,OTHERS = 2) - ISVERT=',I2,
4 /10X,'TEXT =',57A1)
C
CALL ANALEL
RETURN
END
C *****
C OUTPUT TYPE DATA INFORMATION OF ELEMENT ROUTINE
C
SUBROUTINE CDTTYP(IDUM1, IDUM2, IDUM3, DUM1, IDUM4, DUM2, DUM3, IDUM5,
. ICOLNO, IDUM6, IRED, IGREEN, IBLUE)
INTEGER*4 ICOLNO, IRED, IGREEN, IBLUE, IDUM1, IDUM2, IDUM3, IDUM4, IDUM5
INTEGER*4 IDUM6
REAL*4 DUM1, DUM2, DUM3
RETURN
END
C *****
C ANALYZE ELEMENTS FOR ATTRIBITES AND PARENT SETS
C
SUBROUTINE ANALEL
INTEGER*4 NAME, IGROUP, NSTDTC(9), LEVEL, LOOK, LOOK1, NXTNME, NUMATT,
. ITYPE, LEN, NGNAME, ISETNO, SETNO, IAPNO, LEV, IDUM1, IDUM2
INTEGER*2 ISEQ
REAL*4 DUM1, DUM2
CHARACTER BYTE*72, SETNME*20, APLNAM*8
CALL ELNAME(NAME, IGROUP, NSTDTC, LEVEL)
LOOK = NAME
LOOK1= NAME
2000 CALL ATTRIB(LOOK, NXTNME, NUMATT, ITYPE, LEN, DUM1, IDUM1, BYTE, IDUM2,
. DUM2, LEVEL)
IF(NUMATT.EQ.0)GO TO 3000
WRITE(6,100)NXTNME, NUMATT, ITYPE, BYTE, LEN
100 FORMAT(' ***** ATTRIBUTE INFORMATION *****',
1 /10X,' NEXT ATTRIBUTE POINTER =',I6,
2 /10X,' ATTRIBUTE NUMBER =',I6,
3 /10X,'(0:HAS NO ATTRIBUTE DATA,1:HAS ATTRIBUTE DATA)ITYPE=',I6,
4 /10X,' ATTRIBUTE DATA =',A,
5 /10X,' LENGHT OF ATTRIBUTE DATA =',I6)
LOOK = NXTNME
IF(NXTNME.LE.0)GO TO 3000
GO TO 2000
3000 ISEQ = 1
3001 CALL GRPNME(LOOK1, ISEQ, NGNAME, ISETNO, SETNME, LEVEL)
CALL SETDTA(ISETNO, LEV, IAPLNO, APLNAM, IDUM1, IDUM2)
IF(ISETNO.EQ.0)GO TO 4000
WRITE(6,101)ISETNO, NGNAME, SETNME, IAPLNO, APLNAM
101 FORMAT(' ***** SET INFORMATION *****',
1 /10X,' ABOVE ELEMENT IS IN SET NUMBER =',I3,
2 /10X,' SET POINTER =',I6,' SET NAME=',A,
3 /10X,' APLICATION NUMBER =',I6,' APLICATION NAME =',A)
ISEQ = ISEQ + 1
GO TO 3001
4000 RETURN
END
C
SUBROUTINE WITNES(WITLEN)
REAL*4 WITLEN

```


Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```
WRITE(6,100)WITLEN
100 FORMAT(' WITNES - WITNESS LENGTH =',F10.5)
RETURN
END

C
SUBROUTINE EXTNLN(EXTLEN)
REAL*4 EXTLEN
WRITE(6,100)EXTLEN
100 FORMAT(' EXTNLN - EXTENSION LINE GAP=',F10.5)
RETURN
END

C *****
C CONTROL TO GET DRAW ELEMENT
C *****
COMMON /CDTCOM/LETGO,NOREAD,CDTSHO,ELSHOW,IPRINT,MODSIZ(2),
MDLLFT(2),FILDAT,MDLTXT,IWANT(9),GOOD,EMPNO,PART
INTEGER*4 LETGO,NOREAD,CDTSHO,ELSHOW,IPRINT,MODSIZ,MDLLFT
INTEGER*4 IWANT,GOOD
CHARACTER*58 MDLTXT
CHARACTER*8 FILDAT
CHARACTER*4 ALL
COMMON /COM1/ QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QEQ,QSQ,QNQ
INTEGER*4 QPQ,QLQ,QCQ,QAQ,QEQ,QSQ,QNQ

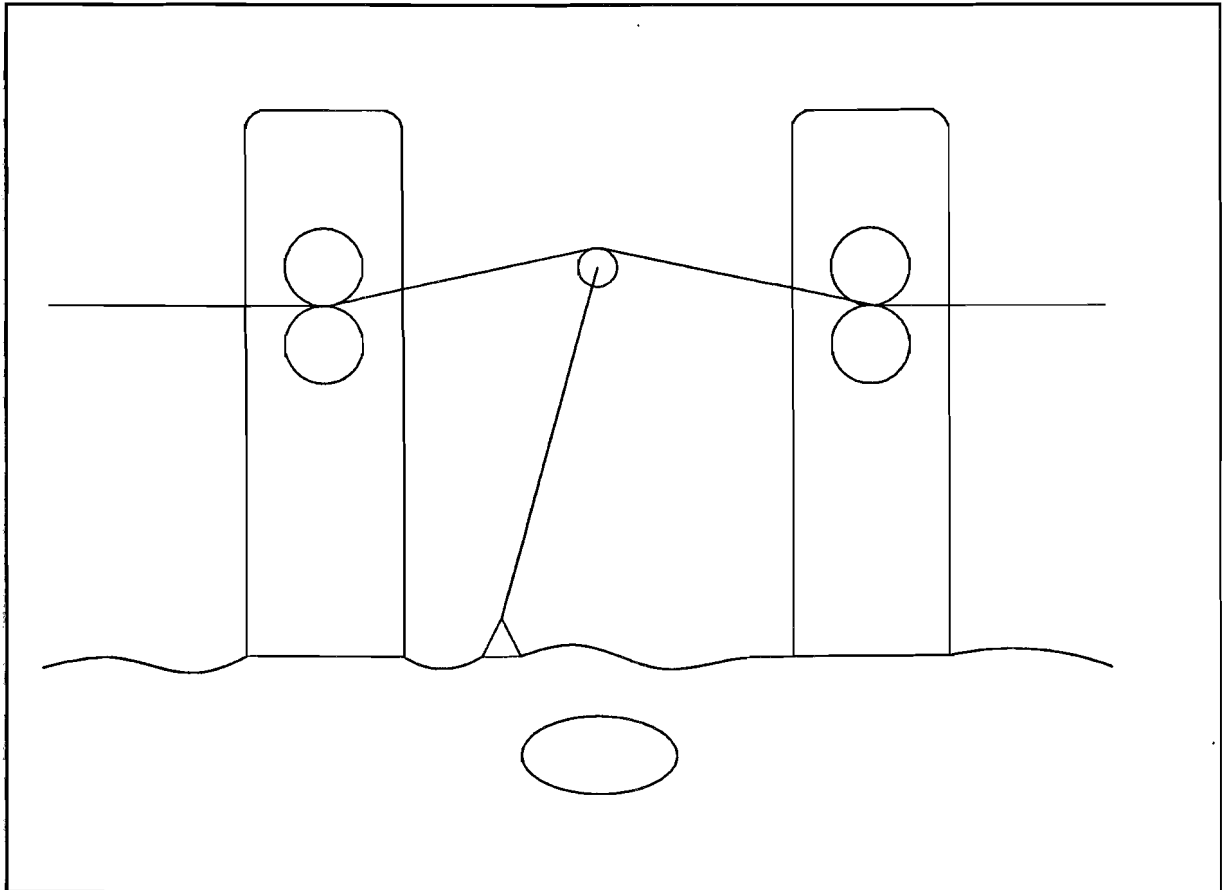
C
DATA ALL /'ALL'/
PRINT 5, 'MALP'
5 FORMAT('1',A4)
PRINT *, 'Dit programma is eigendom van:'
PRINT *, 'HOOGOSENS IJMUIDEN afdeling RL-MIR-BOA'
PRINT *, 'MALP - Micro CADAM ANSYS Link Program.'
PRINT *, ''
PRINT *, 'Dit programma is een link tussen MCADAM+ en ANSYS.'
PRINT *, 'Het programma leest informatie uit een MCADAM tekening'
PRINT *, 'en genereert een ANSYS inputfile.'
PRINT *, 'Lees de bijbehorende handleiding voordat u verder gaat.'
OPEN(UNIT=60,FILE='ANSYS.DAT',STATUS='OLD')
WRITE(60,11)'/COM Deze ANSYS inputfile is direct ontstaan uit'
11 FORMAT(A50)
WRITE(60,12)'/COM een micro CADAM+ tekening.'
12 FORMAT(A34)
1 FORMAT(A4)
WRITE(60,1)'/COM'
WRITE(60,3)'/COM GEOMETRY OF DRAWING'
3 FORMAT(A27)
WRITE(60,1)'/COM'
WRITE(60,13)'/PREP7'
13 FORMAT(A6)
OPEN(6,FILE='CDTOUT.DAT ',STATUS='OLD')
LETGO = 0
NOREAD = 0
CDTSHO = 0
IWANT(1) = ALL
CALL CADET
CLOSE(6)
WRITE(60,1)'/COM'
WRITE(60,7)'NUMMRG,ALL'
7 FORMAT(A10)
WRITE(60,1)'SAVE'
PRINT *, ''
PRINT *, ' CADET file CDTOUT.DAT created'
PRINT *, ''
PRINT *, ' Outputfile ANSYS.DAT created'
```

Bijlage 4 - Koppelingssoftware voor micro CADAM plus en ANSYS

```
PRINT *, ' '  
STOP  
END
```

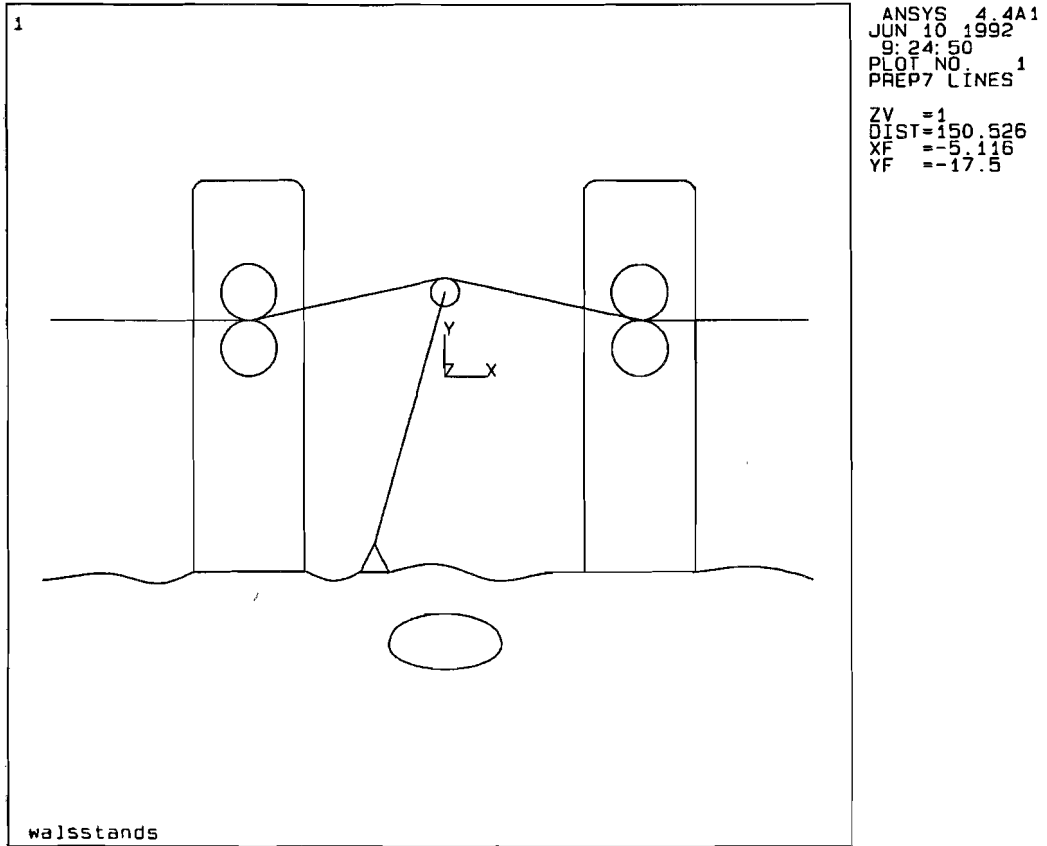
Bijlage 5 - Voorbeeld van conversie van een tekening

In deze bijlage zijn opgenomen een micro CADAM tekening, de bijbehorende ansys.dat file en de tekening zoals ANSYS die genereert uit de ansys.dat file.



