

Vlakstuiken : een testmethode voor het bepalen van plastische materiaaleigenschappen

Citation for published version (APA):

Smeets, M. J. H., Schot, P. C., & Ramaekers, J. A. H. (1987). *Vlakstuiken : een testmethode voor het bepalen van plastische materiaaleigenschappen*. (TH Eindhoven. Afd. Werktuigbouwkunde, Vakgroep Produktietechnologie : WPB; Vol. WPA0426). Technische Universiteit Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1987

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

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

[Link to publication](#)

General rights

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

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

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

www.tue.nl/taverne

Take down policy

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

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

WE 1

VLAKSTUIKEN.

Een testmethode voor het bepalen van
plastische materiaaleigenschappen.

door:

M.J.H.Smeets,

P.C.Schot,

J.A.H.Ramaekers.

mei 1987

V.F.-code: D3

W.P.A.rapp: 0426

VLAK STUIKEN.

Een testmethode voor het bepalen van plastische materiaaleigenschappen.

M.J.H. Smeets; P.C. Schot; J.A.H. Ramackers.

Samenvatting.

De stuikproef op een cilindrisch produkt wordt beschreven. Eenvoud van proefopstelling en proefstukken zijn de meest in het oog springende voordelen t.o.v. de trekproef. Daarnaast is het rektrajekt groter en sluit de proef beter aan bij de praktijksituatie, zoals deze optreedt bij de z.g. massiefomvormprocessen (extrusie, stuiken, persen, etc.).

Uit de proefgegevens kunnen op eenvoudige wijze materiaaldata afgeleid worden die relevant zijn voor plastische omvormprocessen.

De stuikproef leent zich tevens voor het bestuderen van het effect van smering.

1. Inleiding.

Het onder invloed van druk omvormen van metalen omvat een breed toepassingsgebied. Stuiken, matrijssmeden en extrusie zijn op grote schaal toegepaste omvormprocessen. Bij het toepassen van deze processen is van belang dat men de plastische eigenschappen van het materiaal kent. De gegevens van de materiaalleverancier zijn hiertoe niet steeds toereikend.

De trekproef verschaft doorgaans voldoende informatie. Voordelen van de stuikproef zijn: de lage kostprijs van de noodzakelijke apparatuur, eenvoud en geringe afmetingen der proefstukken en het aanzienlijk grotere bereikbare rektrajekt, hetgeen beter overeenstemt met de rekken die optreden bij stuikprocessen.

Een nadeel van de stuikproef is de invloed van de wrijving op de testresultaten. Bij zorgvuldige uitvoering van de proef kan deze storende invloed vergaand geëlimineerd worden.

2. Materiaalverstevinging.

Praktisch alle metalen die in de productie toepast worden, kunnen beschreven worden met de verstevingingsfunctie van Ludwik:

$$\tau_f = C \cdot (\bar{\epsilon} + \bar{\epsilon}_0)^n \quad [2.1]$$

Hierin is: C [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$] is karakteristieke spanning

ϵ_0 [-] is voordeformatie

n [-] is verstevingingsexponent

σ_f [$\text{N} \cdot \text{mm}^{-2}$] is vloeispanning

$\bar{\epsilon}$ [-] is effectieve deformatie

Bepaling van de materiaaleigenschappen C , n en ϵ_0 met behulp van de trekproef is reeds eerder behandeld [1]. Voor zachtgegloeide materialen is de numerieke waarde van de voordeformatie ϵ_0 meestal verwaarloosbaar klein, zodat vergelijking [2.1] over gaat in:

$$\sigma_f = C \cdot \bar{\epsilon}^n \quad [2.2]$$

Fig. 1 toont de τ - ϵ -kromme voor st. C.15 op lineaire schalen en fig. 2 op logaritmische schalen. Tevens is in de grafieken aangegeven wat de gevolgen voor de ligging der lijnen zijn, indien dit materiaal niet vrij zou zijn van voordeformatie.

De (gefingeerde) voordeformatie $\epsilon_0 = 0.04$.

