

Contactverschijnselen bij het omvormen

Citation for published version (APA):

Ramaekers, J. A. H., & Smeets, M. J. H. (1984). Contactverschijnselen bij het omvormen. *MB Produktietechniek*, 50(3), 54-58.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1984

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.

Contactverschijnselen bij het omvormen

J.A.H. Ramaekers
M.J.H. Smeets

Contactverschijnselen tussen gereedschap en produkt beïnvloeden in belangrijke mate het verloop van omvormprocessen (extruderen, stuiken etc.). Met name de gebruiksduur van het gereedschap, de kwaliteit van het produkt en de voor het proces benodigde perskracht zijn factoren die sterk afhankelijk zijn van de wrijvingscondities. Uit het reeds verrichte onderzoek blijkt de complexiteit van de verschijnselen, waarbij mechanische, fysische en chemische processen een rol spelen. Echter, de kennis omtrent de samenhang tussen deze processen en de optredende wrijvingsspanningen in het contactvlak is nog absoluut onvoldoende, en de gehanteerde wrijvingsmodellen zijn daardoor zeer discutabel.

Een aantal theoretische modellen zal worden besproken en getoetst aan experimenten. Ondanks de vragen van fundamentele aard, die open blijven, kunnen toch voor de praktijk bruikbare inzichten en modellen worden geformuleerd, toegespitst op de wrijvingsspanning in het contactvlak.

Smering

Doorgaans is de functie van een smeermiddel bij omvormprocessen het beletten van metallisch contact tussen gereedschap en produkt. De relatieve snelheid tussen beide is meestal laag, zodat zelden sprake zal zijn van hydrodynamische smering, terwijl ter plaatse bovendien vaak extreem hoge drukken heersen. Hieruit volgt een aantal eigenschappen die smeermiddelen voor omvormprocessen dienen te bezitten [1 t/m 8].

Drukvastheid

Teneinde wegdrücken van het smeermiddel te minimaliseren, dient het een drukvastheid te bezitten. De voor omvormen toegepaste smeermiddelen zijn daarom enigszins taai (c q vast) en vertonen een weerstand tegen vormverandering (sterkte) die kan worden uitgedrukt in een vloeispanning. Lithiumstearaat, zinkstearaat, molybdeensulfide en kopersulfaat zijn enkele van de toegepaste smeermiddelen die een vloeispanning vertonen van $\pm 10-35 \text{ N/mm}^2$.

Ductiliteit

Met name massiefomvormprocessen gaan vaak gepaard met aanzienlijke oppervlaktevergrotingen. Het smeermiddel dient deze oppervlaktevergrotingen zoveel mogelijk te volgen. Onder ductiliteit verstaat men nu:

de mate, waarin het smeermiddel hier toe in staat is.

Hechting

De hechting van een smeermiddel aan het oppervlak van vooral het werkstukmateriaal berust op fysische en chemische processen tussen dit materiaal en bepaalde bestanddelen van het smeermiddel. Temperatuur en druk spelen hierbij een grote rol. De mate van aanhechting heeft uiteraard ook invloed op de ductiliteit en drukvastheid van een smeermiddel.

Behalve voornoemde eigenschappen dient men bij de keuze van een smeermiddel nog de volgende aspecten in beschouwing te nemen:

- Economische aspecten, zoals kostprijs van het smeermiddel en kosten voor het aanbrengen, maar vooral het weer verwijderen van een smeermiddel met het oog op eventueel volgende bewerkingen.
- Veiligheids- en milieu-aspecten i.v.m. giftige en/of corrosieve eigenschappen onder bedrijfsomstandigheden (druk, temperatuur). Ook eventuele kosten van afvalverwerking.
- Kwaliteitsaspecten met name de oppervlaktekwaliteit van het produkt. In het algemeen zijn de leveranciers van smeermiddelen in staat omtrent deze zaken redelijk goede informatie te verschaffen.

Enige basisrelaties uit de plasticiteitsleer

In de hierna volgende beschouwingen is gebruik gemaakt van een aantal basisrelaties uit de plasticiteitsleer; [2, 10, 11, 14].

A. De vloeivoorwaarde van Von Mises, uitgedrukt in de hoofdspansingen σ_1 , σ_2 en σ_3 :

$$\sigma = \sqrt{1/2 \{ (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 \}} = \sigma_v \quad (2.1)$$

$\bar{\sigma}$ is de effectieve of vergelijkspanning.