Figuur 1 - De micro CADAM tekening

Bijlage 5 - Voorbeeld van conversie van een tekening



Figuur 2 - De ANSYS tekening

Bijlage 5 - Voorbeeld van conversie van een tekening

De file ansys.dat

```
/COM Deze ANSYS inputfile is direct ontstaan uit
/COM een micro CADAM+ tekening.
/COM
/COM GEOMETRY OF DRAWING
/COM
/PREP7
K, 1, 50.000, -70.000, .000
K, 2, 90.000, -70.000, .000
L, 1, 2
K, 3, -90.000, -70.000, .000
K, 4, -50.000, -70.000, .000
L, 3, 4
K, 5, -140.000, 20.000, .000
K, 6, -70.000, 20.000, .000
L, 5, 6
K, 7, 70.000, 20.000, .000
K, 8, 130.000, 20.000, .000
L, 7, 8
K, 9, -30.000, -70.000, .000
K, 10, -20.000, -70.000, .000
L, 9, 10
K, 11, -25.000, -60.000, .000
K, 12, -20.000, -70.000, .000
L, 11, 12
K, 13, -30.000, -70.000, .000
K, 14, -25.000, -60.000, .000
L, 13, 14
K, 15, -25.000, -60.000, .000
K, 16, .000, 30.000, .000
L, 15, 16
K, 17, -67.857, 20.232, .000
K, 18, -1.071, 34.884, .000
L, 17, 18
K, 19, 1.040, 34.891, .000
K, 20, 72.080, 19.781, .000
L, 19, 20
K, 21, 50.000, -70.000, .000
K, 22, 50.000, 65.000, .000
L, 21, 22
K, 23, -50.000, -70.000, .000
K, 24, -50.000, 65.000, .000
L, 23, 24
K, 25, -90.000, -70.000, .000
K, 26, -90.000, 65.000, .000
L, 25, 26
K, 27, -85.000, 70.000, .000
K, 28, -55.000, 70.000, .000
L, 27, 28
K, 29, 90.000, -70.000, .000
K, 30, 90.000, 65.000, .000
L, 29, 30
K, 31, 55.000, 70.000, .000
K, 32, 85.000, 70.000, .000
L, 31, 32
K, 33, -70.000, 30.000, .000
CIRCLE, 33, 10.000
K, 38, -70.000, 10.000, .000
CIRCLE, 38, 10.000
K, 43, 70.000, 10.000, .000
```

Bijlage 5 - Voorbeeld van conversie van een tekening

```

CIRCLE, 43, 10.000
K, 48, 70.000, 30.000, .000
CIRCLE, 48, 10.000
K, 53, .000, 30.000, .000
CIRCLE, 53, 5.000
K, 58, -55.000, 70.000, .000
K, 59, -50.000, 65.000, .000
K, 60, -55.000, 65.000, .000
LARC, 58, 59, 60, 5.000
K, 61, -90.000, 65.000, .000
K, 62, -85.000, 70.000, .000
K, 63, -85.000, 65.000, .000
LARC, 61, 62, 63, 5.000
K, 64, 85.000, 70.000, .000
K, 65, 90.000, 65.000, .000
K, 66, 85.000, 65.000, .000
LARC, 64, 65, 66, 5.000
K, 67, 50.000, 65.000, .000
K, 68, 55.000, 70.000, .000
K, 69, 55.000, 65.000, .000
LARC, 67, 68, 69, 5.000
K, 70, -50.000, -70.000, .000
K, 71, -41.830, -73.041, .000
K, 72, -30.000, -70.000, .000
SPLINE, 70, 71, 72,,,, 7.320, -4.735, .000, 10.447, 6.329,
.000
K, 73, -20.000, -70.000, .000
K, 74, -5.116, -67.133, .000
K, 75, 16.026, -73.041, .000
K, 76, 34.935, -70.676, .000
K, 77, 50.000, -70.000, .000
SPLINE, 73, 74, 75, 76, 77,, 14.168, 5.387, .000, 15.079,
.147, .000
K, 78, 90.000, -70.000, .000
K, 79, 107.247, -68.321, .000
K, 80, 131.726, -73.041, .000
SPLINE, 78, 79, 80,,,, 16.944, 3.628, .000, 23.398, -8.605,
.000
K, 81, -141.958, -73.041, .000
K, 82, -121.932, -70.676, .000
K, 83, -104.128, -74.260, .000
K, 84, -90.000, -70.000, .000
SPLINE, 81, 82, 83, 84,,, 19.403, 5.489, .000, 13.012, 6.960,
.000
K, 85, 0.000, -95.000, .000
K, 86, -20.000, -105.000, .000
K, 87, 0.000, -115.000, .000
K, 88, 20.000, -105.000, .000
K, 89, 0.000, -95.000, .000
SPLINE, 85, 86, 87, 88, 89,, 1.000, .000, .000, -1.000,
.000, .000
/COM
/COM USER NAME=TOHE DRAWING NAME=walsstands
/COM
/TITLE, walsstands
/COM
NUMMRG,ALL
SAVE

```

*Bijlagen, behorend bij de analyse van de slipcondities van
het plaatwalsproces*

Bijlage 6 - De parameters van het plaatwalsproces

Bij de beschouwing van het stationair walsproces wordt uitgegaan van twee walsstands zonder tussenliggende looper.

Eerst wordt geïnventariseerd welke parameters in één walsstand een rol spelen. Later worden de relaties tussen deze parameters tot uitdrukking gebracht in formules.

Uiteindelijk worden twee modellen gepresenteerd die alle parameters van twee walsstands en het plaatmateriaal bevatten, en waaruit, na vastlegging van enkele parameters, de waarden voor de andere grootheden volgen.

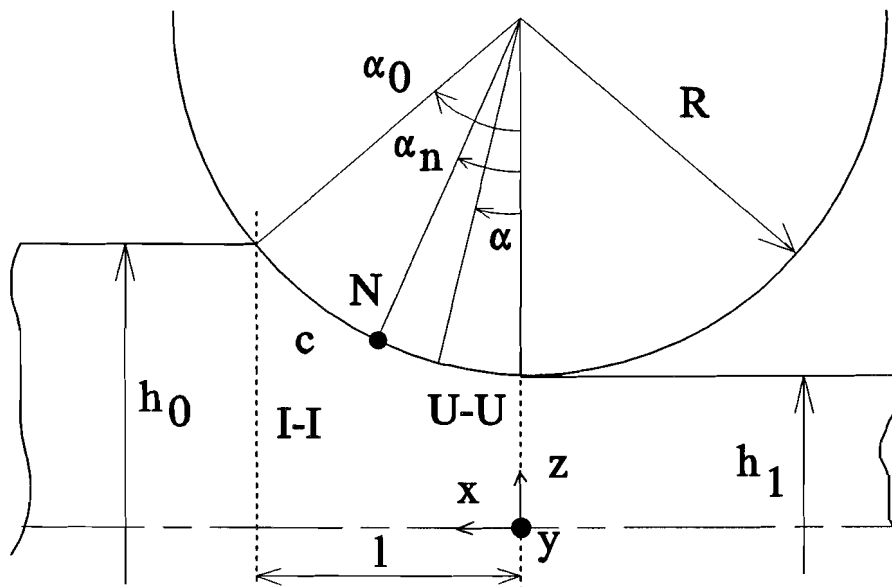
Bij het inventariseren van de grootheden wordt vermeld van welk gebied ze deel uitmaken: de walsrol, de plaat of de contactzone.

De contactzone is het gebied waar de walsrol en plaat elkaar raken.

Aangezien het proces symmetrisch is ten opzichte van het middenvlak van de plaat, wordt alleen het bovenste gebied bekeken.

Achtereenvolgens wordt gekeken naar de geometrische, kinematische, dynamische en materiaalafhankelijke parameters.

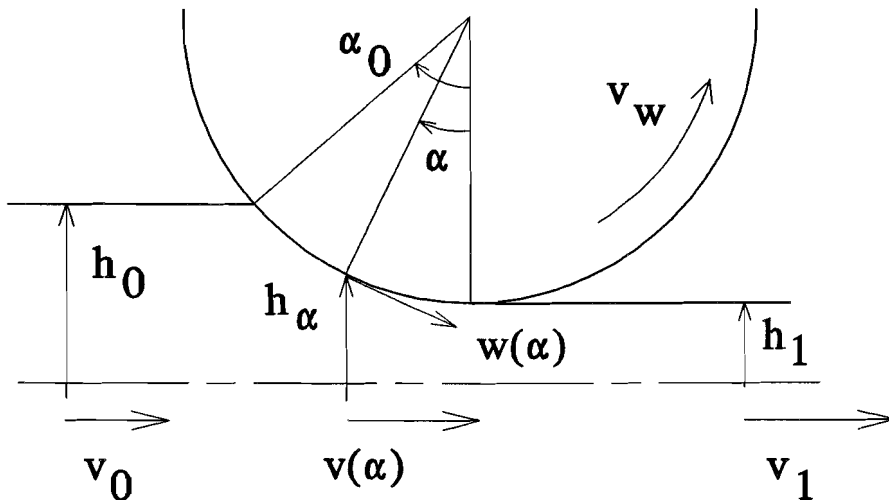
In figuur 3 zijn de geometrische grootheden aangegeven.



Figuur 3 - De geometrie

Bijlage 6 - De parameters van het plaatwalsproces

In figuur 4 zijn de kinematische grootheden aangegeven.



Figuur 4 - De processnelheden

6.1 - De geometrische grootheden en hun symbolen

van de plaat:

h_0	intreehoogte
h_1	uittreehoogte
$h(\alpha)$	walsspleethoogte, functie van de walsspleetcoördinaten x en z , of α
Δh	totale hoogteverandering
b_0	intreebreedte
b_1	uittreebreedte
$b(\alpha)$	walsspleetbreedte, functie van de walsspleetcoördinaten x en z , of α
x, y, z	beschrijvende coördinaten van de walsspleet
I-I	ingangsdoorsnede
U-U	uitgangsdoorsnede
α	walshoek

Bijlage 6 - De parameters van het plaatwalsproces

van de walsrol:

R radius van de walsrol

van de contactzone:

c contactlengte
l geprojecteerde contactlengte
 α_0 contacthoek
 A_d contactoppervlak

6.2 - De kinematische grootheden en hun symbolen

van de plaat:

v_0 beginsnelheid
 v_1 eindsnelheid
 $v(\alpha)$ snelheid als functie van de walsspleetcoördinaten x en y , of α

van de walsrol:

ω hoekfrequentie

van de contactzone:

$w(\alpha)$ snelheid als functie van de walsspleetcoördinaten x en y , of α

6.3 - De dynamische grootheden en hun symbolen

van de plaat:

σ spanning
 ϵ_e elastische rek
 ϵ_p plastische rek

Bijlage 6 - De parameters van het plaatwalsproces

van de walsrol:

F walskracht
 M_d koppel

van de contactzone:

σ_n normaalspanning
 τ schuifspanning
 μ wrijvingscoëfficiënt

6.4 - De materiaalafhankelijke grootheden en hun parameters

$\sigma_f, \varepsilon_0, n, C$ de materiaaleigenschappen van de plaat,

Overige invloeden zijn:

T_w, T_p de temperatuurverdeling in walsrollen en plaat,
het al dan niet toepassen van smering in de contactzone.

Deze invloeden zullen niet in de beschouwing worden betrokken.

In bijlage 7 worden de relaties tussen de bovenbeschreven parameters geanalyseerd.

Bijlage 7 - Modellen voor de relaties tussen de parameters

In deze bijlage worden twee modellen voor de normaalspanningsverdeling in de contactzone gepresenteerd. Het eerste is een eenvoudig, lineair model. Het tweede is een gecompliceerder, exponentieel model. Hieronder wordt een beschrijving van de twee modellen gegeven.

7.1 - Het lineaire normaalspanningsmodel

Voor de normaaldrukverdeling in de contactzone gelden de volgende formules:

$$\sigma_n(\alpha) = \sigma_f + \frac{\sigma_{ml} - \sigma_f}{\alpha_n} \alpha \quad (1)$$

in het gebied van $\alpha=0$ tot $\alpha=\alpha_n$, en

$$\sigma_n(\alpha) = \sigma_{ml} - \frac{\sigma_{ml} - \sigma_f}{\alpha_0 - \alpha_n} (\alpha - \alpha_n) \quad (2)$$

in het gebied van $\alpha=\alpha_n$ tot $\alpha=\alpha_0$.

7.2 - Het exponentiële normaalspanningsmodel

Voor de normaaldrukverdeling in de contactzone gelden de volgende formules:

$$\sigma_n(\alpha) = \frac{C_1}{\cos(\alpha)} e^{\frac{4 \mu_0 R \arctan \frac{\sqrt{(h_1 + 4R)} \sin(\alpha)}{\sqrt{h_1}(\cos(\alpha)+1)}}{\sqrt{h_1} \sqrt{h_1 + 4R}} - 2R \frac{LN \frac{1}{2R + h_1 - 2R \cos(\alpha)} + LN \cos(\alpha)}{h_1 + 2R}} \quad (3)$$

in de zone tussen $\alpha=0$ en $\alpha=\alpha_n$ en

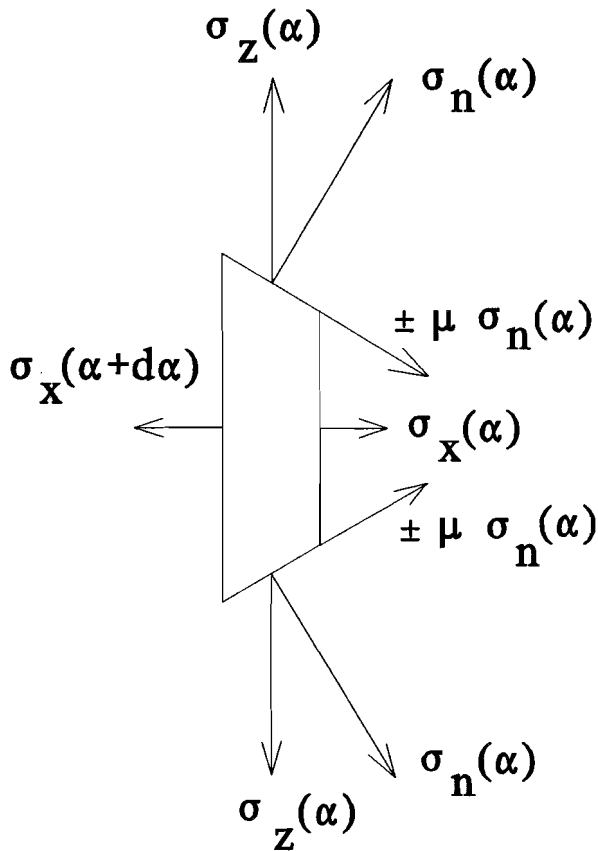
$$\sigma_n(\alpha) = \frac{C_2}{\cos(\alpha)} e^{\frac{-4 \mu_0 R \arctan \frac{\sqrt{(h_1 + 4R)} \sin(\alpha)}{\sqrt{h_1}(\cos(\alpha)+1)}}{\sqrt{h_1} \sqrt{h_1 + 4R}} - 2R \frac{LN \frac{1}{2R + h_1 - 2R \cos(\alpha)} + LN \cos(\alpha)}{h_1 + 2R}} \quad (4)$$

in de zone tussen $\alpha=\alpha_n$ en $\alpha=\alpha_0$.