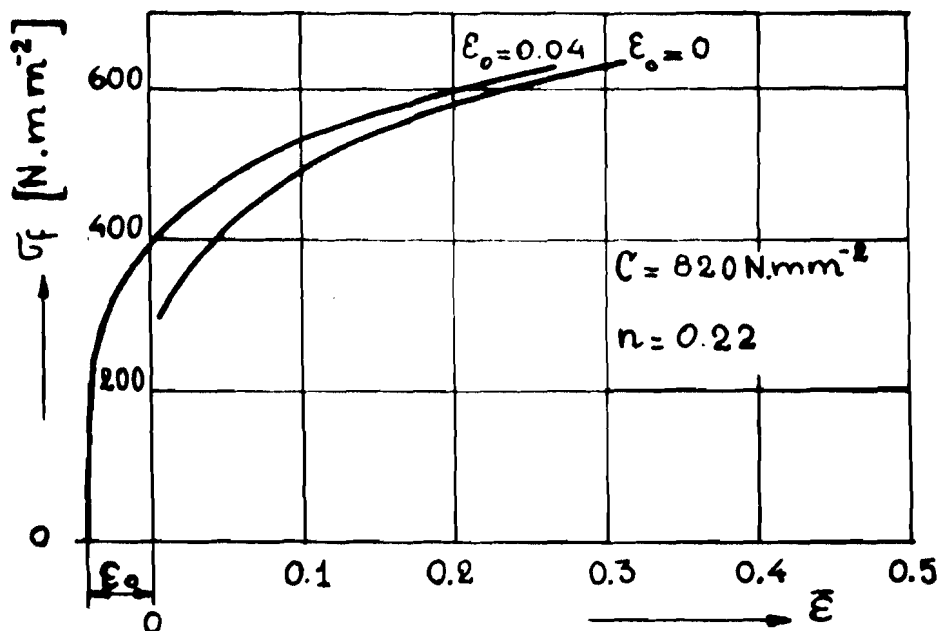


Fig. 1

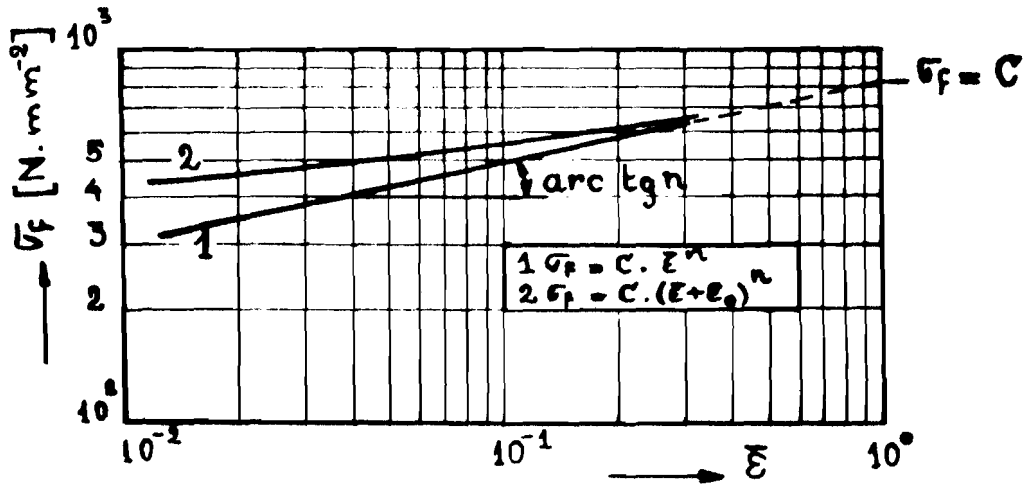


Fig. 2

In fig. 3 is schematisch de stuikproef weergegeven. Bij voldoende smering en bij voorkeur niet te lage proefstukken ($D/s > 1/2$) zal het proefstuk nagenoeg cilindrisch blijven en heerst er dus lijnspanning, zodat geldt:

$$\sigma_f = \sigma_z = \frac{F}{A} \quad [3.1]$$

F = gemeten perskracht [N]

A = momentane doorsnede v/h proefstuk [mm^2]

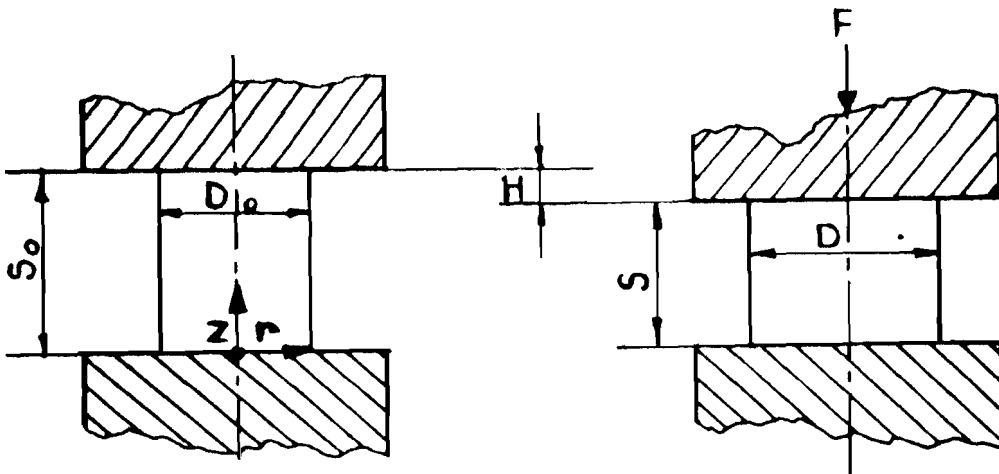


Fig. 3

Voor de effectieve rek geldt:

$$\bar{\epsilon} = \epsilon_z = \ln \frac{S_0}{S} = 2 \ln \frac{D}{D_0} \quad [3.2]$$

- S_0 = initiële hoogte [mm]
- D_0 = initiële diameter [mm]
- S = momentane hoogte [mm]
- D = momentane diameter [mm]

Uit de op eenvoudige wijze te meten hoogte van het proefstuk en de optredende perskracht kan dus de effectieve rek en de vloeispanning berekend worden. Volumeinvariantie impliceert:

$$D_0^2 \cdot S_0 = D^2 \cdot S \quad [3.3]$$

Voor de stempelweg H geldt:

$$H = S_0 - S \quad [3.4]$$

Met vergelijking [2.1], [3.1] en [3.2] kan nu de kracht-weg-kromme afgeleid worden:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \frac{S_0}{S_0 - H} \cdot C \cdot \left(\ln \frac{S_0}{S_0 - H} + \epsilon_0 \right)^n \quad [3.5]$$

In fig. 4 is de gerelateerde theoretische kromme voor div. n-waarden weergegeven.