σ_v is de vloeispanning c q deformatieweerstand.

B. De effectieve of vergelijkrek $\bar{\epsilon}$

$$\bar{\epsilon} = \sqrt{2/3 \cdot (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2)} \quad (2.2)$$

Hierin zijn ϵ_1 , ϵ_2 en ϵ_3 de eindige hoofdrekken.

N.B. Deze vergelijking is niet algemeen geldig. Als benaderende berekening van het werkelijke deformatiegedrag is ze doorgaans technisch voldoende nauwkeurig.

C. Het materiaalvolume is onveranderlijk, hetgeen beschreven wordt met:

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 = 0 \quad (2.3)$$

D. De spanning - rek - relatie volgens Levy-Von Mises:

$$\epsilon_1 = \frac{\bar{\epsilon}}{\sigma_v} \cdot (\sigma_1 - \frac{\sigma_2 + \sigma_3}{2}) \text{ (cyclisch)} \quad (2.4)$$

E. Voor de beschrijving van het verstevigend gedrag van materialen kunnen verschillende modellen worden toegepast:

1) Voor niet-verstevigend (ideaal plastisch) materiaal geldt:

$$\sigma_v = \text{constant} \quad (2.5)$$

2) Voor exponentieel verstevigd materiaal:

$$\sigma_v = C \cdot \bar{\epsilon}^n \quad (2.6)$$

en met voordeformatie:

$$\sigma_v = C \cdot (\bar{\epsilon} + \epsilon_0)^n \quad (2.7)$$

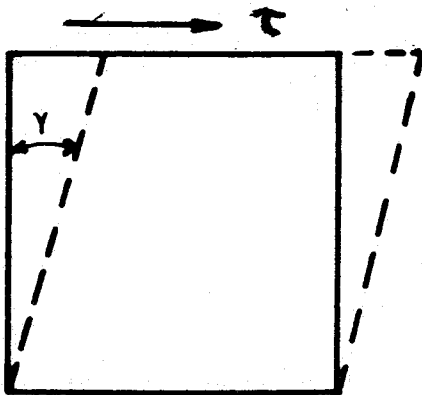
Hierin is: C = karakteristieke deformatieweerstand

(C = σ_v bij $\bar{\epsilon} = 1$).

n = verstevigingsexponent

ϵ_0 = voordeformatie

F. Het model enkelvoudige afschuiving (figuur 1)



Figuur 1.

Wrijving is in wezen plastische deformatie in het contactvlak [9]. Hiervoor geldt het model enkelvoudige afschuiving, zodat voor de schuifspanning τ afgeleid kan worden:

$$\tau = \tau_{\max} = \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} \quad (2.8)$$

τ_{\max} is hier de maximale schuifspanning volgens het Von Mises-vloeicriterium.

Wrijvingsmodellen

In de technische plasticiteitsleer worden in principe twee wrijvingsmodellen gehanteerd:

a. Het Coulomb-wrijvingsmodel:

$$\tau_0 = \mu \cdot \sigma_n \quad (3.1)$$

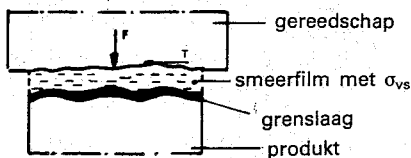
In dit model veronderstelt men evenredigheid tussen de wrijvingspanning τ_0 en de normaalspanning σ_n , met μ , de wrijvingscoëfficiënt als evenredigheidsfactor.

b. Het Von Mises of "constant friction"-model:

$$\tau_0 = m \cdot \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} \quad (3.2)$$

Het wezenlijke in dit model is de aanname dat de schuifspanning τ_0 constant is over het gehele contactvlak. De evenredigheid met de vloeispanning σ_v wordt nog besproken. Hoewel deze modelvorming vrij arbitrair is, zal blijken dat dit model grote voordelen biedt ten opzichte van het Coulomb-wrijvingsmodel.

Het Von Mises-wrijvingsmodel



Figuur 2.

Veronderstellen we tussen gereedschap en produkt een dragende smeerfilm die zó sterk is dat onder invloed van de heersende normaal- en schuifspanning geen direct contact plaats heeft. Tijdens het deformatieproces treedt relatieve verplaatsing op tussen gereedschap en produkt, zodat afschuiving zal optreden in de smeerfilm. Analoog aan vergelijking 2.8 geldt dan:

$$\tau_0 = \frac{\sigma_{vs}}{\sqrt{3}} \quad (3.3)$$

Hierin is σ_{vs} de vloeispanning van het smeermiddel.