Bijlage 7 - Modellen voor de relaties tussen de parameters

De afleiding van de exponentiële normaalspanningsverdeling is gebaseerd op het krachterevenwicht van een infinitesimaal klein blokje in de walsspleet en de vloei-voorwaarde volgens Tresca.

In figuur 5 is het krachterevenwicht van het infinitesimaal kleine blokje weergegeven.



Figuur 5 - Het krachterevenwicht van een infinitesimaal klein blokje in de walsspleet

De krachterevenwichtsvergelijking luidt:

$$\frac{d\sigma_x(\alpha)}{d\alpha} = \pm 2 \mu_0 \cos(\alpha) \frac{R \sigma_n(\alpha)}{\cos(\alpha) h(\alpha)} + \frac{2 R \sigma_n(\alpha)}{\cos(\alpha) h(\alpha)} \sin(\alpha) \quad (5)$$

met

Bijlage 7 - Modellen voor de relaties tussen de parameters

$$\sigma_z(\alpha) = \sigma_n(\alpha) \cos(\alpha) \pm \mu_0 \sigma_n(\alpha) \sin(\alpha) \quad (6)$$

De vloeivoorwaarde volgens Tresca luidt:

$$|\sigma_z(\alpha) - \sigma_x(\alpha)| = \sigma_f \quad (7)$$

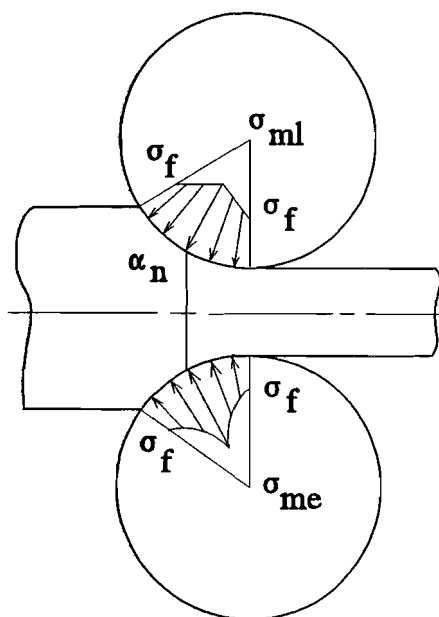
Uit de vergelijkingen (5), (6) en (7) zijn de formules (3) en (4) te herleiden.

Hierbij zijn C_1 en C_2 nader te bepalen constanten. De waarde van C_1 volgt uit de aanname dat $\sigma(\alpha_0)$ gelijk is aan σ_f .

C_2 volgt uit de waarde die vergelijking (4) levert voor $\sigma(\alpha_n)$, aangezien $\sigma(\alpha_n)$ uit vergelijking (3) dezelfde waarde moet hebben.

In de figuur 6 zijn de twee drukbergmodellen afgebeeld. De bovenste is de lineaire drukberg, de onderste is de exponentiële.

Figuur 6 - De modellen voor de normaalspanningsverdeling



Voor de beschrijving van de wrijving worden twee modellen gebruikt, namelijk het model van Coulomb en het model van von Mises. De modellen dienen als respectievelijk onderschatting en bovenschatting voor de beschrijving van de wrijving in de contactzone. Voor het lineaire drukbergmodel wordt een lineair wrijvingsmodel, en voor het exponentiële drukbergmodel een constant wrijvingsmodel gehanteerd.

7.3 - Het model van Coulomb

$$\tau_{fr}(\alpha) = \mu(\alpha) \sigma_n(\alpha) \quad (8)$$

$\mu(\alpha)$, Lineair afhankelijk van de walshoek α :

$$\mu(\alpha) = \mu_0 + \frac{\mu_1 - \mu_0}{\alpha_n} \alpha \quad (9)$$

voor het gebied tussen $\alpha=0$ en $\alpha=\alpha_n$ en

$$\mu(\alpha) = \mu_1 - \frac{\mu_1 - \mu_0}{\alpha_0 - \alpha_n} (\alpha - \alpha_n) \quad (10)$$

voor het gebied tussen $\alpha=\alpha_n$ en $\alpha=\alpha_0$.

$\mu(\alpha)$, Constant, onafhankelijk van de walshoek α :

$$\mu(\alpha) = \mu_0 \quad (11)$$

7.4 - Het model van von Mises

$$\tau_{fr}(\alpha) = \frac{m(\alpha)}{\sqrt{3}} \sigma_n(\alpha) \quad (12)$$

$m(\alpha)$, Lineair afhankelijk van de walshoek α :

$$m(\alpha) = m_0 + \frac{1 - m_0}{\alpha_n} \alpha \quad (13)$$

voor het gebied tussen $\alpha=0$ en $\alpha=\alpha_n$ en

$$m(\alpha) = 1 - \frac{1 - m_0}{\alpha_0 - \alpha_n} (\alpha_0 - \alpha_n) \quad (14)$$

Bijlage 7 - Modellen voor de relaties tussen de parameters

voor het gebied tussen $\alpha = \alpha_n$ en $\alpha = \alpha_0$.

$m(\alpha)$, Constant, onafhankelijk van de walshoek α :

$$m(\alpha) = m_1 \quad (15)$$

Voor de beschrijving van de materiaaldeformatie worden de modellen van ideaal plastisch materiaalgedrag en van exponentieel versterkend materiaal gebruikt.

Exponentieel versterkend materiaal wordt toegepast in de berekeningen met een lineaire drukberg. Dit model kan worden gebruikt om koudwalsberekeningen uit te voeren. Bij koudwalsen treedt versterking op.

Ideaal plastisch materiaal wordt toegepast in de berekeningen met een exponentiële drukberg. Dit model kan worden gebruikt om berekeningen van warmwalsen uit te voeren. Bij warmwalsen treedt geen versterking op.

7.5 - Het model van ideaal plastisch materiaalgedrag

$$\bar{\sigma} = \sigma_f \quad (16)$$

7.6 - Het model van exponentieel versterkend materiaal

$$\bar{\sigma} = (\bar{\epsilon} + \bar{\epsilon}_0)^n \quad (17)$$

Bijlage 8 - Uitwerkingen van de vergelijkingen

8.1 - Oplossing van het krachtenevenwicht met de exponentiële drukberg

De uitwerkingen van het krachtenevenwicht zijn voor de verschillende modellen als volgt:

8.1.1- Kritieke ingangstrek met constante Coulomb-wrijving

$$\begin{aligned}
 & 2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \cos(\alpha) \frac{\mu_0 C_2}{\cos(\alpha)} e^{\frac{-4 \mu_0 R \arctan \frac{\sqrt{(h_1 + 4 R)} \sin(\alpha)}{\sqrt{h_1} (\cos(\alpha)+1)}}{\sqrt{h_1} \sqrt{h_1 + 4 R}}} - 2 R \frac{LN \frac{1}{2 R + h_1 - 2 R \cos(\alpha)} + LN \cos(\alpha)}{h_1 + 2 R} \\
 & - 2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \sin(\alpha) \frac{C_2}{\cos(\alpha)} e^{\frac{-4 \mu_0 R \arctan \frac{\sqrt{(h_1 + 4 R)} \sin(\alpha)}{\sqrt{h_1} (\cos(\alpha)+1)}}{\sqrt{h_1} \sqrt{h_1 + 4 R}}} - 2 R \frac{LN \frac{1}{2 R + h_1 - 2 R \cos(\alpha)} + LN \cos(\alpha)}{h_1 + 2 R} \\
 & - \sigma_0 b_0 h_0 + \sigma_1 b_0 h_1 = 0
 \end{aligned} \tag{18}$$

Vergelijking (18) wordt numeriek door slip.exe opgelost, met σ_0 als op te lossen parameter.

8.1.2- Kritieke reductie met constante Coulomb-wrijving

$$\begin{aligned}
 & 2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \cos(\alpha) \frac{\mu_0 C_2}{\cos(\alpha)} e^{\frac{-4 \mu_0 R \arctan \frac{\sqrt{(h_1 + 4 R)} \sin(\alpha)}{\sqrt{h_1} (\cos(\alpha)+1)}}{\sqrt{h_1} \sqrt{h_1 + 4 R}}} - 2 R \frac{LN \frac{1}{R + h_1 - 2 R \cos(\alpha)} + LN \cos(\alpha)}{h_1 + 2 R} \\
 & - 2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \sin(\alpha) \frac{C_2}{\cos(\alpha)} e^{\frac{-4 \mu_0 R \arctan \frac{\sqrt{(h_1 + 4 R)} \sin(\alpha)}{\sqrt{h_1} (\cos(\alpha)+1)}}{\sqrt{h_1} \sqrt{h_1 + 4 R}}} - 2 R \frac{LN \frac{1}{R + h_1 - 2 R \cos(\alpha)} + LN \cos(\alpha)}{h_1 + 2 R} \\
 & - \sigma_0 b_0 h_0 + \sigma_1 b_0 h_1 = 0
 \end{aligned} \tag{18}$$

Vergelijking (18) wordt numeriek door slip.exe opgelost. Hierbij is, met een aangenomen waarde voor σ_1 , σ_0 en μ_0 , h_1 de op te lossen parameter.

Bijlage 8 - Uitwerkingen van de vergelijkingen

8.2 - Oplossing van het krachterevenwicht met de lineaire drukberg

De uitwerkingen van het krachterevenwicht zijn voor de verschillende modellen als volgt:

8.2.1 - Kritieke ingangstrek met lineaire Coulomb-wrijving

$$\begin{aligned}
 & 2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \left(\mu_1 - \frac{(\mu_1 - \mu_0)}{\alpha_0} \alpha \right) \left(\sigma_{ml} - \frac{(\sigma_{ml} - \sigma_f)}{\alpha_0} \alpha \right) \cos(\alpha) d\alpha \\
 & - 2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \left(\sigma_{ml} - \frac{(\sigma_{ml} - \sigma_f)}{\alpha_0} \alpha \right) \sin(\alpha) d\alpha - \sigma_0 b_0 h_0 + \sigma_1 b_0 h_1 = 0
 \end{aligned} \tag{19}$$

De oplossing van vergelijking (19) is:

$$\begin{aligned}
 & \frac{2 b_0 R (\mu_0 (\alpha_0^2 \sigma_f - 2 (\sigma_f - \sigma_{ml})) + 2 \mu_1 (\sigma_f - \sigma_{ml})) \sin(\alpha_0)}{\alpha_0^2} + \\
 & \frac{2 b_0 R (\mu_0 (2 \sigma_f - \sigma_{ml}) - \mu_1 \sigma_f) \cos(\alpha_0)}{\alpha_0} - \frac{2 b_0 R (\mu_0 \sigma_{ml} + \mu_1 (\sigma_f - 2 \sigma_{ml}))}{\alpha_0} \\
 & + 2 b_0 R \sigma_f \cos(\alpha_0) - \frac{2 b_0 R (\sigma_f - \sigma_{ml}) \sin(\alpha_0)}{\alpha_0} - 2 b_0 R \sigma_{ml} \\
 & - \sigma_0 b_0 h_0 + \sigma_1 b_0 h_1 = 0
 \end{aligned} \tag{20}$$

Hierbij is σ_0 de op te lossen parameter.

8.2.2 - Kritieke ingangstrek met lineaire von Mises-wrijving

$$\begin{aligned}
 & 2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \left(1 - \frac{(1 - m_0)}{\alpha_0} \alpha \right) \frac{\sigma_f}{\sqrt{3}} \cos(\alpha) d\alpha \\
 & - 2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \left(\sigma_{ml} - \frac{(\sigma_{ml} - \sigma_f)}{\alpha_0} \alpha \right) \sin(\alpha) d\alpha - \sigma_0 b_0 h_0 + \sigma_1 b_0 h_1 = 0
 \end{aligned} \tag{21}$$

Bijlage 8 - Uitwerkingen van de vergelijkingen

De oplossing van vergelijking (21) is:

$$\begin{aligned}
 & \frac{2 b_0 R \frac{\sigma_f}{\sqrt{3}} (m_0 - 1) \cos (\alpha_0)}{\alpha_0} + 2 b_0 R m_0 \frac{\sigma_f}{\sqrt{3}} \sin (\alpha_0) - \frac{2 b_0 R \frac{\sigma_f}{\sqrt{3}} (m_0 - 1)}{\alpha_0} \\
 & + 2 b_0 R \sigma_f \cos (\alpha_0) - \frac{2 b_0 R (\sigma_f - \sigma_{ml}) \sin (\alpha_0)}{\alpha_0} - 2 b_0 R \sigma_{ml} \\
 & - \sigma_0 b_0 h_0 + \sigma_1 b_0 h_1 = 0
 \end{aligned} \tag{22}$$

Hierbij is σ_0 de op te lossen parameter.