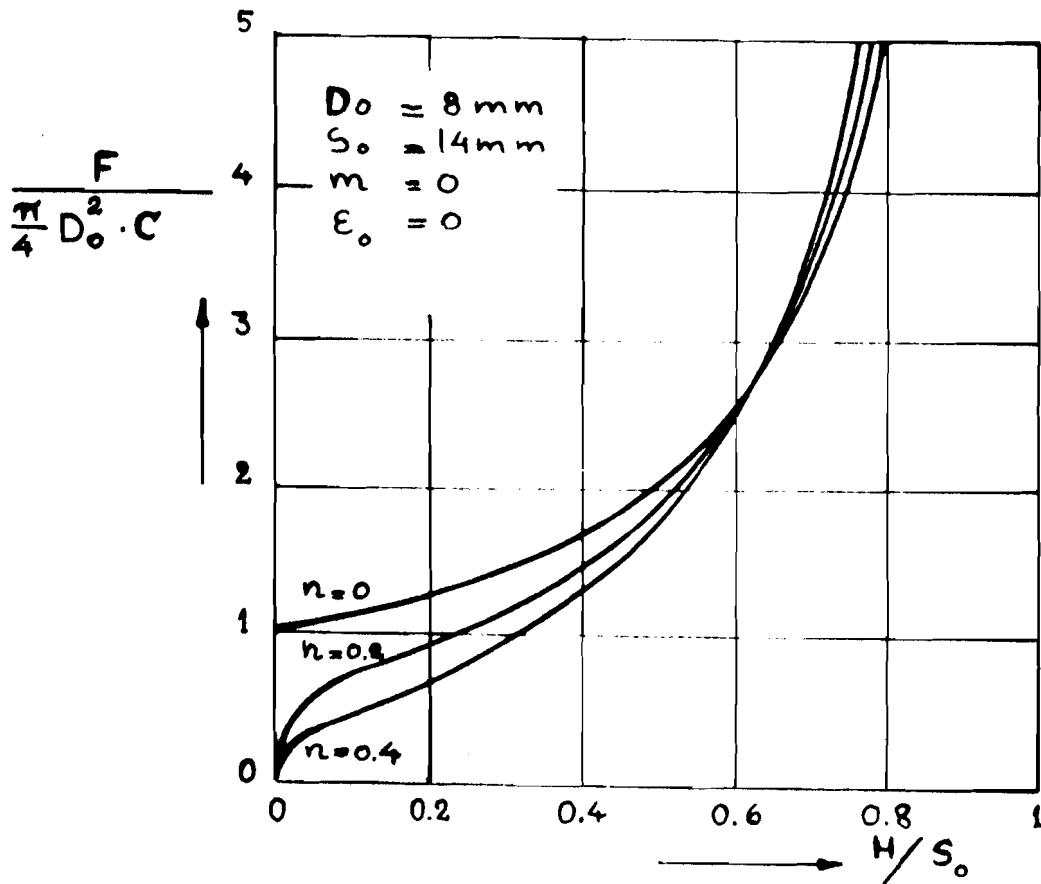


Fig. 4

4. Wrijvingsinvloed.

De invloed van wrijving kan het beste beschreven worden met het z.g. von Mises, of "Constant Friction" wrijvingsmodel: [2.5]

$$\tau_0 = m \cdot \frac{\sigma_f}{\sqrt{3}} \quad [4.1]$$

τ_0 = wrijvingsspanning in het contactvlak tussen gereedschap en werkstuk.

m = wrijvingscoëfficiënt ($0 < m < 1$)

Met behulp van de schillenmethode uit de plasticiteitsleer [2] kan de vergelijking voor de kracht afgeleid worden:

$$F = \frac{\pi}{4} D_0^2 \cdot \frac{S_0}{S_0 - H} \cdot C \cdot \left(\ln \frac{S}{S_0 - H} + \epsilon_0 \right)^n \cdot \left(1 + \frac{m}{\sqrt{3}} \cdot \frac{D_0}{S_0 - H} \cdot \sqrt{\frac{S_0}{S_0 - H}} \right) [4.2]$$

Bij maximale wrijving wordt de wrijvingsspanning in het contactvlak gelijk aan de maximale schuifspanning. Indien goed gesmeerd wordt is de wrijvingsspanning laag ($m = 0,1 - 0,2$). Fig. 5 toont de invloed van de wrijving op de perskracht