Nemen we nu gemakshalve een vaste verhouding aan tussen de vloeigrens van het smeermiddel en die van het produkt, zodat:

$$\sigma_{vs} = m \cdot \sigma_v \quad (3.4)$$

dan volgt vergelijking 3.2, namelijk:

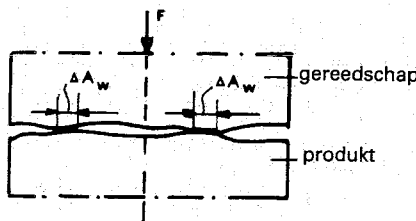
$$\tau_0 = m \cdot \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} \quad (3.4)$$

In deze vergelijking is geen rekening gehouden met eventueel verstevigend gedrag van het werkstukmateriaal ($\sigma_v = \text{constant}$).

De grenswaarden voor m liggen tussen 0 en 1, of: $0 \leq m \leq 1$. De bovengrens ($m = 1$) is bereikt als de schuifspanning in de grenslaag gelijk is aan $\frac{\sigma_v}{\sqrt{3}}$

Bij waarden groter dan 1 zal het materiaal niet meer afschuiven in de grenslaag, doch in het produktmateriaal. De ondergrens ($m=0$) spreekt voor zichzelf.

Er kan als uitgangspunt ook een geheel andere situatie worden gekozen. Veronderstellen we hiertoe twee contactvlakken zonder smering.



Figuur 3.

Tengevolge van de ruwheid zullen de oppervlakken slechts voor een deel aanliggen, figuur 3. Noemen we het werkelijke aanliggende oppervlak A_w dan geldt:

$$A_w = \sum \Delta A_w = m \cdot A \quad (3.5)$$

$$(0 \leq m \leq 1)$$

In het werkelijke contactoppervlak heeft weer afschuiving plaats, waarvoor geldt:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} \quad (2.8)$$

Door middel van krachterevenwicht kan nu de gemiddelde schuifspanning τ_0 in het contactvlak worden beschreven:

$$\tau_0 \cdot A = \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} \cdot A_w \quad (3.6)$$

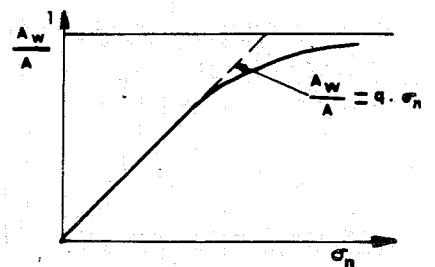
Door substitutie van vergelijking 3.5 in vergelijking 3.6 volgt weer:

$$\tau_0 = m \cdot \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} \quad (3.2)$$

Omdat bij de beredenering van dit model is uitgegaan van de vloeivoorwaarde van Von Mises, noemt men het doorgaans het "Von Mises"-wrijvingsmodel.

Het Coulomb-wrijvingsmodel

Het model, uitgaande van figuur 3 kan worden uitgebreid met een veronderstelde toename van het werkelijke contactoppervlak ten gevolge van afplatten van de ruwheidstoppen onder invloed van de normaalspanning σ_n (figuur 4).



Figuur 4.

Indien lineair verband tussen A_w en σ_n wordt verondersteld, ofwel:

$$\frac{A_w}{A} = q \cdot \sigma_n \quad (3.7)$$

volgt met 3.6:

$$\tau_0 = q \cdot \sigma_n \cdot \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} \quad (3.8)$$

Met verwaarlozing van eventueel verstevigend gedrag ($\sigma_v = \text{constant}$) geldt tenslotte:

$$\tau_0 = \mu \cdot \sigma_n \quad (3.1)$$

Hierin is μ dus gelijk aan $q \cdot \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}}$

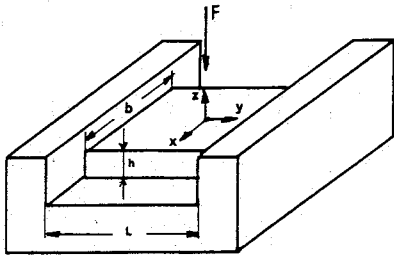
Het Coulomb-wrijvingsmodel kan in feite als een bijzonder geval van het Von Mises-model gezien worden.