8.2.3- Kritieke reductie met lineaire Coulomb-wrijving

$$\begin{aligned}
 & 2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \left(\mu_1 - \frac{(\mu_1 - \mu_0)}{\alpha_0} \alpha \right) \left(\sigma_{ml} - \frac{(\sigma_{ml} - \sigma_f)}{\alpha_0} \alpha \right) \cos (\alpha) d\alpha \\
 & - 2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \left(\sigma_{ml} - \frac{(\sigma_{ml} - \sigma_f)}{\alpha_0} \alpha \right) \sin (\alpha) d\alpha - \sigma_0 b_0 h_0 + \sigma_1 b_0 h_1 = 0
 \end{aligned} \tag{23}$$

met:

$$\sigma_{ml} = 2 C \left(\frac{2}{\sqrt{3}} LN \frac{h_0}{h_1} + \bar{\epsilon}_0 \right)^n - \sigma_f \tag{24}$$

Vergelijking (23) in combinatie met (24) wordt numeriek door het programma slip.exe opgelost.

Bijlage 8 - Uitwerkingen van de vergelijkingen

8.2.4- Kritieke reductie met lineaire von Mises-wrijving

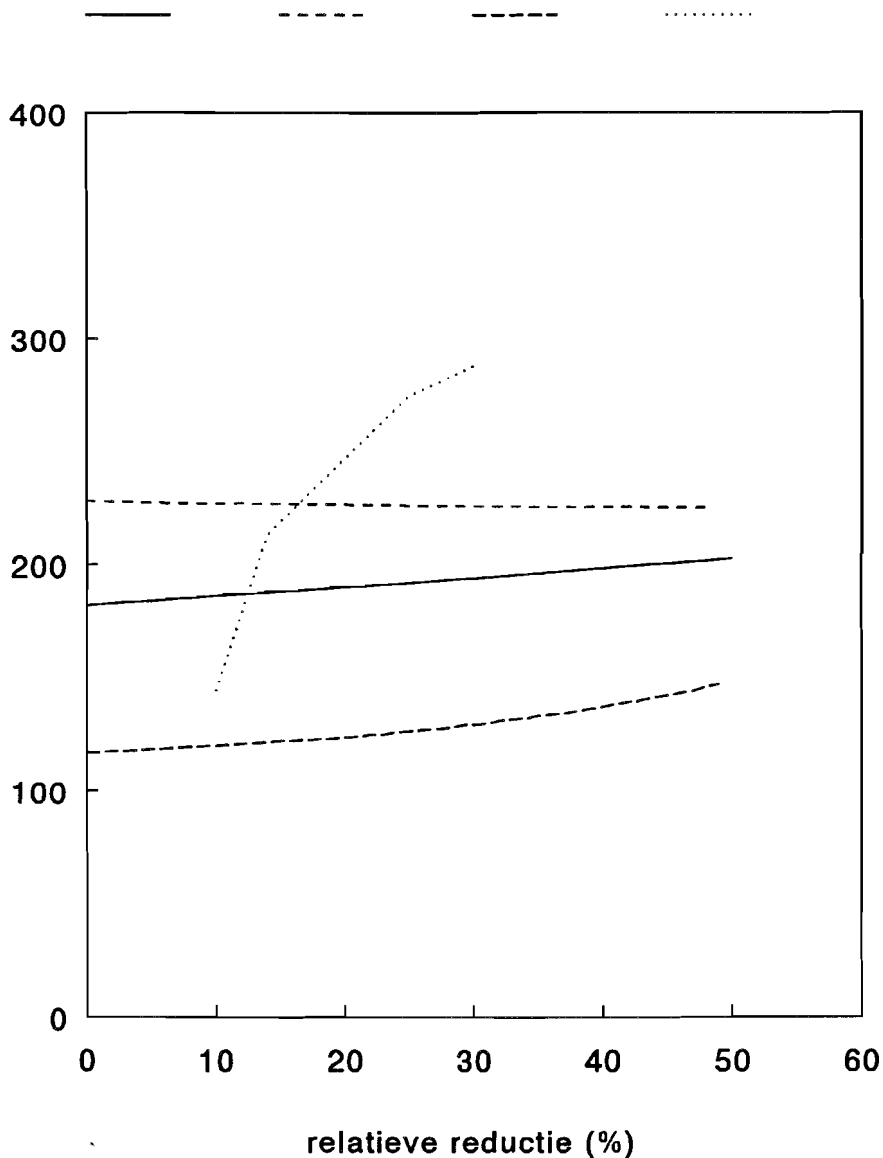
$$2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \left(1 - \frac{(1 - m_0)}{\alpha_0} \alpha \right) \frac{\sigma_f}{\sqrt{3}} \cos(\alpha) d\alpha$$
$$- 2 b_0 R \int_{\alpha=0}^{\alpha=\alpha_0} \left(\sigma_{ml} - \frac{(\sigma_{ml} - \sigma_f)}{\alpha_0} \alpha \right) \sin(\alpha) d\alpha - \sigma_0 b_0 h_0 + \sigma_1 b_0 h_1 = 0 \quad (25)$$

Vergelijking (25) in combinatie met (24) wordt numeriek door slip.exe opgelost.

Bijlage 9 - Berekeningsresultaten van het programma SLIP

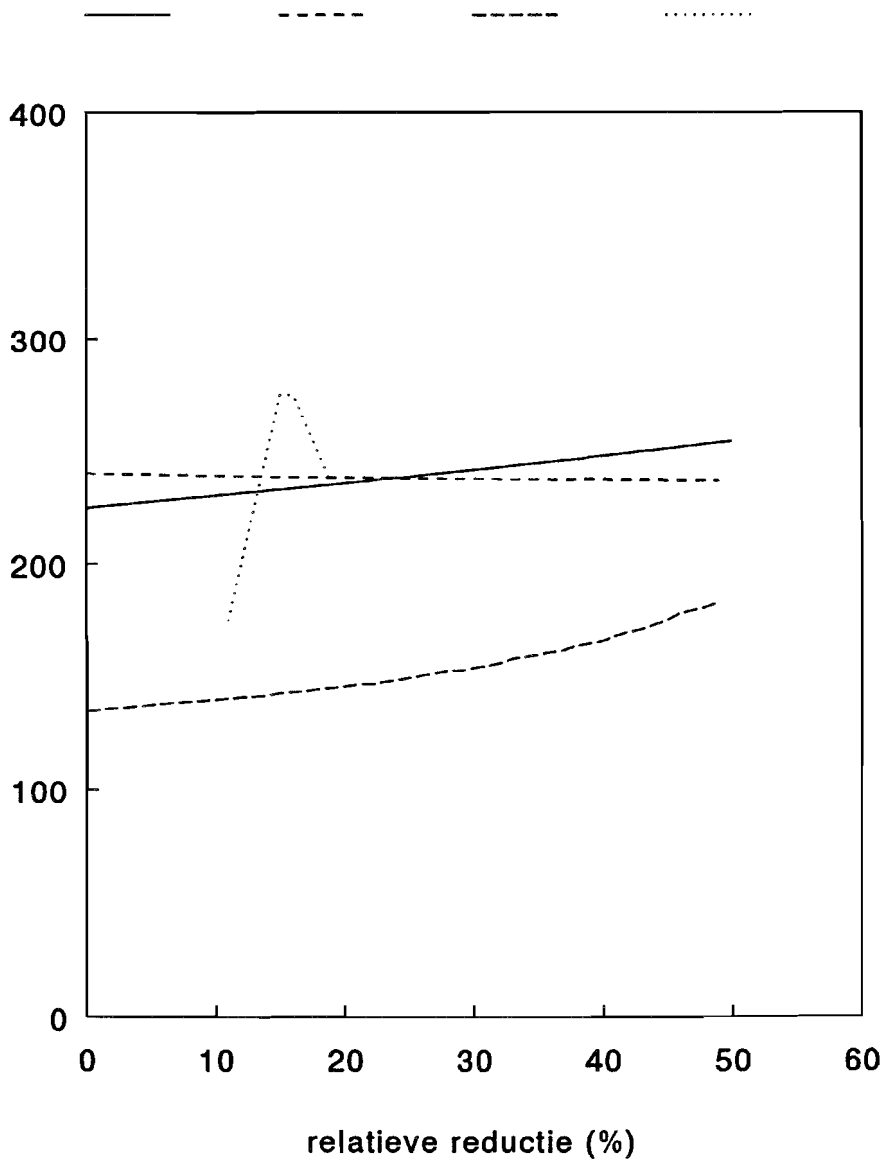
De resultaten van de berekeningen met het programma slip.exe, zoals die zijn weergegeven in sectie 5.2.1 van het verslag, zijn hieronder afgebeeld. In deze figuren zijn tevens de meetresultaten afgebeeld.

Kritieke ingangstrek 1.5 mm.



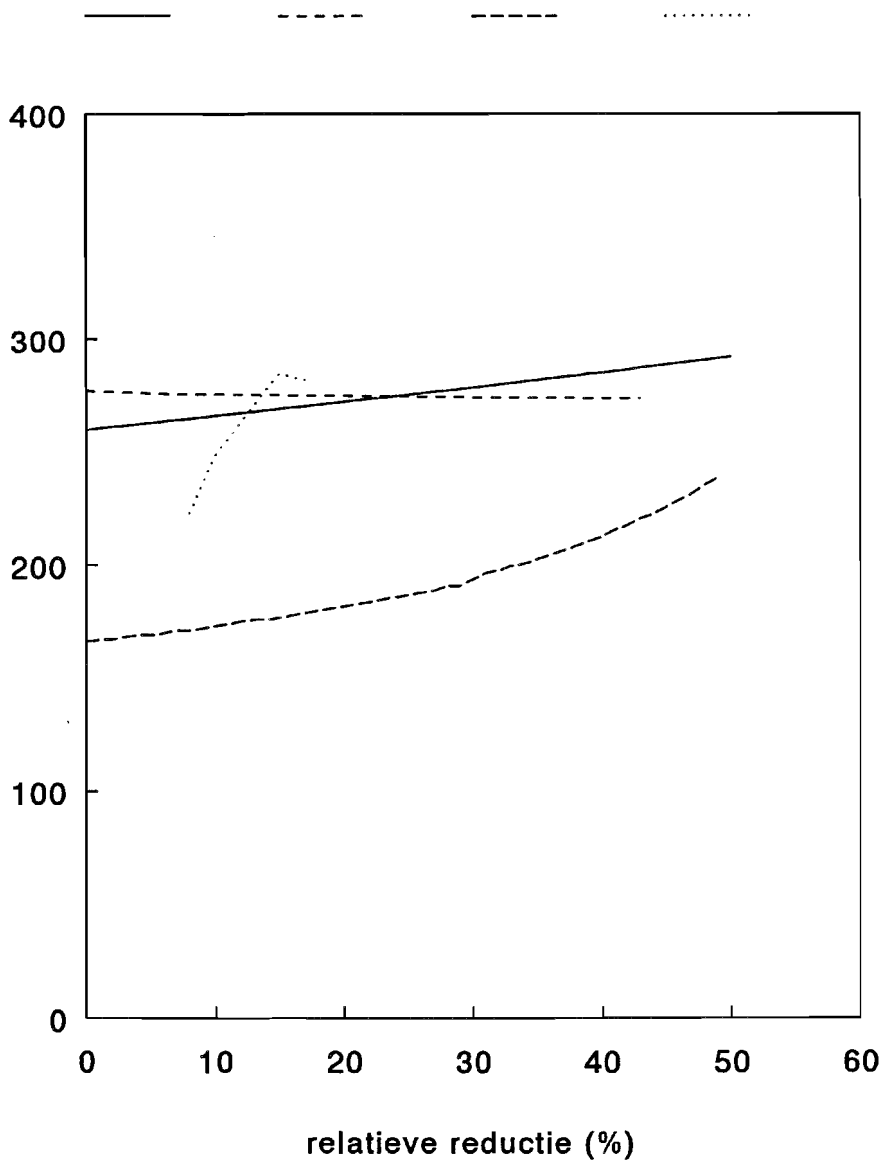
Figuur 7 - Berekeningsresultaten en meetwaarden van 1.5 mm. plaat

Kritieke ingangstrek 1.0 mm.



Figuur 8 - Berekeningsresultaten en meetwaarden van 1.0 mm. plaat

Kritieke ingangstrek 0.75 mm.



Figuur 9 - Berekeningsresultaten en meetwaarden van 0.75 mm. plaat

Bijlage 10 - Het programma SLIP

In het programma `slip.exe` is de theorie van de slip bij plaatwalsen vertaald in rekencycli. Het programma is geschreven in FORTRAN, en is gecompileerd met een FORTRAN compiler versie 5.1 van MicroSoft.

Aanpassingen aan `slip.exe` kunnen gebeuren door aanpassen en opnieuw compileren van de file `slip.for`.

In het programma `slip.exe` zijn alle berekeningen uit bijlage 8 opgenomen. Voordat de berekeningen worden uitgevoerd moeten eerst een aantal waarden voor parameters worden ingegeven.

Alle ingegeven waarden en berekeningsresultaten worden weggeschreven naar een file `invoer.dat`. Deze file wordt bij het opnieuw gebruiken van het programma overschreven.

Op de volgende pagina's staat het programma `slip.for`.