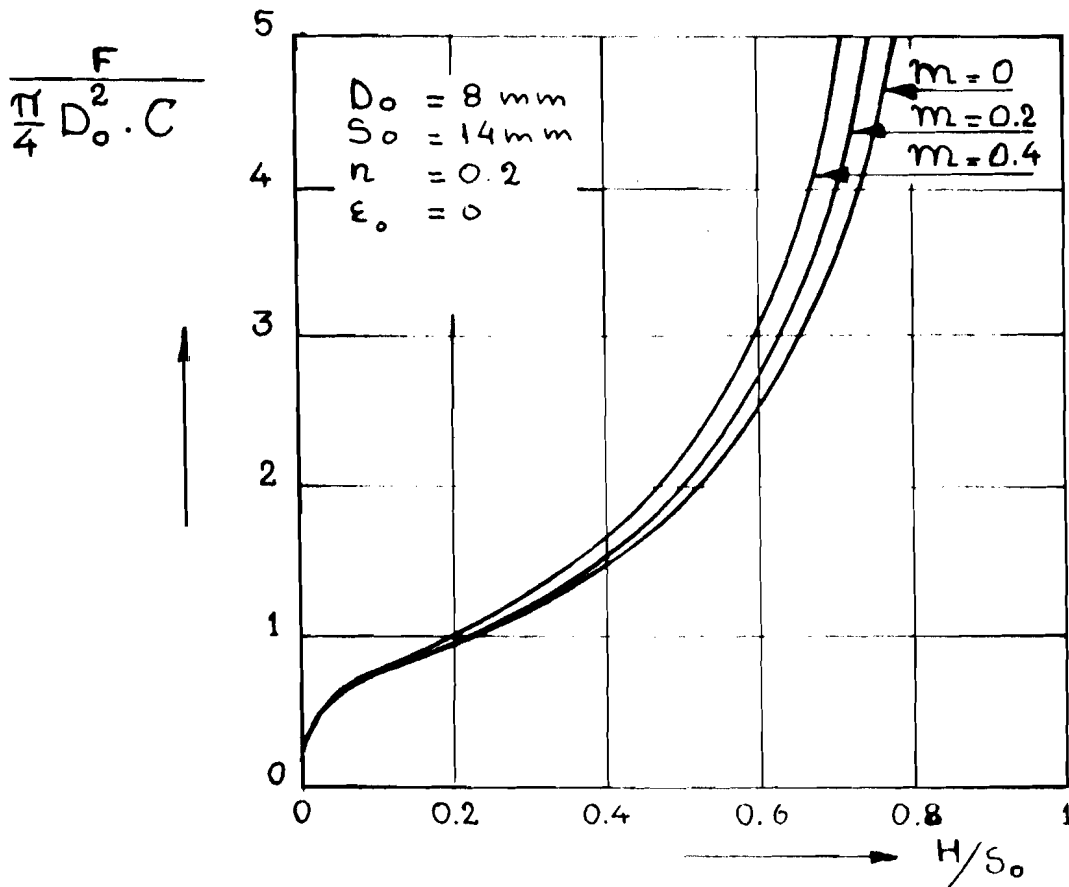


Fig. 5

Effekten van wrijving manifesteren zich sterker, naarmate de waarde voor D_0/S_0 toeneemt, echter ook indien de wrijvingsfactor m konstant is, zal de gerelateerde perskracht toenemen bij verlagening van de initiële hoogte S_0 . In fig. 6 is deze met vgl. 4.2 berekende toename aangegeven.

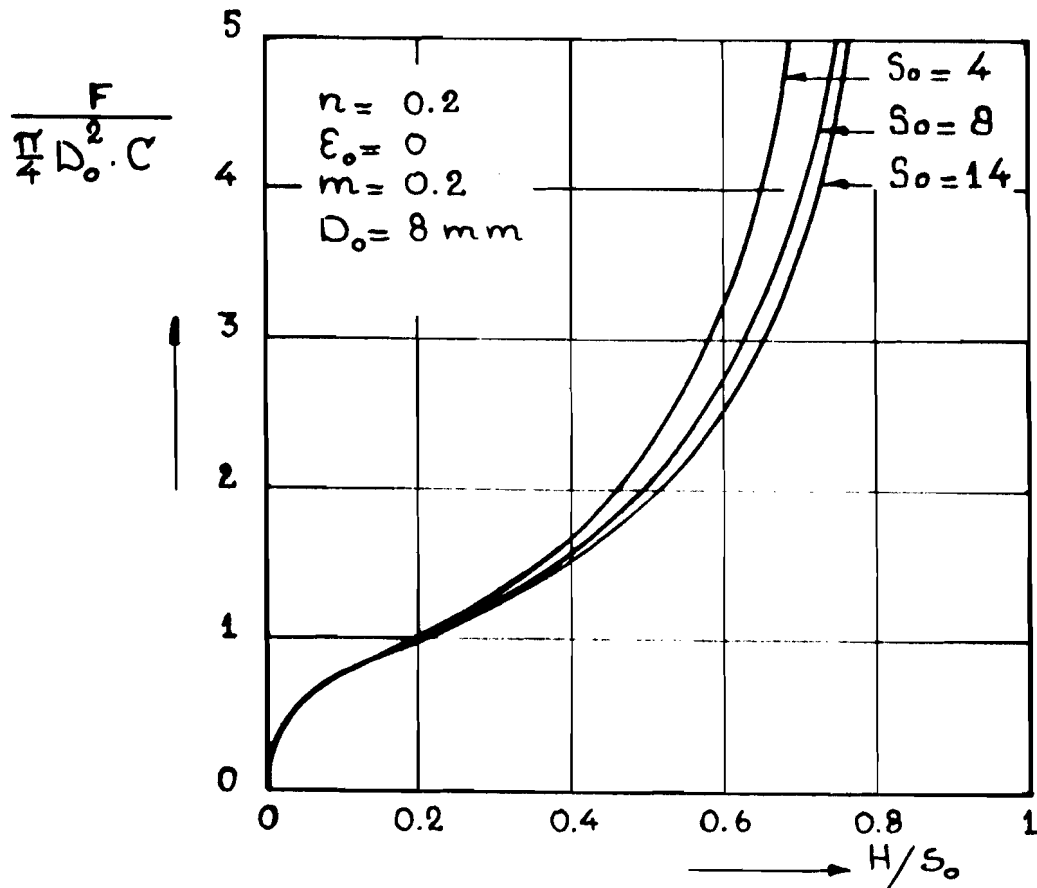


Fig. 6

Onderzoek naar effecten van wrijving (smeermiddelen-onderzoek), alsook het meten van optredende proceskrachten bij hoge waarden voor D/S , zoals die optreden bij b.v. extrusie en reliëfpersen, kan zeer wel plaatsvinden d.m.v. de stuikproef. De optredende perskrachten zijn in deze situatie van dien aard, dat de experimenten niet meer met de beschreven apparatuur uitgevoerd kunnen worden. Een geïmproviseerd frame, met daarin een zwaardere werkcylin- der kan echter reeds goede diensten bewijzen. Gevaar voor plastische knik van de stuikblokjes is niet aan de orde, zodat geleiding van boven- en onderstempel niet noodzakelijk is.