In het navolgende zal, aan de hand van enkele experimenten en berekeningen, de betrouwbaarheid en de toepasbaarheid van de modellen worden getoetst. Vooruitlopend op de conclusies kan nu al worden vermeld dat het Von Mises-wrijvingsmodel (factor m) veruit de voorkeur verdient.

Pletproef met vlakke deformatie

Als experiment is in eerste instantie gekozen voor een pletproef met vlakke

deformatie. Uit figuur 5 blijkt dat het produkt in Y-richting is opgesloten, zodat voor de rek in Y-richting geldt: $\epsilon_y = 0$ (4.1)



Figuur 5.

Het materiaal wordt geplet in de Z-richting, waarbij de oorspronkelijke dikte h_0 reduceert tot een momentane dikte h . Voor de rek in Z-richting geldt:

$$\epsilon_z = \ln \frac{h}{h_0} \quad (4.2)$$

In de X-richting kan het materiaal vrij wegvloeien. Wegens volumeinvariatie (vgl. 2.3) geldt voor de rek in Z-richting:

$$\epsilon_z = -\epsilon_x = \ln \frac{h}{h_0} \quad (4.3)$$

Na substitutie van de hoofdreken ϵ_x , ϵ_y en ϵ_z in vergelijking 2.2 volgt voor de effectieve rek:

$$\bar{\epsilon} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \ln \frac{h_0}{h} \quad (4.4)$$

Voor exponentieel versterkt materiaal bedraagt de momentane vloeispanning (vgl. 2.6):

$$\sigma_v = C \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \ln \frac{h_0}{h} \right)^n \quad (4.5)$$

Voor niet-versterkend materiaal is de vloeispanning constant (vgl. 2.5). Met vgl. 2.1, 2.4 en 4.1 kan tenslotte worden afgeleid dat in deze situatie voor de effectieve spanning geldt:

$$\sigma = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (\sigma_x - \sigma_z) = \sigma_v \quad (4.6)$$

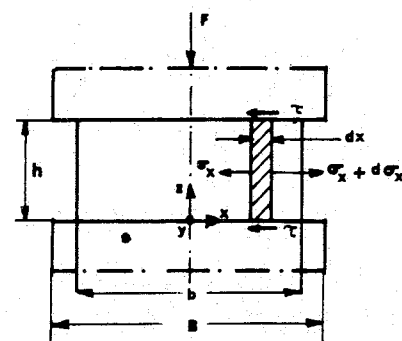
Het drukspanningsverloop over de stempeldoorsnede

Met behulp van analytische methoden uit de technische plasticiteitsleer kunnen de voor het proces benodigde spanningen worden uitgerekend. Voor processen met wrijving zijn exacte oplossingen echter vrijwel onbekend. Wel zijn in de technische plasticiteitsleer benaderende analytische methoden ontwikkeld die, zoals blijkt uit confrontatie met de toepassing, uitstekend voldoen. In dit geval is gekozen voor de zogenaamde "schillen"-methode.

Bij de schillen-methode wordt het produkt opgedeeld in schillen. De vorm van de schillen is afhankelijk van de geometrie van het produkt (prisma-

tisch, cilindrisch, bol). Hier (figuur 5 en 6) is sprake van een vlakke schil, met hoogte h , dikte dx , en lengte L . Verondersteld wordt dat de optredende wrijving uitsluitend afschuiving veroorzaakt in een relatief zeer dunne oppervlaktelaag, zodat bijgevolg de spanning σ_x op de schil een hoofdspansing is die bovendien uniform verdeeld is over het oppervlak van de schil. Krachterevenwicht in horizontale richting impliceert dan:

$$-\sigma_x \cdot h \cdot L + (\sigma_x + d\sigma_x) \cdot h \cdot L - 2\tau_0 \cdot dx \cdot L = 0 \quad (5.1)$$



Figuur 6.

Gebruik makend van het Von Mises-wrijvingsmodel (3.2) en als randvoorwaarde, $\sigma_x = 0$ voor $x = \frac{b}{2}$, kan berekend worden:

$$\sigma_x = -\frac{m}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_v \cdot \frac{b-2x}{h} \quad (5.2)$$