Bijlage 10 - Het programma SLIP

```
COMMON /COM1/ HA,HB,HC,NA,NB,E,XA,C,VA,VB,B,PDEF,R,A,F,SNUL,
. SMAX,MMIN,MMAX,SIGI,SIGU,PFR,PFRA,PFRB,TA,TB,TC,TD,TE,TF,TG,TH,
. TI,TJ,TK,TL,TM,TN,TTOT,AA,FF,FY,FZ,MVM,MUN
REAL HA,HB,HC,NA,NB,E,XA,C,VA,VB,B,PDEF,R,A,F,SNUL,SMAX,MMIN,MMAX,
. SIGI,SIGU,PFR,PFRA,PFRB,TA,TB,TC,TD,TE,TF,TG,TH,TI,TJ,TK,TL,TM,
. TN,TTOT,AA,FF,FY,FZ,MVM,M,MUN
CHARACTER*1 IA,SY
INTEGER*1 SA,SC,SX,SW,SZ,SV,SR,ST,SK,SG
DATA PI /3.141592654/
DATA EE /2.718281828/
DATA XXZY /0/
DATA XXZZ /0/
PRINT *, 'SLIP'
PRINT *, ' '
PRINT *, 'Dit programma is eigendom van:'
PRINT *, 'HOOGOVENS IJMUIDEN, afdeling RL-MIR-BOA'
PRINT *, ' '
PRINT *, 'Dit programma berekent het procesvermogen voor warm- en
.koudwalsen'
PRINT *, 'van staal en aluminium.'
PRINT *, 'Het bepaalt tevens de condities waaronder grote slip opt
.reedt'
PRINT *, 'tussen walsrollen en plaatmateriaal.'
OPEN(UNIT=10,FILE='INVOER.DAT',STATUS='OLD')
WRITE (10,490) 'Deze file bevat de invoergegevens van het programm
.a SLIP.exe'
490 FORMAT(A60)
WRITE (10,491) ' '
491 FORMAT(A1)
C
C BEREKENING VAN HET PROCESDEFORMATIEVERMOGEN
C
PRINT *, ' '
PRINT *, ' '
990 PRINT *, 'Berekening van het procesdeformatievermogen'
PRINT *, ' '
PRINT *, 'NIVEAU 1 - ingeven geometrische, kinematische en materia
.alkundige parameters'
PRINT *, ' '
PRINT *, 'Geef getalwaarden voor de volgende parameters:'
PRINT *, '(N.B. ALTIJD een decimale punt ingeven!)'
PRINT *, 'Intreedikte van de plaat (h0,[mm]):'
READ(*,1) HA
1 FORMAT(F8.4)
WRITE(*,2) HA
2 FORMAT(' ',F8.4)
WRITE(10,500) HA
500 FORMAT(' ','ingangsdikte [mm] = ',F8.4)
PRINT *, 'Uittreedikte van de plaat (h1,[mm]):'
READ(*,3) HB
3 FORMAT(F8.4)
WRITE(*,4) HB
4 FORMAT(' ',F8.4)
WRITE(10,501) HB
501 FORMAT(' ','uitgangsdikte [mm] = ',F8.4)
HC=DLOG((HA)/(HB))
PRINT *, 'De verstevigingsexponent (n,[-]):'
READ(*,5) NA
5 FORMAT(F6.4)
WRITE(*,6) NA
6 FORMAT(' ',F6.4)
WRITE(10,502) NA
502 FORMAT(' ','verstevigingsexponent [-] = ',F6.4)
```

Bijlage 10 - Het programma SLIP

```
NB=NA+1
PRINT *, 'Voordeformatie van het materiaal ( $\epsilon_0$ , [-]):'
READ(*,7) E
7   FORMAT(F6.4)
   WRITE(*,8) E
8   FORMAT(' ',F6.4)
   WRITE(10,503) E
503 FORMAT(' ', 'voordeformatie [-] = ',F6.4)
   XA=((1.154700538*HC+E)**(NB))-((E)**(NB))
   PRINT *, 'Specifieke spanning (C, [N/mm2):'
   READ(*,9) C
9   FORMAT(F8.3)
   WRITE(*,10) C
10  FORMAT(' ',F8.3)
   WRITE(10,504) C
504 FORMAT(' ', 'specifieke spanning [N/mm2] = ',F8.3)
   PRINT *, 'De intreesnelheid van het materiaal ( $v_0$ , [m/s]):'
   READ(*,11) VA
11  FORMAT(F8.3)
   WRITE(*,12) VA
12  FORMAT(' ',F8.3)
   WRITE(10,505) VA
505 FORMAT(' ', 'intreesnelheid [m/s] = ',F8.3)
   VB=VA*(HA/HB)
   WRITE(*,13) VB
13  FORMAT(' ', 'De uittreesnelheid van het materiaal bedraagt ',F8.3,'
. [m/s]')
   WRITE(10,506) VB
506 FORMAT(' ', 'uittreesnelheid [m/s] = ',F8.3)
   PRINT *, 'De breedte van de plaat (b, [mm]):'
   READ(*,14) B
14  FORMAT(F8.3)
   WRITE(*,15) B
15  FORMAT(' ',F8.3)
   WRITE(10,507) B
507 FORMAT(' ', 'plaatbreedte [mm] = ',F8.3)
   PDEF=((C*VB*B*HB*XA)/(NB))/1000
   WRITE(*,16) PDEF
16  FORMAT(' ', 'Het deformatievermogen bedraagt ',F10.3,' [kW]')
   WRITE(10,508) PDEF
508 FORMAT(' ', 'deformatievermogen [kW] = ',F10.3)
   PRINT *, 'Geef de radius van de walsrollen (R, [mm]):'
   READ(*,17) R
17  FORMAT(F8.3)
   WRITE(*,18) R
18  FORMAT(' ',F8.3)
   WRITE(10,509) R
509 FORMAT(' ', 'walrolradius [mm] = ',F8.3)
   A=ACOS(1-((HA-HB)/(2*R)))
   AA=57.29577951*A
   WRITE(*,19) AA
19  FORMAT(' ', 'De contacthoek is ',F10.6,' graden')
   WRITE(10,510) AA
510 FORMAT(' ', 'contacthoek [graden] = ',F10.6)
   PRINT *, 'Geef de hoekfrequentie van de walsrollen ( $w$ , [rad/s]):'
   READ(*,20) W
20  FORMAT(F8.3)
   WRITE(*,21) W
21  FORMAT(' ',F8.3)
   WRITE(10,511) W
511 FORMAT(' ', 'walsrolhoekfrequentie [rad/s] = ',F8.3)
   FF=ACOS(((HB+2*R)+SQRT(((HB+2*R)**2)-(8*R*VB*HB/(R*W/1000)))))/(4*R
.))
```

Bijlage 10 - Het programma SLIP

```
FZ=FF*57.29577951
WRITE(*,22) FZ
22  FORMAT(' ','De hoek van het neutrale vlak is ',F8.6,' graden')
WRITE(10,512) FZ
512 FORMAT(' ','hoek van het neutrale vlak [graden] = ',F8.6)
FY=100*FZ/AA
WRITE(*,23) FY
23  FORMAT(' ','Dit is ',F8.3,' procent van de contacthoek')
PRINT *, ''
C
C  BEREKENING VAN HET PROCESWRIJVINGSVERMOGEN
C
24  PRINT *, 'Berekening van het proceswrijvingsvermogen'
PRINT *, ''
PRINT *, 'NIVEAU 2 - keuze van een wrijvingsmodel'
PRINT *, ''
PRINT *, 'Kies een wrijvingsmodel: Coulomb (1) of von Mises (2).'\sigma_f, [N/mm2])
.:'
READ(*,41) SNUL
41  FORMAT(F8.3)
WRITE(*,42) SNUL
42  FORMAT(' ',F8.3)
WRITE(10,515) SNUL
515 FORMAT(' ','initiële vloeispanning [N/mm2] = ',F8.3)
MVM=SNUL/(SQRT(3))
981 PRINT *, 'Wilt u terug naar een ander niveau? (Y/N)'
READ(*,982) SY
982 FORMAT(A1)
```

Bijlage 10 - Het programma SLIP

```
IF (SY.EQ.'Y'.OR.SY.EQ.'y') THEN
  GO TO 983
ELSE
  GO TO 43
END IF
983 PRINT *, 'Wilt u terug naar niveau 1 (1) of niveau 2 (2)?'
PRINT *, 'Type het nummer van het gewenste niveau in.'
READ(*,984) SX
984 FORMAT(I1)
IF (SX.EQ.1) THEN
  GO TO 990
END IF
IF (SX.EQ.2) THEN
  GO TO 24
ELSE
  GO TO 43
END IF
C BEREKENING VAN DE WALSKRACHT EN DE TOP VAN DE DRUKBERG
C
43 PRINT *, 'Berekening van de walskracht en de top van de drukberg'
PRINT *, ' '
PRINT *, 'NIVEAU 3 - walskracht, drukberg en wrijvingsvermogen'
PRINT *, ' '
PRINT *, 'De walskracht is de integraal van de drukberg.'
FFF=(C*(2/SQRT(3))*HC+E)**(NA))*B*R*A
F=FFF/1000
WRITE(*,50) F
50 FORMAT(' ', 'De walskracht bedraagt ',F10.3,' [kN]')
WRITE(10,516) F
516 FORMAT(' ', 'walskracht [N] = ',F10.3)
IF (SC.EQ.2) THEN
  GO TO 53
END IF
PRINT *, 'De drukberg wordt verondersteld lineair te zijn.'
PRINT *, 'Geef getalwaarden voor de volgende parameters:'
PRINT *, '(N.B. ALTIJD een decimale punt ingeven!)'
PRINT *, 'De initiële vloeigrens ( $\sigma_0$ , [N/mm2]):'
READ(*,51) SNUL
51 FORMAT(F8.3)
WRITE(*,52) SNUL
52 FORMAT(' ',F8.3)
53 SMAX=((2000*F)/(R*B*A))-SNUL
WRITE(*,54) SMAX
54 FORMAT(' ', 'Het maximum van de drukberg is ',F10.3,' [N/mm2]')
WRITE(10,517) SMAX
517 FORMAT(' ', 'maximum van de drukberg [N/mm2] = ',F10.3)
C
PFRA=-(PI*B*(FF**2)*R*(VA-VB)*(MMIN*(3*SNUL+SMAX)+MMAX*(SNUL+SMAX)
.))/ (2160*AA)
PFRB=-(PI*B*R*(VA-VB)*(MMIN*(3*SNUL+SMAX)+MMAX*(SNUL+SMAX))*( (FF**
.2)-2*FF*AA+(AA**2)))/ (2160*AA)
PFR=(PFRA+PFRB)/1000
WRITE(*,55) PFR
55 FORMAT(' ', 'Het wrijvingsvermogen bedraagt ',F10.3,' [kW]')
WRITE(10,518) PFR
518 FORMAT(' ', 'wrijvingsvermogen [kW] = ',F10.3)
PTOT=PDEF+PFR
PRINT *, 'Het totale procesvermogen is de som van het deformatieve
.rmogen en het'
PRINT *, 'wrijvingsvermogen.'
WRITE(*,57) PTOT
57 FORMAT(' ', 'Het totale procesvermogen bedraagt ',F10.3,' [kW]')
WRITE(10,519) PTOT
```

Bijlage 10 - Het programma SLIP

```
519  FORMAT(' ','totale procesvermogen [kW] = 'F10.3)
      PRINT *, ' '
C
C      GO TO 500
C
C  INGEVEN VAN DE VARIABELE DIE BEPAALD MOET WORDEN
C
986  PRINT *, 'NIVEAU 4 - ingeven van de te bepalen variabele'
      PRINT *, ' '
      PRINT *, 'Er is nu een vergelijking beschikbaar die nog een aantal
. variabelen bevat.'
      PRINT *, 'U kunt kiezen welke variabele u wilt bepalen.'
      PRINT *, 'Vervolgens moet u waarden ingeven voor de resterende var
. iabelen.'
      PRINT *, 'De te bepalen variabele kan zijn:'
      PRINT *, 'de kritieke reductie (1),'
      PRINT *, 'de ingangstrek (2).'
70   PRINT *, 'Type een 1 of een 2 in.'
      READ(*,71) SA
71   FORMAT(I1)
      IF (SA.EQ.1) THEN
          GOTO 700
      END IF
      IF (SA.EQ.2) THEN
          GOTO 800
      ELSE
          GOTO 70
      END IF
C
C  BEREKENING VAN DE KRITIEKE REDUCTIE MET COULOMBSE WRIJVING
C
700  PRINT *, 'Wilt u rekenen met een Coulomb - (1) of een von Mises wr
. ijevingsmodel (2) ?'
      READ(*,701) SK
701  FORMAT(I1)
      IF (SK.EQ.1) THEN
          GO TO 710
      END IF
      IF (SK.EQ.2) THEN
          GO TO 750
      ELSE
          GO TO 700
      END IF
710  PRINT *, 'U kunt rekenen met ingangs- en/of uitgangstrek.'
      PRINT *, ' '
711  PRINT *, 'Geef de waarde van de ingangstrek ( $\sigma_{in}$ , [N/mm2]):'
      READ(*,712) SIGI
712  FORMAT(F8.3)
      WRITE(*,713) SIGI
713  FORMAT(' ',F8.3)
      WRITE(10,520) SIGI
520  FORMAT(' ','ingangstrek [N/mm2] = ',F8.3)
      PRINT *, 'Geef de waarde van de uitgangstrek ( $\sigma_{uit}$ , [N/mm2]):'
      READ(*,714) SIGU
714  FORMAT(F8.3)
      WRITE(*,715) SIGU
715  FORMAT(' ',F8.3)
      WRITE(10,521) SIGU
521  FORMAT(' ','uitgangstrek [N/mm2] = ',F8.3)
      PRINT *, 'Het neutrale punt ligt aan de uitgangszijde.'
      PRINT *, 'De minimale uitgangsdikte wordt iteratief bepaald.'
      PRINT *, 'Dit kan enige tijd duren.'
      PRINT *, ' '