5. Verwerking van de proefresultaten.

Vastgesteld kan worden dat de stuikproef uitstekend geschikt is voor het bepalen van materiaaleigenschappen, mits men zorgt voor lage wrijving tij- dens het stuiken ($m \approx 0$). Verwerking van de meetresultaten vereist enig reken- werk, waarbij het gebruik van moderne rekenapparatuur tot een snelle bepa- ling van de C - en n -waarde van een materiaal kan leiden.

Bij ontbreken van deze middelen kan grafische verwerking uitkomst bieden. Uitgaande van de vergelijking [3.5] is een diagram ontworpen [3] waarin lij- nen van gelijke vloeispanning σ_f uitgezet zijn in een kracht-stempelver- plaatsing-diagram.

Normering van de initiële afmetingen (d_o , S_o) is dan echter noodzakelijk.

De afstanden tussen de σ_f -waarden bij gegeven hoogte reductie H, zijn gelijk.

Mèt $D_o=8$ en $S_o=14$, volgt:

$$\Delta F = \frac{70,37}{14-H} \text{ [kN]}$$

In het diagram (fig. 7) zijn meetpunten aangegeven voor een stukproef op staal C 15.

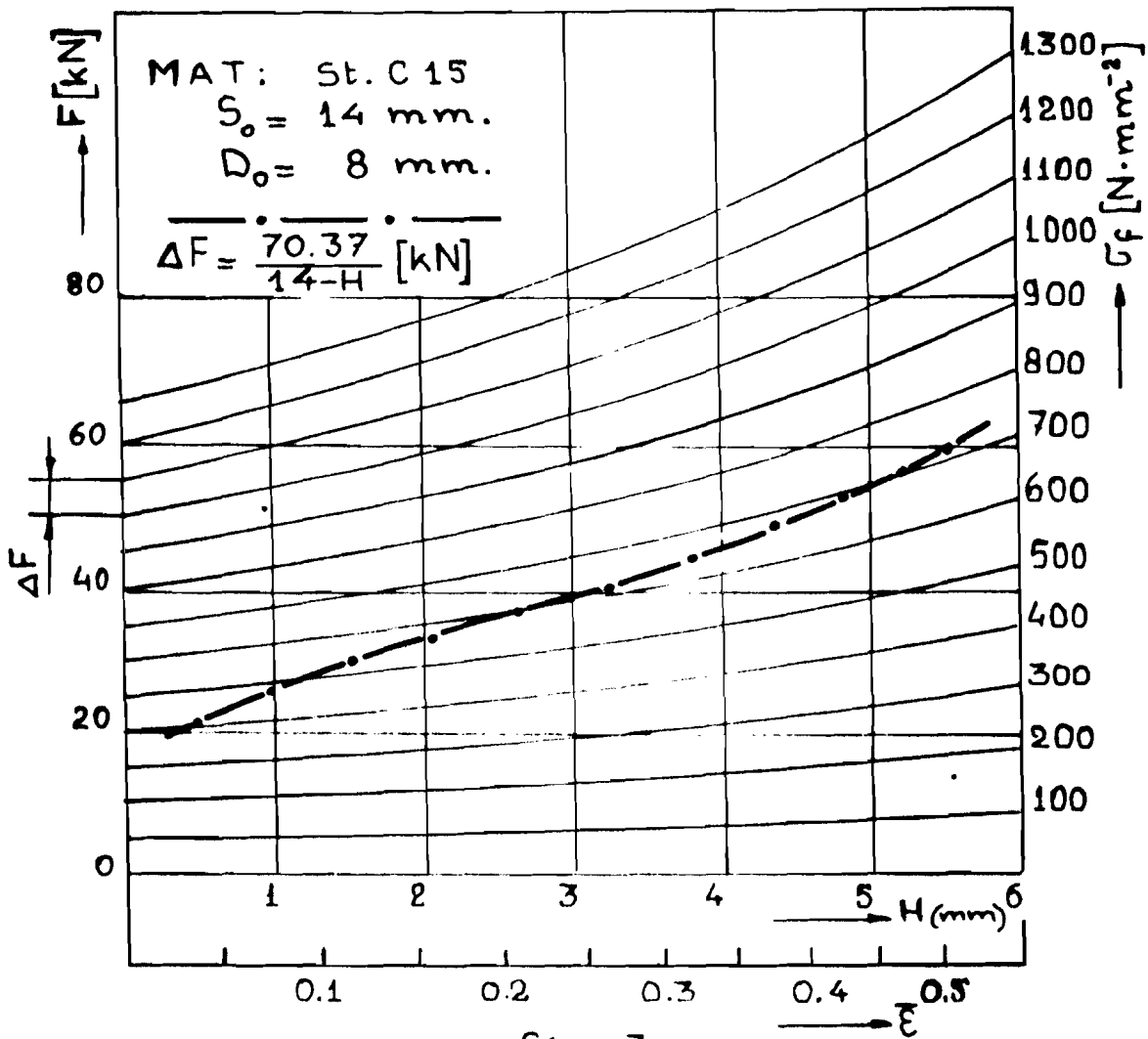


Fig. 7

Uit fig. 7 kunnen direkt een aantal σ_f -en bijbehorende ϵ -waarden afgelezen worden. Uitzetten van deze waarden in een dubbellogaritmisch diagram geeft de mogelijkheid om tot bepaling van de C- en n-waarde over te gaan (fig. 8).