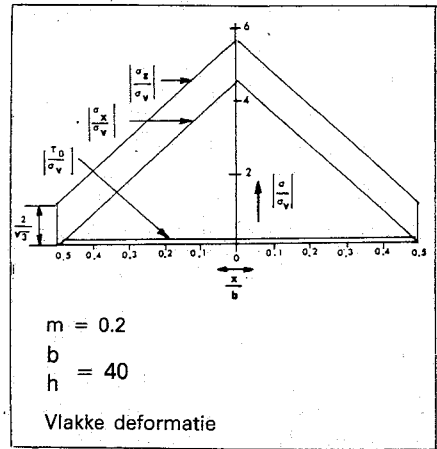
Met de vloeivoorwaarde (4.6) volgt dan voor de spanning in Z-richting:

$$\sigma_z = -\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_v \cdot \left(1 + \frac{m}{2} \cdot \frac{b-2x}{h} \right) \quad (5.3)$$

Met behulp van vergelijking 5.2 en 5.3 zijn voor een overigens willekeurige situatie de spanningen over de doorsnede uitgerekend. Het resultaat is weergegeven in figuur 7.

De kenmerkende vorm van het spanningsverloop en dus ook van de spanningsverdeling op het gereedschap, wordt aangeduid met het begrip "drukberg" of wrijvingsberg (friction hill).

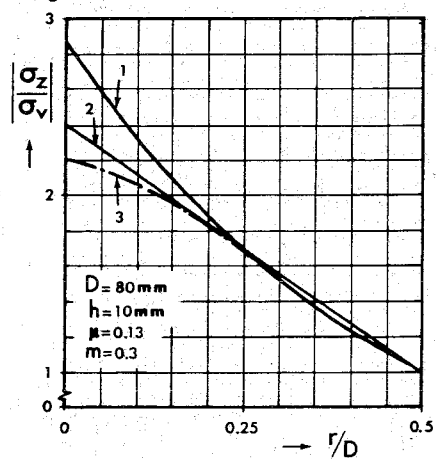
Het zal duidelijk zijn dat onder bepaalde condities de maximale (lokale) drukspanning op het gereedschap een veelvoud kan zijn van de vloeispanning van het werkstukmateriaal. Bij grote breedte-dikte-verhoudingen ($\frac{b}{h}$) kan daarom een gehard stalen pletgereedschap lokaal plastisch deformeren of zelfs bezwijken, ook met bijvoorbeeld aluminium als werkstukmate-



Figuur 7.

riaal. Hierbij dient nog opgemerkt te worden dat tijdens de productie vaak plaatselijk geplet wordt zonder dat dit als zodanig wordt herkend.

Analoog aan het voorgaande kan de drukberg voor een cilindervormige blenk worden berekend. Figuur 8 toont het resultaat van deze berekening. Tevens zijn hier de drukverdelingen aangegeven, verkregen met gebruikmaking van de zogenaamde eindige elementen-methode en voorts met toepassing van het Coulomb-wrijvingsmodel.



De Drukberg voor een cilinder cilindrisch produkt volgens:

1. Coulomb; $\frac{\sigma_z}{\sigma_v} = \exp \left(\mu \frac{D-2r}{h} \right)$
2. V. Mises; $\frac{\sigma_z}{\sigma_v} = 1 + \frac{m}{\sqrt{3}} \frac{D-2r}{h}$
3. Eindige-elementen-methode

Figuur 8.

De door middel van het Von Mises-model en eindige elementen-methode berekende krommen tonen slechts geringe verschillen; dit in tegenstelling tot de kromme volgens het Coulomb-model, waarmee onwaarschijnlijk hoge drukspanningen in het centrum van de blenk berekend worden.

De perskracht

Door integratie van de axiale spanning σ_z over het totale oppervlak kan de optredende perskracht worden berekend. Gebruikmakend van vergelijking 5.3, voor vlakke deformatie, volgt dan voor de momentane perskracht:

$$F = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_v \cdot L \cdot b \cdot \left(1 + \frac{m}{4} \cdot \frac{b}{h}\right) \quad (6.1)$$

Met de versterkingsfunctie 2.7 en de stempelweg s ($s = h_0 - h$) kunnen nu punten van de theoretische kracht-weg-kromme worden uitgerekend met de vergelijking:

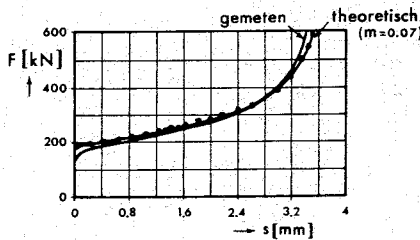
$$F = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot C \cdot L \cdot B \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \ln \frac{h_0 + \epsilon_0}{h_0 - s}\right)^n \cdot \left(1 + \frac{m}{4} \cdot \frac{b}{h_0 - s}\right) \quad (6.2)$$

Figuur 9 toont zowel de gemeten kracht-weg-kromme als de met vgl. 6.2 berekende punten.