```

Bijlage 10 - Het programma SLIP

```
E=(SNUL/C)**(NA)
SIGU=WWC
DO 717 CCC=1,500
  HX=CCC*HA/500
  SMAX=2*C*((2/SQRT(3))*DLOG(HA/HX)+E)**(NA)-SNUL
  XXA=(B*R*(MMIN*(2*SNUL-SMAX)-MMAX*SNUL)*COS(A))/A
  XXB=(B*R*(MMIN*((A**2)*SNUL-2*(SNUL-SMAX))+2*MMAX*(SNUL-SMAX))*
.SIN(A))/(A**2)
  XXC=-B*R*(MMIN*SMAX+MMAX*(SNUL-2*SMAX))/A
  XXD=(-B*R*SNUL*COS(A))+((B*R*(SNUL-SMAX)*SIN(A))/A)+B*R*SMAX
  XXE=2*(XXA+XXB+XXC)-2*XXD+SIGU*B*HB-SIGI*B*HA
  XXF=XXA+XXB+XXC
  PRINT *, XXF
  PRINT *, XXD
  PRINT *, XXE
  IF (XXE.GT.0) THEN
    GO TO 716
  END IF
717 CONTINUE
C 716 XXL=(1-(1/(HA/HX)))*100
  WRITE(*,718) XXL
718 FORMAT(' ', 'De kritieke relatieve reductie is ',F8.3,' %')
  WRITE(10,522) XXL
522 FORMAT(' ', 'kritiekerelatieve reductie [%] = ',F8.3)
  PRINT *, 'Met de opgegeven ingangsdikte betekent dit dat de minima
.le uitgangsdikte'
  XXM=HA*(1-(XXL/100))
  WRITE(*,719) XXM
719 FORMAT(' ',F8.3,' [mm] bedraagt.')
  WRITE(10,523) XXM
523 FORMAT(' ', 'minimale uitgangsdikte [mm] = ',F8.3)
  PRINT *, ''
  GO TO 443
C
C BEREKENING VAN DE KRITIEKE REDUCTIE MET VON MISES' WRIJVING
C
750 PRINT *, 'U kunt rekenen met ingangs- en /of uitgangstrek.'
  PRINT *, ''
  PRINT *, 'Geef de waarde van de ingangstrek (oin, [N/mm^2]):'
  READ(*,751) SIGI
751 FORMAT(F8.3)
  WRITE(*,752) SIGI
752 FORMAT(' ',F8.3)
  WRITE(10,524) SIGI
524 FORMAT(' ', 'ingangstrek [N/mm^2] = ',F8.3)
  PRINT *, 'Geef de waarde van de uitgangstrek (oout, [N/mm^2]):'
  READ(*,753) SIGU
753 FORMAT(F8.3)
  WRITE(*,754) SIGU
754 FORMAT(' ',F8.3)
  WRITE(10,525) SIGU
525 FORMAT(' ', 'uitgangstrek [N/mm^2] = ',F8.3)
  PRINT *, 'Het neutrale punt ligt aan de uitgangszijde.'
  PRINT *, 'Geef de waarde voor de m factor in de ingangsdorsnede:'
  READ(*,755) M
755 FORMAT(F6.4)
  WRITE(*,756) M
756 FORMAT(F6.4)
  WRITE(10,526) M
526 FORMAT(' ', 'Von Mises factor in ingangsdorsnede [-] = 'F6.4)
  PRINT *, ''
  PRINT *, 'De kritieke reductie wordt iteratief bepaald.'
  PRINT *, 'Dit kan enige tijd duren.'
```

Bijlage 10 - Het programma SLIP

```
PRINT *, ' '
DO 757 CCC=1,1000
HX=CCC*HA/1000
T=(2*C*((2/SQRT(3))*DLOG(HA/HX)+E)**(NA))-SNUL
XXA=((SQRT(3))*B*R*SNUL*(M-1)*COS(A))/(3*A)
XXB=((SQRT(3))*B*M*R*SNUL*SIN(A))/3
XXC=-((SQRT(3))*B*R*SNUL*(M-1))/(3*A)
XXD=(XXA+XXB+XXC)
XXE=-B*R*SNUL*COS(A)+((B*R*(SNUL-T)*SIN(A))/A)+B*R*T
XXF=SIGI*HA*B
XXG=SIGU*HB*B
XXH=XXD-XXE-XXF+XXG
IF (XXH.GT.0.05) THEN
GO TO 758
END IF
757 CONTINUE
PRINT *, 'Er is geen oplossing gevonden.'
GO TO 999
C 758 XXL=(1-(1/(HA/HX)))*100
WRITE(*,759) XXL
759 FORMAT(' ', 'De kritieke relatieve reductie is ',F8.3,' %')
WRITE(10,527) XXL
527 FORMAT(' ', 'kritieke relatieve reductie [%] = ',F8.3)
PRINT *, 'Met de opgegeven ingangsdikte betekent dit dat de minima
.le uitgangsdikte'
XXM=HA*(1-(XXL/100))
WRITE(*,760) XXM
760 FORMAT(' ',F8.3,' bedraagt. ')
WRITE(10,528) XXM
528 FORMAT(' ', 'minimale uitgangsdikte [mm] = ',F8.3)
PRINT *, ' '
C
C
C BEREKENING VAN DE INGANGSTREK MET COULOMB-WRIJVING
C
800 PRINT*, 'Wilt u rekenen met het lineaire- (1) of exponentiële (2)
.drukbergmodel?'
PRINT *, 'Type een 1 of een 2 in.'
READ(*,870) SG
870 FORMAT(I1)
IF (SG.EQ.2) THEN
GO TO 872
END IF
IF (SG.EQ.1) THEN
IF (SC.EQ.1) THEN
GO TO 801
END IF
IF (SC.EQ.2) THEN
GO TO 850
ELSE
GO TO 999
END IF
END IF
801 PRINT *, 'Bij het doorslippen van de walsrollen ligt het neutrale
.vlak'
PRINT *, 'in de uitgangsdorsnede.'
E=(SNUL/C)**(NA)
HB=HA*(1-WW/100)
HC=DLOG(HA/HB)
F=((C*((2/SQRT(3))*HC+E)**(NA))+SNUL)*B*R*A/2
SMAX=((2*F)/(R*B*A))-SNUL
TA=(B*R*(MMIN*(2*SNUL-SMAX)-MMAX*SNUL)*COS(A))/A
TB=(B*R*(MMIN*((A**2)*SNUL-2*(SNUL-SMAX))+2*MMAX*(SNUL-SMAX))*SIN(
```

Bijlage 10 - Het programma SLIP

```

.A))/(A**2)
TC=(-B*R*(MMIN*SMA+MMAX*(SNUL-2*SMA)))/A
TD=B*R*SNUL*COS(A)+(B*R*(SMA-SNUL)*SIN(A))/A-B*R*SMA
TAA=TA+TB+TC
TTOT=2*TAA+2*TD
SIGI=TTOT/(HA*B)
RED=100*(1-(HB/HA))
WRITE(*,808) TAA
808 FORMAT(' ','De wrijvingskracht in de zone (0,phi) bedraagt ',F12.3
.,' [N]')
WRITE(*,809) TD
809 FORMAT(' ','De normaalkracht in de zone (0,phi) bedraagt ',F12.3,'
. [N]')
PRINT *, 'Geef de waarde van de uitgangstrek (suit, [N/mm^2]):'
READ(*,810) SIGU
810 FORMAT(F8.3)
WRITE(*,811) SIGU
811 FORMAT(' ',F8.3)
TTOT=2*TAA+2*TD+SIGU*HB*B
WRITE(*,812) TTOT
812 FORMAT(' ','De resulterende kracht bedraagt ',F12.3,' [N]')
SIGI=TTOT/(HA*B)
WRITE(*,813) SIGI
813 FORMAT(' ','De ingangstrek waarbij slip optreedt bedraagt ',F8.3,'
. [N/mm^2]')
C
C BEREKENING VAN DE INGANGSTREK MET HET VON MISES WRIJVINGSMODEL
C
C
850 PRINT *, 'Bij het doorslippen van de walsrollen ligt het neutrale
.vlak'
PRINT *, 'in de uitgangsdoorsnede.'
PRINT *, 'Geef de waarde van de m-factor in de ingangsdoorsnede:'
READ(*,890) M
890 FORMAT(F6.4)
WRITE(*,891) M
891 FORMAT(' ',F6.4)
E=(SNUL/C)**(NA)
HB=HA*(1-WW/100)
HC=DLOG(HA/HB)
F=((C*((2/SQRT(3))*HC+E)**(NA))+SNUL)*B*R*A/2
SMA=((2*F)/(R*B*A))-SNUL
TA=B*R*SNUL*(M-1)*COS(A)/((SQRT(3))*A)
TB=B*M*R*SNUL*SIN(A)/(SQRT(3))
TC=-B*R*SNUL*(M-1)/((SQRT(3))*A)
TD=B*R*SNUL*COS(A)+(B*R*(SMA-SNUL)*SIN(A))/A-B*R*SMA
TAA=TA+TB+TC
WRITE(*,857) TAA
857 FORMAT(' ','De wrijvingskracht in de zone (0,phi) bedraagt ',F12.3
.,' [N]')
WRITE(*,858) TD
858 FORMAT(' ','De normaalkracht in de zone (0,phi) bedraagt ',F12.3,'
. [N]')
PRINT *, 'Geef de waarde van de uitgangstrek (suit, [N/mm^2]):'
READ(*,859) SIGU
859 FORMAT(F8.3)
WRITE(*,860) SIGU
860 FORMAT(' ',F8.3)
TTOT=2*TAA+2*TD+SIGU*HB*B
WRITE(*,861) TTOT
861 FORMAT(' ','De resulterende kracht bedraagt ',F12.3,' [N]')
SIGI=TTOT/(HA*B)
WRITE(*,862) SIGI

```


Bijlage 10 - Het programma SLIP

```
862 FORMAT(' ', 'De ingangstrek waarbij slip optreedt bedraagt ', F8.3, '
. [N]')
WRITE(10,530) SIGI
530 FORMAT(' ', 'ingangstrek waarbij slip optreedt [N/mm^2] = ', F8.3)
GO TO 444
872 PRINT *, 'Berekening van de kritieke ingangstrek met de exponentiël
.e drukberg.'
PRINT *, 'Geef de waarde voor de gemiddelde Coulomb-wrijvingscoëff
.iciënt:'
READ(*,873) MUN
873 FORMAT(F6.4)
WRITE(*,874) MUN
874 FORMAT(' ', F6.4)
PRINT *, 'Geef de waarde voor de uitgangstrek (suit, [N/mm^2]):'
READ(*,875) SIGU
875 FORMAT(F8.3)
WRITE(*,876) SIGU
876 FORMAT(' ', F8.3)
AAA=A
XXA=-4*MUN*R*ATAN(((SQRT(HB+4*R))*SIN(AAA))/((SQRT(HB))*(1+COS(
.AAA))))
XXB=(SQRT(HB))*(SQRT(HB+4*R))
XXC=-2*R*(DLOG(1/(2*R+HB-2*R*COS(AAA)))+DLOG(COS(AAA)))/(HB+2*R
.)
XXD=XXC+(XXA/XXB)
XXE=(EE)**(XXD)
CCC=(SNUL*COS(A))/XXE
DO 877 WWB=1,100
AAA=WWB*A/100
XXA=-4*MUN*R*ATAN(((SQRT(HB+4*R))*SIN(AAA))/((SQRT(HB))*(1+C
.OS(AAA))))
XXB=(SQRT(HB))*(SQRT(HB+4*R))
XXC=-2*R*(DLOG(1/(2*R+HB-2*R*COS(AAA)))+DLOG(COS(AAA)))/(HB+
.2*R)
XXD=XXC+(XXA/XXB)
XXE=(2*B*R*MUN*CCC*((EE)**(XXD)))*A/100
XXF=(2*B*R*CCC*(TAN(AAA))*((EE)**(XXD)))*A/100
XXZZ=XXZZ+XXE
XXZY=XXZY+XXF
877 CONTINUE
SIGI=(XXZZ-XXZY+SIGU*B*HB)/(HA*B)
C
999 PRINT *, 'Wilt u stoppen (Y/N) ?'
READ(*,998) IA
998 FORMAT(A1)
IF (IA.EQ.'Y'.OR.IA.EQ.'y') THEN
GOTO 997
END IF
IF (IA.EQ.'N'.OR.IA.EQ.'n') THEN
GOTO 990
ELSE
GOTO 999
END IF
WRITE (10,492) ' '
492 FORMAT(A1)
997 WRITE(10,493) '- end of file -'
493 FORMAT(A15)
STOP
END
```

Bijlage 11 - De proefopstelling

De proefopstelling, waarmee slip tussen de walsrollen en de plaat is afgedwongen, is een klein walstuig. Aan het frame van het walstuig is een ander frame bevestigd, waaraan een luchtcilinder met een grijper is bevestigd. De luchtcilinder heeft een diameter van 250 mm., een slag van 800 mm. en een maximaal toelaatbare druk van 10 bar. De cilinder kan op voordruk worden ingesteld.

In de grijper, die bevestigd is aan de zuiger van de cilinder, is de proefstrook staal bevestigd. De strook wordt ingevoerd in de walsspleet. De walsspleethoogte wordt van te voren ingesteld. Als de walsrollen worden aangedreven bouwt de cilinder geleidelijk aan een terugtrekkende kracht op. Deze kracht is in de beginsituatie gelijk aan de voordruk in de cilinder, vermenigvuldigd met het oppervlak van de cilinder. De terugtrekkende kracht wordt opgebouwd totdat macroslip optreedt tussen de walsrollen en de plaat. Op dat moment wordt de proef gestopt.