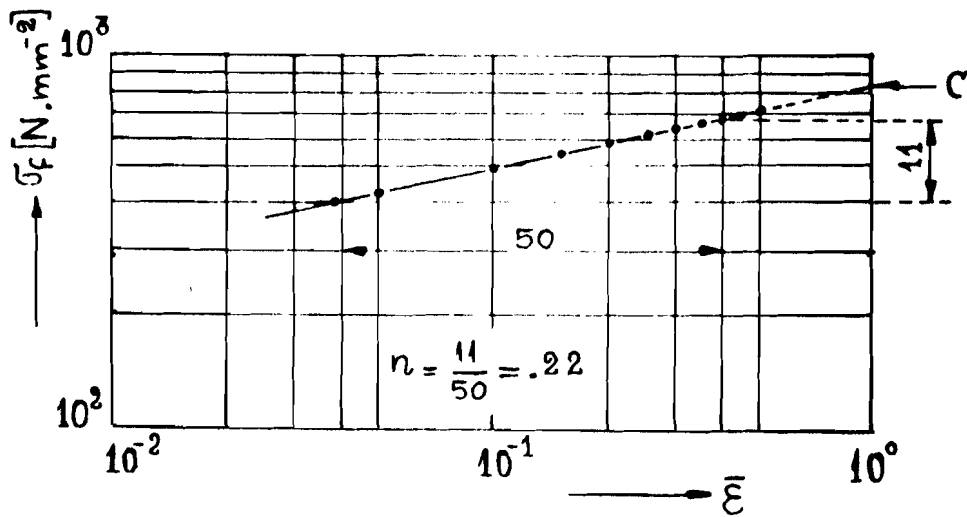


Fig. 8

Indien de punten in fig. 8 op een rechte lijn liggen is de voordeformatie ϵ_0 gelijk aan nul. Liggen de punten niet op een rechte lijn, dan is kennelijk sprake van voordeformatie.

De waarde van deze voordeformatie kan bepaald worden door "trial and error".

Hier toe dient men de gemeten $\bar{\epsilon}$ -waarden net zo lang met ϵ_0 -waarden te vermeerderen, totdat de uitgezette spanningen en aldus verkregen rekken

$(\bar{\epsilon} + \epsilon_0)$ wél op een rechte lijn liggen (fig. 9).

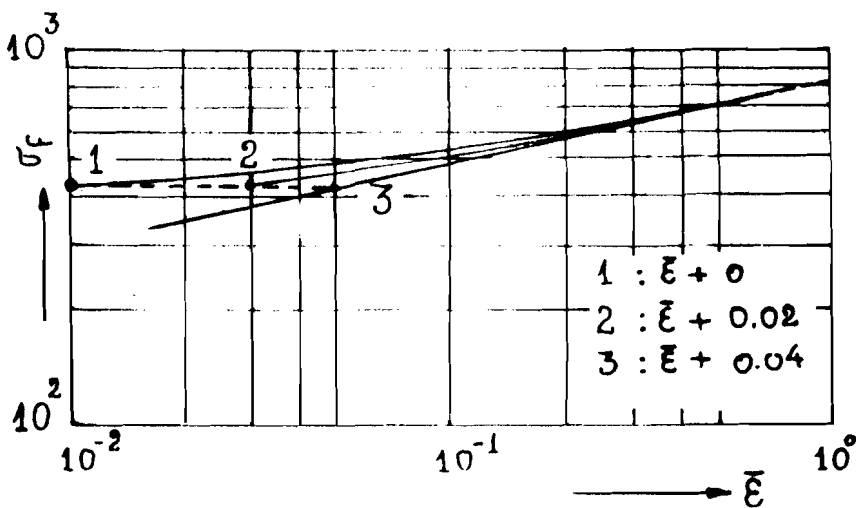


Fig. 9

Bij vergelijken van de aldus bepaalde C , n en ϵ_0 waarden met uitkomsten van regressie-analyse op de komputer, gebruikmakende van nauwkeurige trekproefgegevens, blijken de resultaten zeer goed met elkaar overeen te stemmen.

6. Het persgereedschap.

Er is naar gestreefd, de stuikproef te realiseren met minimaal noodzakelijke middelen.

Voor het aanbrengen van de perskracht is gebruik gemaakt van een hydraulische handpers met bijbehorende werkcylander.

- max. werkdruk handpomp : 750 bar.
- max. werkdruk manometer : 800 bar.
- max. perskracht werkcylander : 120 kN.

De manometer is na kalibratie voorzien van een schaalverdeling in kN. Het eigenlijke persgereedschap is aangepast aan de werkcylander en kan voor aanvang van de stuikproef eenvoudig op deze cylander geschroefd worden. Voor het meten van de stempelverplaatsing is een 0.01 mm. meetklok aangebracht.

De stuikvlakken zijn uitgevoerd met een centreerkegeltje in het centrum. De afmetingen van een stuikblokje zijn primair afhankelijk van de beschikbare max. perskracht. De stuikblokjes dienen geometrisch te voldoen aan:

$$\frac{S_0}{D_0} < 2,$$

teneinde plastische knik te voorkomen.

In het centrum van de kopvlakken is een kegelvormige holte aangebracht, corresponderend met de centreerkegeltjes op de stuikvlakken.

De werkwijze is nu als volgt:

- Onderstempel op plunjer van de cylander plaatsen.
- Proefstukje van smeermiddel voorzien en op onderstempel plaatsen.
- Stuikgereedschap op cylander schroeven.
- Meetklok plaatsen en op 0 zetten.
- In stappen persen en telkens F en H aflezen.
- Meetpunten aangeven in diagram (fig. 7).

Fig. 10 geeft een doorsnede van het gereedschap:

- 1 0.01 mm meetklok
- 2 bovenstempel (ger. staal, ingeperst)
- 3 stuikblokje
- 4 onderstempel (ger. staal, geleid in 5)
- 5 huis
- 6 plunjer
- 7 werkcylander

Fig. 11 toont een overzicht van het geheel.

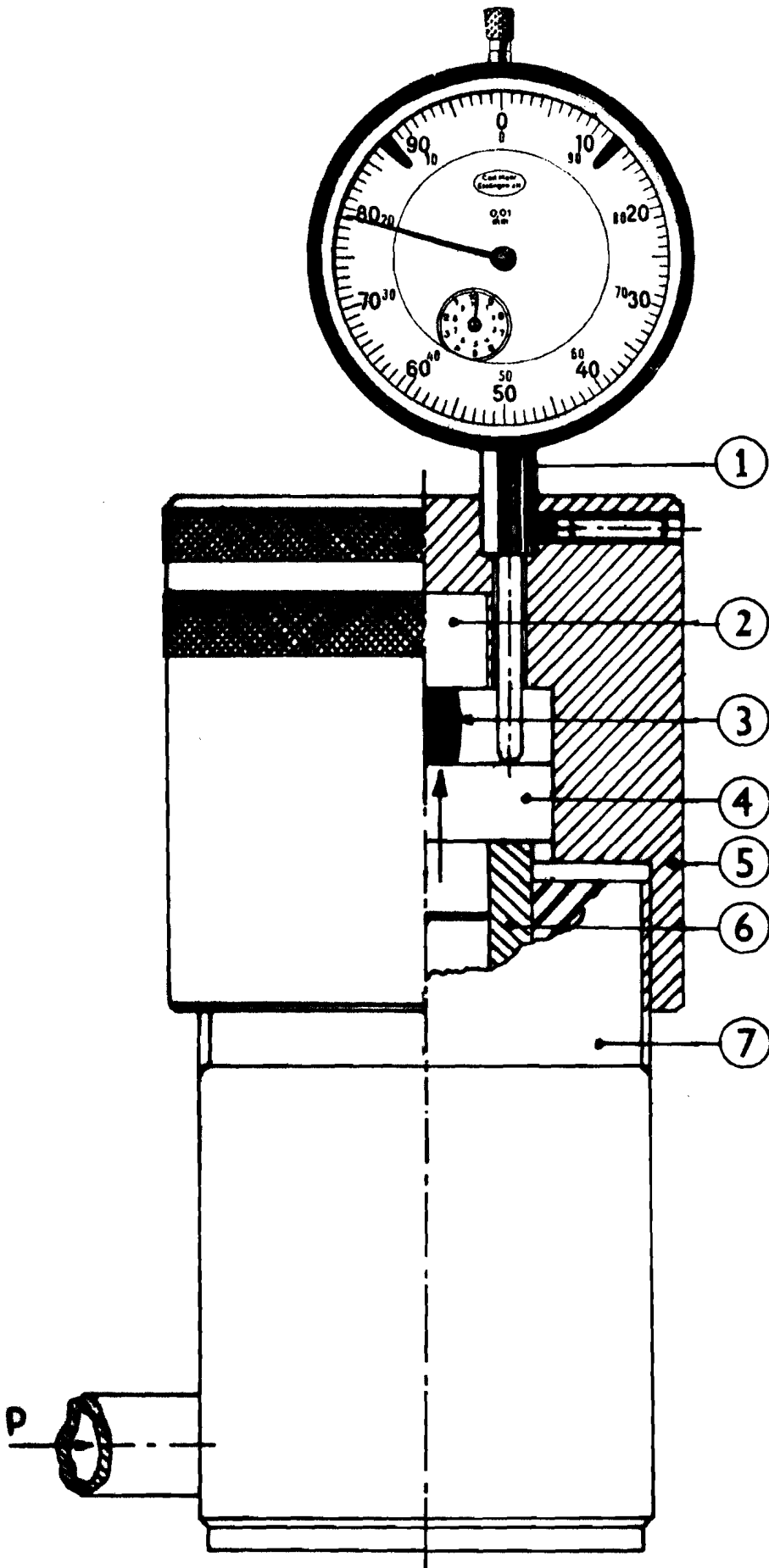
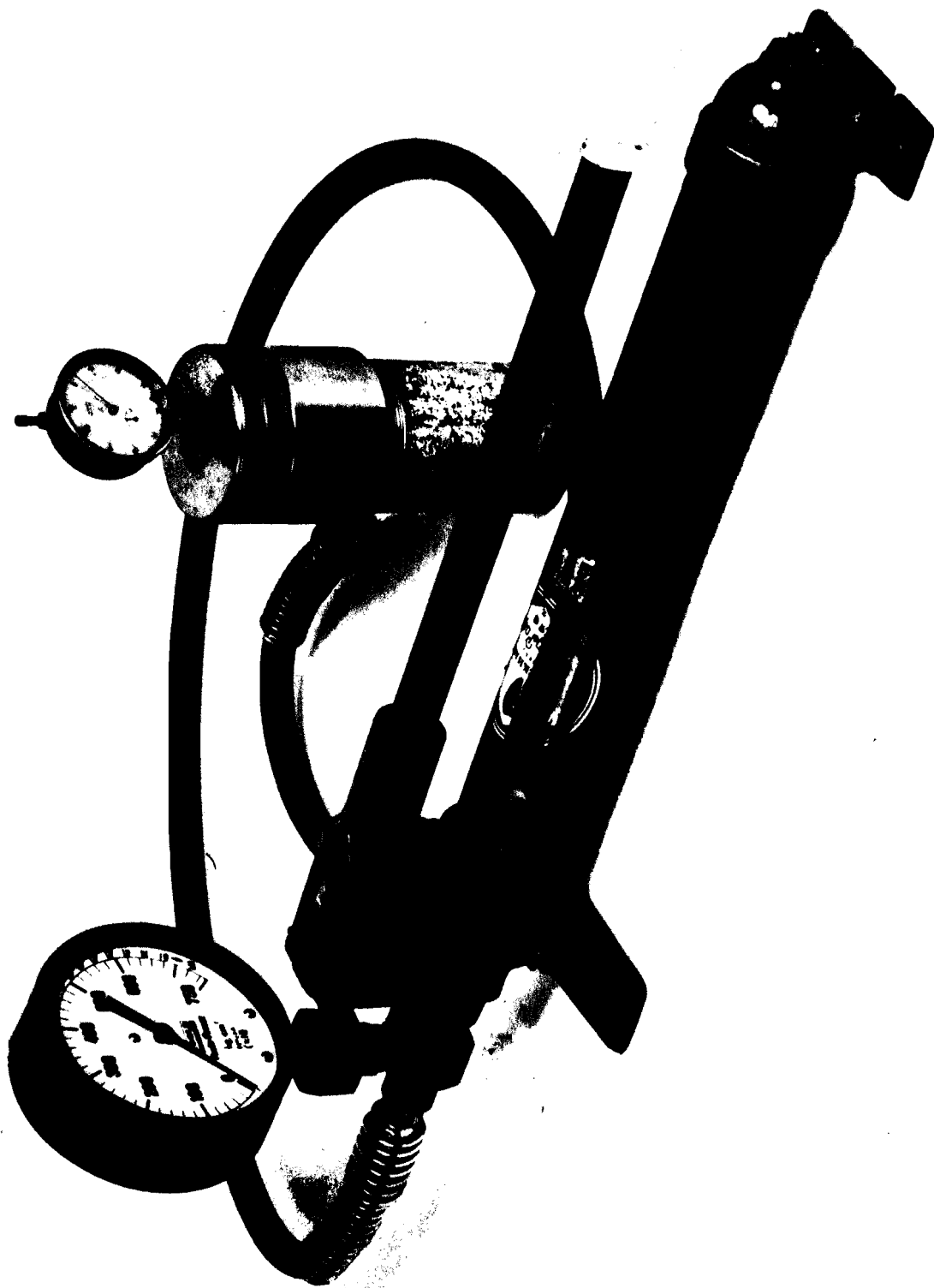