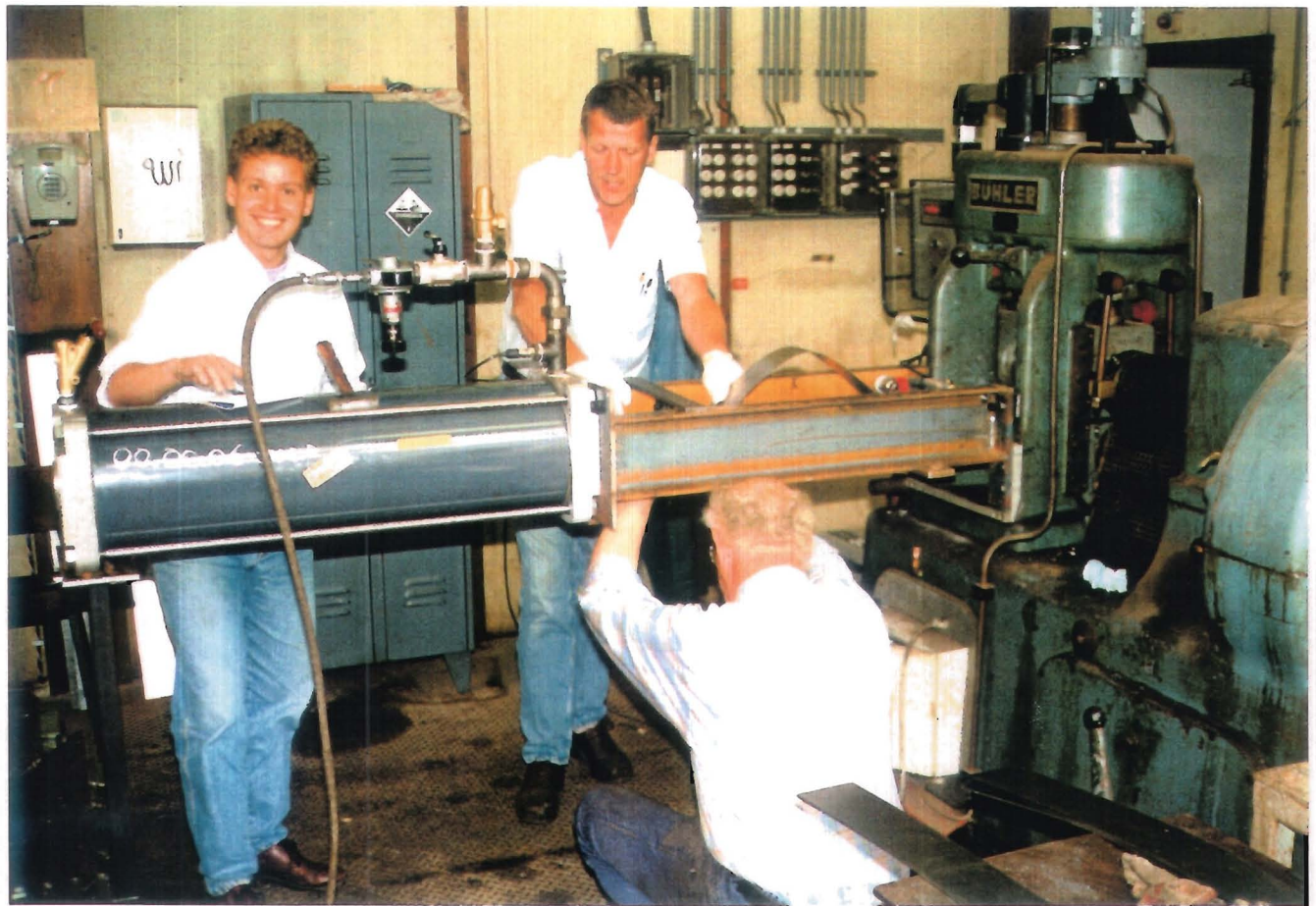
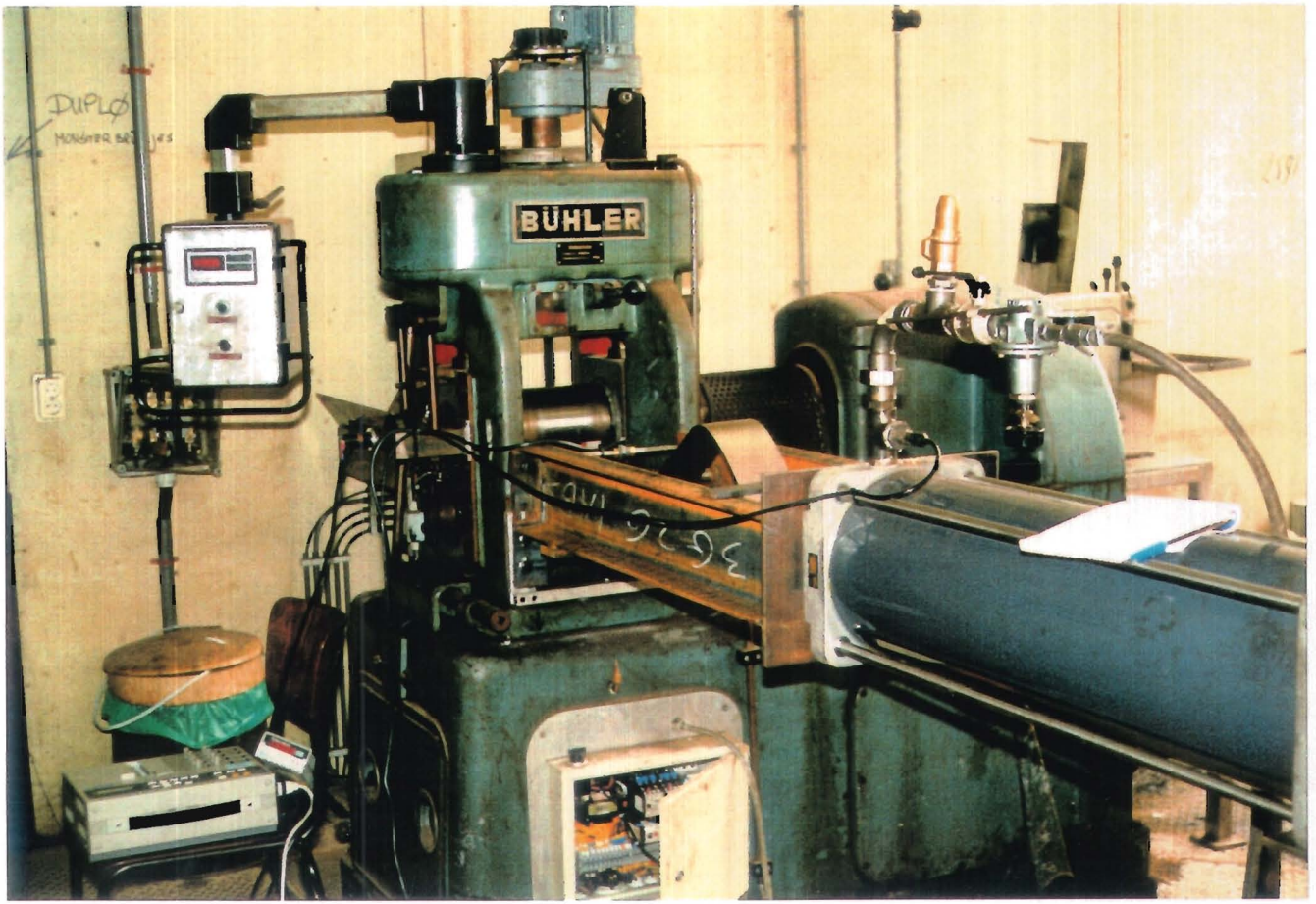
Op de walsrollen en op het frame zijn tachogeneratoren bevestigd die de hoekfrequentie van de walsrollen en de snelheid van de plaat vóór het intreden in de walsspleet meten.

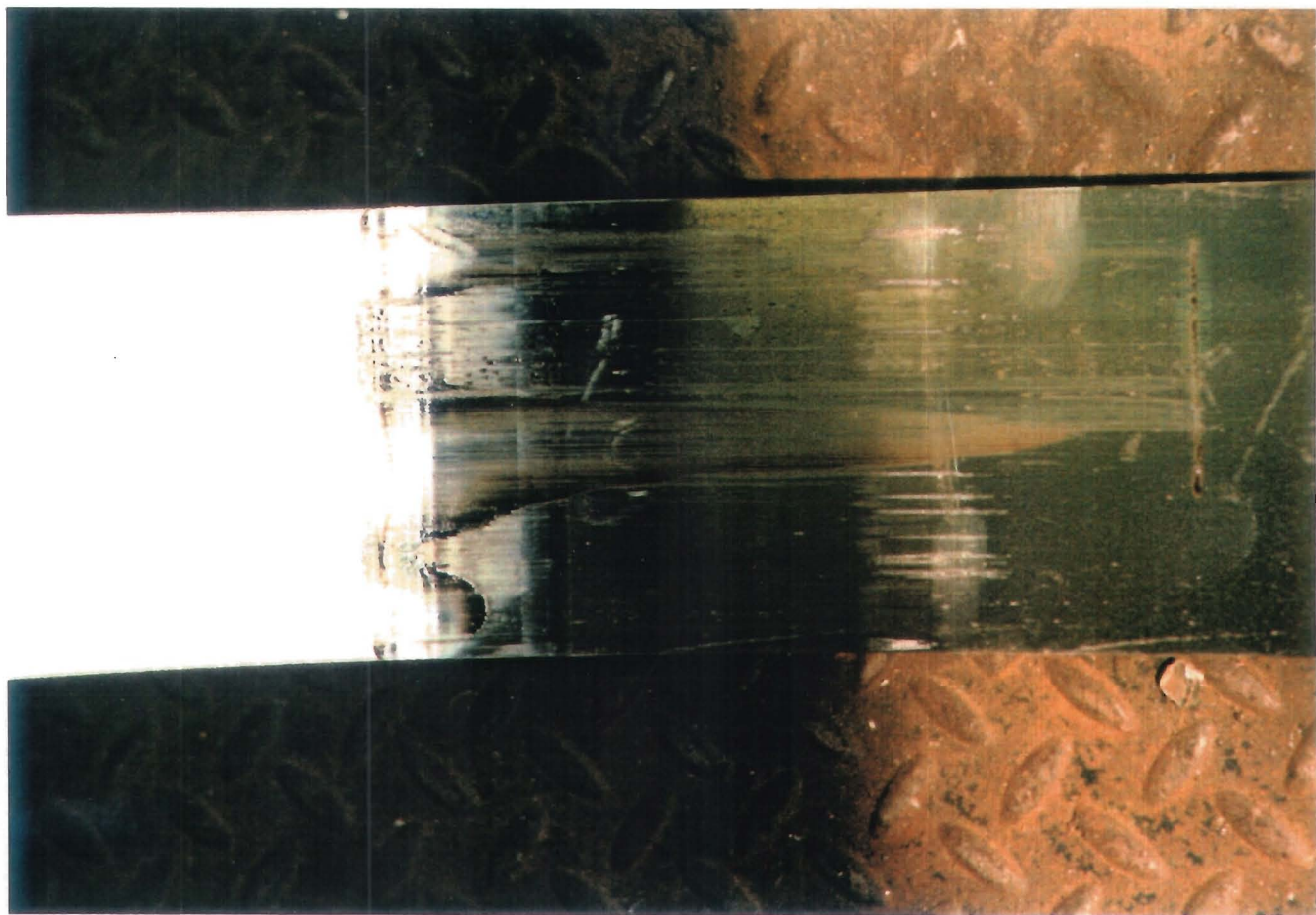
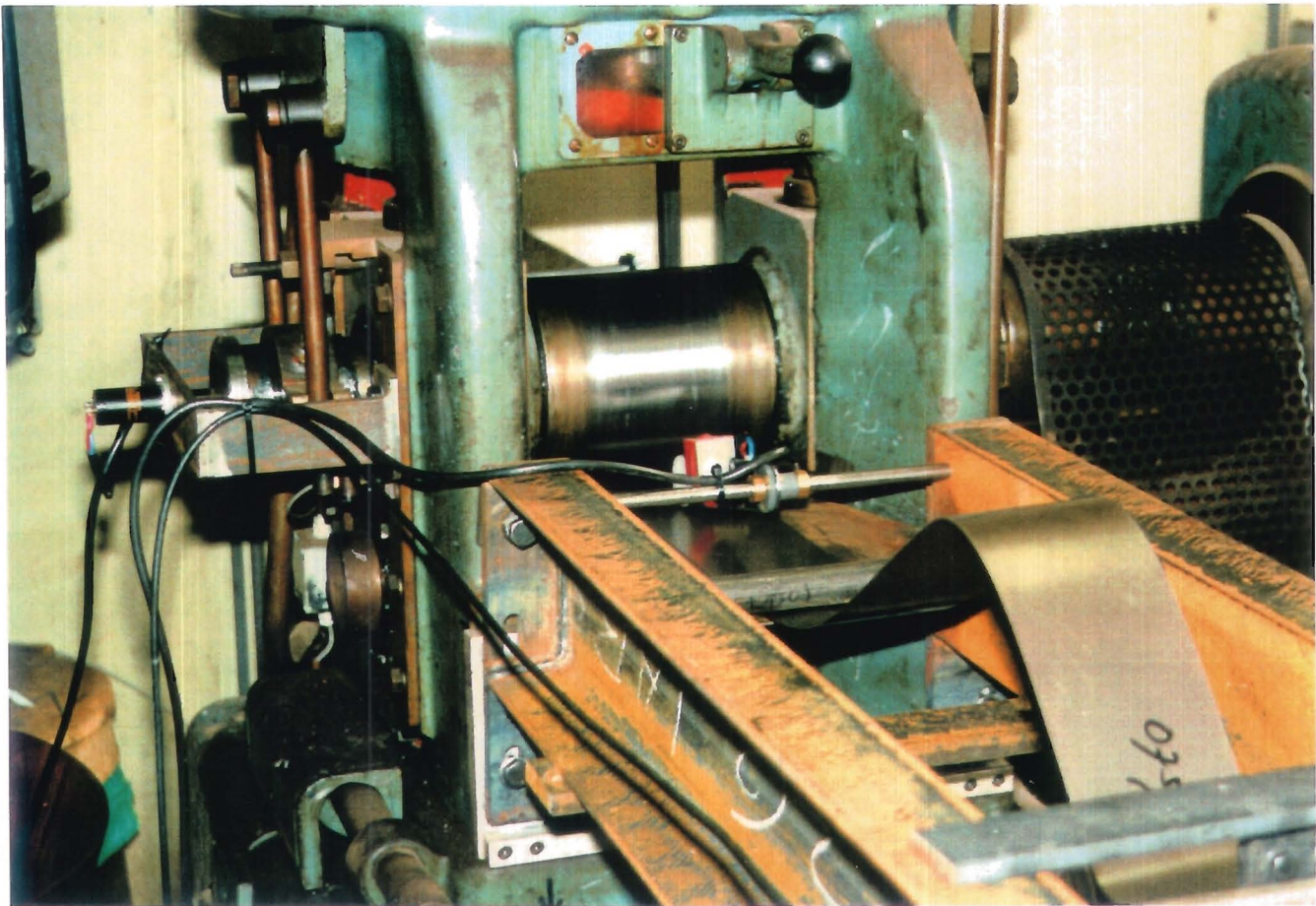
Op de cilinder is een manometer bevestigd die de inwendige druk van de cilinder meet.