Fig 10



Konklusies.

De nauwkeurigheid waarmee de materiaaleigenschappen met gebruikmaking van de beschreven middelen bepaald kunnen worden is in hoofdzaak afhankelijk van de zorgvuldigheid in alle opzichten bij het uitvoeren van de stuikproef. Om de wrijvingsinvloed te elimineren dient men er zorg voor te dragen dat de stuikvlakken van het gereedschap glad gepolijst zijn terwijl als smeermiddel b.v. Lanolyne gebruikt moet worden.

Het is raadzaam om bij elk meetpunt de ingestelde belasting een vaste tijd (b.v. 10 sec.) te handhaven. Montage van een klein expansievat (accu) kan dit aanzienlijk vergemakkelijken.

Toepassing van een digitale manometer zal zeker de afleesnauwkeurigheid van de perskracht verhogen; deze manometers kosten echter het 10-voudige van een konventionele manometer.

Het diagram (fig. 7) kan direkt als waarnemingsblad fungeren; het is raadzaam, in dat geval het diagram op groter formaat (b.v. A3) nauwkeurig te tekenen.

Voor het nauwkeurig bepalen van C, n en event. ϵ_0 is het aan te bevelen de afgelezen numerieke waarden te hanteren, zodat afleesfouten in het diagram niet aan de orde zijn.

Meetnauwkeurigheden:

Manometer : 1% bij volle schaal.

Meetsklok : ± 0.01 mm.

Micrometer : ± 0.01 mm.

Bij vergelijkende experimenten tussen trekproef en stuikproef traden over het gehele rektraject geen grotere afwijkingen op in de gemeten spanningen dan 5%.

In VDI-Arbeitsblatt 5-3200, alsook in de VDI-richtlijnen 3200 zijn veel testresultaten verzameld. De spreiding tussen de verschillende materiaalcharges blijkt voor de C-waarde $\pm 50 \text{ N.mm}^{-2}$ te zijn en voor de n-waarde ± 0.02 . Indien de stuikproef als vergelijkende smeermiddeltest gebruikt wordt, moeten relatief lage proefstukken ($\frac{S}{D} < 1$) toegepast worden. De hiermee verbonden hoge krachten maken een zwaardere proefopstelling noodzakelijk.

Literatuur:

[1] J.A.H. Ramaekers e.a.

De ponskracht. Metaalbewerking Jrg. 38, No. 9, okt. '72, blz. 189-192.

- [2] J.A.H. Ramaekers en M.J.H. Smeets.
Kontaktverschijnselen bij omvormen.
Metaalbewerking Jrg. 50, No. 3, feb. '84, blz. 54-57.

- [3] P.C. Schot.
Handleiding stuikproef.
Werktuigbouwkundig praktikum TU Delft.

- [4] P.C. Schot.
Vervormen onder druk.
Metaalbewerking Jrg. 32, No. 18, mrt '67, blz. 346-352.

- [5] J.A.H. Ramaekers, J.A.G. Kals.
Mathematical Representation of Friction in Metal Forming Analysis.
Annals of the CIRP Vol. 35/1/1986.