De snelheidssignalen van de tachogeneratoren en het druksignaal van de cilinder worden naar een recorder gestuurd, die een grafiek van de signalen maakt.

In de volgende figuren is een aantal van de bovenbeschreven aspecten verduidelijkt.

Op de volgende pagina's: figuren 10, 11, 12 en 13.





Bijlage 12 - Testresultaten

In de proeven is gebruik gemaakt van koudgewalste staalplaat, met dikten 1.50, 1.00 en 0.75 mm.

De materiaaleigenschappen van het plaatstaal zijn hieronder beschreven.

Deze materiaaleigenschappen zijn verkregen uit trekproeven en hardheidsmeting.

12.1 - Eigenschappen van de gebruikte materialen

Staalplaat 1.5 mm. dikte

uitgangsdikte h_0 :	1.467 mm.
initiële vloeigrens σ_f :	194 N/mm ²
verstevingsexponent n :	0.198
karacteristieke spanning C :	541 N/mm ²
Vickers hardheid V :	101

Staalplaat 1.0 mm. dikte

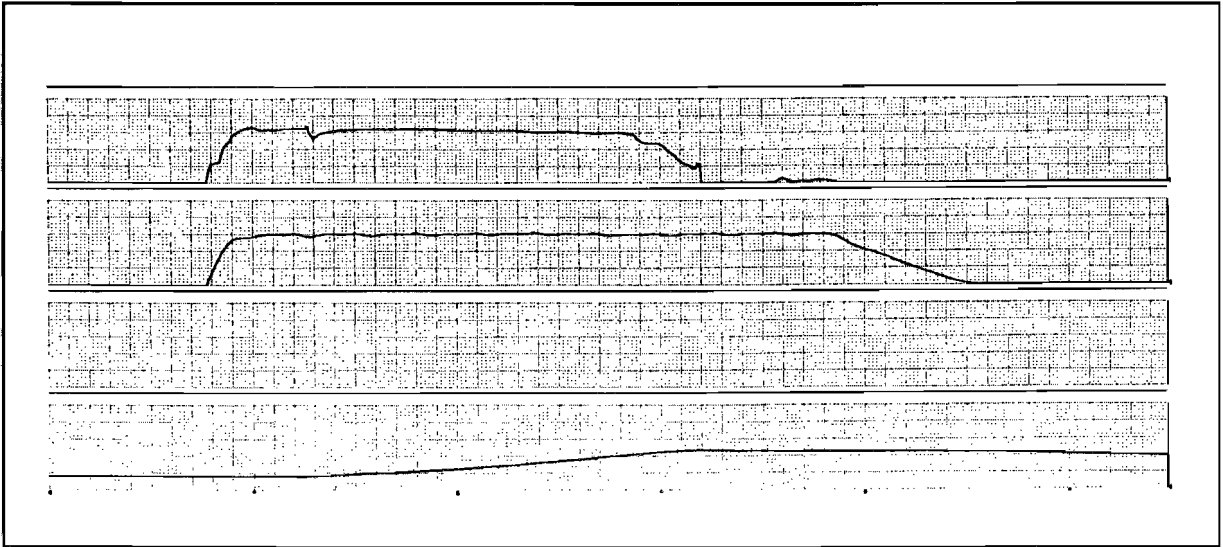
uitgangsdikte h_0 :	0.976 mm.
initiële vloeigrens σ_f :	165 N/mm ²
verstevingsexponent n :	0.212
karacteristieke spanning C :	557 N/mm ²
Vickers hardheid V :	101

Staalplaat 0.75 mm. dikte

uitgangsdikte h_0 :	0.731 mm.
initiële vloeigrens σ_f :	162 N/mm ²
verstevingsexponent n :	0.206
karacteristieke spanning C :	547 N/mm ²
Vickers hardheid V :	98.6

12.2 - Recordersignalen

Hieronder zijn de recordersignalen van een representatieve proef afgebeeld.



Figuur 14 - De recordersignalen

De drie signalen in figuur 14 geven respectievelijk weer: de snelheid van de plaat vlak voor het inlopen in de walsspleet; de omtrekssnelheid van de walsrollen en de druk in de cilinder.

Het is duidelijk zichtbaar dat de walsrolsnelheid constant blijft, en dat de snelheid van de plaat afneemt terwijl de terugtrekkende kracht toeneemt. Op het moment dat de plaatsnelheid nul wordt, bereikt de terugtrekkende kracht een maximum. Op dat moment beginnen de walsrollen over de plaat te slippen.

De snelheidssignalen dienen ter verificatie van de locatie van de berekende neutrale zone.

De terugtrekkende kracht F van de cilinder laat zich als volgt berekenen:

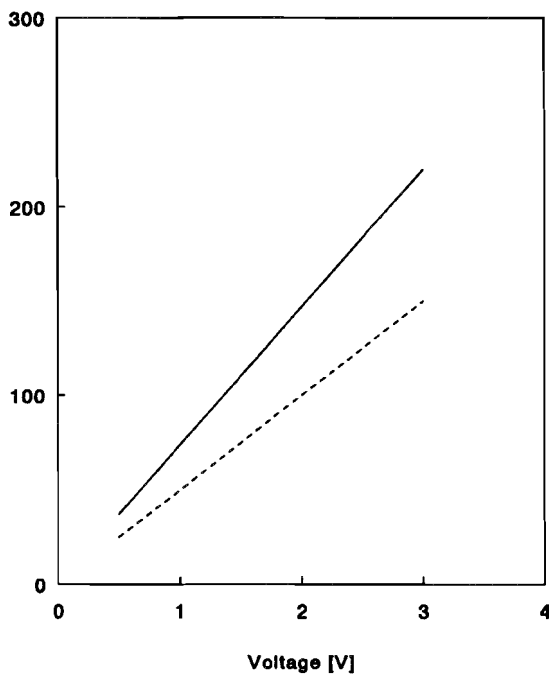
$$F = 1.02 \text{ [kgf/cm}^2\text{]} * 9.81 \text{ [N]} * 490.874 \text{ [cm}^2\text{]} * \text{druksignaal}$$

De schaal van het druksignaal is: de hele range op de y-as komt overeen met 10 bar.

De ijkgrafieken van de snelheidssignalen staan op de volgende pagina.

Figuur 15 - IJkgrafieken van de snelheidssignalen

**IJkgrafiek snelheidssignalen
omwentelingsfrequentie [omw/min]**



De doorgetrokken lijn is het ijksignaal van de tachogenerator die de omwentelingsfrequentie van de plaat vlak voor het intreden in de walsspleet registreert.

De gestippelde lijn is het ijksignaal van de tachogenerator die de omwentelingsfrequentie van de walsrollen registreert.

Bijlage 12 - Testresultaten

12.3 - De meetresultaten van alle proeven

Tabel 1 - Metingen met plaat van 1.5 mm. dikte

meting nr.	h_0 [N/mm ²]	h_1 [N/mm ²]	reductie %	P bar	F [N]	σ_0 [N/mm ²]
1	1.50	1.27	15.3	2.6	12771	85
* 2	1.50	-	-	-	-	-
* 3	1.50	-	-	-	-	-
* 4	1.50	-	-	-	-	-
5	1.50	1.11	26.0	8.4	41259	275
6	1.50	1.04	30.7	8.8	43224	288
7	1.50	1.33	11.3	4.4	21612	144
8	1.50	1.27	15.3	6.5	31927	213

Tabel 2 - Metingen met plaat van 1.0 mm. dikte

meting nr.	h_0 [N/mm ²]	h_1 [N/mm ²]	reductie %	P bar	F [N]	σ_0 [N/mm ²]
1	1.0	0.86	14.0	3.6	17682	177
2	1.0	0.89	11.0	3.6	17682	177
3	1.0	0.89	11.0	3.5	17191	172
4	1.0	0.83	17.0	5.6	27506	275
5	1.0	0.84	16.0	5.6	27506	275
* 6	1.0	-	-	-	-	-
7	1.0	0.80	20.0	4.8	23577	236
* 8	1.0	-	-	-	-	-

Bijlage 12 - Testresultaten

Proeven gemarkeerd met een ster (*) zijn wel uitgevoerd, maar hebben geen aantoonbare macroslip opgeleverd.

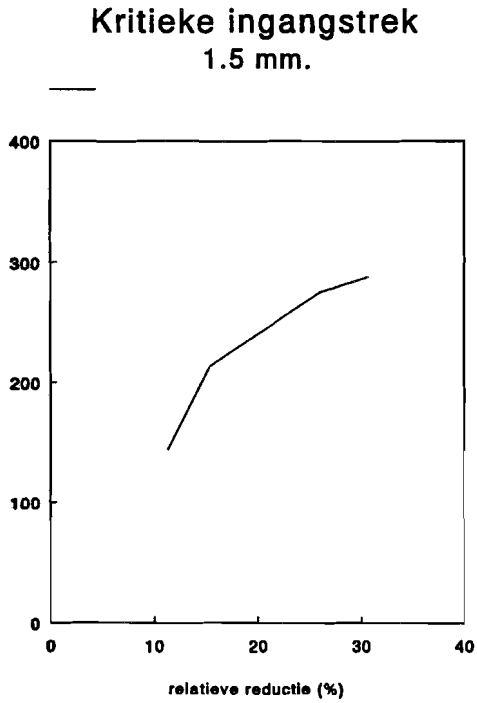
Tabel 3 - Metingen plaat van 0.75 mm. dikte

meting nr.	h_0 [N/mm ²]	h_1 [N/mm ²]	reductie %	P bar	F [N]	σ_0 [N/mm ²]
1	0.75	0.67	10.7	3.8	18665	249
2	0.75	0.68	9.3	3.2	15718	210
3	0.75	0.68	9.3	3.6	17682	236
4	0.75	0.63	16.0	4.6	22594	301
5	0.75	0.62	17.3	4.3	21121	282
6	0.75	0.63	16.0	4.1	20138	269
* 7	0.75	-	-	-	-	-

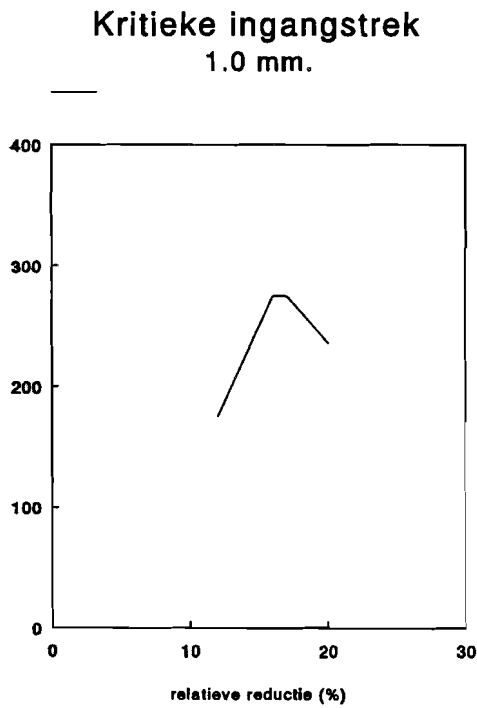
Proeven gemarkeerd met een ster (*) zijn wel uitgevoerd, maar hebben geen aantoonbare macroslip opgeleverd.

Op de volgende pagina's zijn de meetresultaten grafisch weergegeven.

*Figuur 16 - Meetresultaten
1.5 mm. plaat*



*Figuur 17 - Meetresultaten
1.0 mm. plaat*



*Figuur 18 - Meetresultaten
0.75 mm. plaat*