Bij de experimenten was de oorspronkelijke breedte van de blenk (b_0) gelijk aan de stempelbreedte B , zodat in de vergelijking geldt:

$$b = b_0 = \text{constant}$$

De hoge waarde voor ϵ_0 is ontstaan door het persen van de blenk op de gewenste beginbreedte. De overeenkomst tussen de berekende en de gemeten kromme is alleszins bevredigend. Voor wat betreft het berekenen van de benodigde perskrachten levert het Von Mises-wrijvingsmodel dus goede resultaten.



materiaal: aluminium
 smeermiddel: lithiumstearaat
 $b = B_0 = B$
 $h_0 = 4 \text{ mm}$
 $C = 123 \text{ N} \cdot \text{mm}^2$
 $n = 0,24$
 $\epsilon_0 = 0,35$
 $m = 0,07$

Figuur 9.

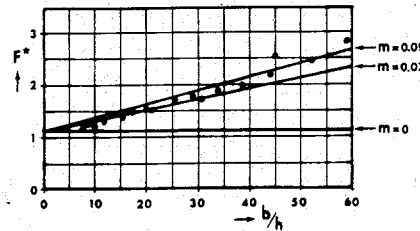
De gemiddelde stempelbelasting

Teneinde de invloed van de wrijving op het pletproces beter te kunnen onderzoeken wordt de grootte F^* ingevoerd, zijnde de genormeerde gemiddelde belasting, die dimensieloos is.

$$F^* = \frac{F}{b \cdot L \cdot \sigma_v} \quad (7.1)$$

Door substitutie van vgl. 6.1 volgt:
 $F^* = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \left(1 + \frac{m}{4} \cdot \frac{b}{h}\right) \quad (7.2)$

Figuur 10 toont de relatie tussen F^* en $\frac{b}{h}$



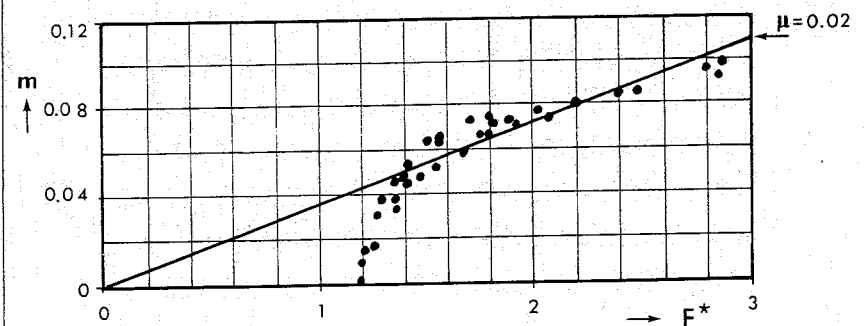
de genormeerde kracht F^* als functie van de deformatieparameter $\frac{b}{h}$

materiaal: aluminium
 smeermiddel: lithiumstearaat

Figuur 10.

Het theoretische verband is hier weergegeven door de rechte lijnen. De aangegeven punten zijn resultaten uit metingen. De overeenstemming tussen de experimentele en de berekende relatie is alleszins redelijk. De wrijvingscoëfficiënt is echter kennelijk niet constant tijdens het proces. Met gebruikmaking van vergelijking 6.2 is voor een reeks pletproeven op aluminium de wrijvingscoëfficiënt m bepaald. In figuur 11 is deze experimenteel bepaalde wrijvingscoëfficiënt uitgezet tegen de genormeerde perskracht F^* .

Uit deze figuur blijkt eens te meer dat m niet constant is; bij voortgaande deformatie cq toenemende druk, neemt hij in waarde toe. Zoals uit figuur 9 blijkt behoeft dit voor de krachtberekening geen problemen op te leveren. Volgens het Coulomb-wrijvingsmodel met $\mu = 0,02$ ontstaat een rechte door de oorsprong, die eveneens in figuur 11 is aangegeven, Blijk-



Figuur 11

baar heeft ook het Coulomb-wrijvingsmodel een zeker geldigheidsgebied. Het verband tussen wrijvingsspanning en normaaldruk is echter complexer dan het Coulomb-model suggereert. Nader onderzoek zal hier opheldering moeten verschaffen.

Samenvatting en conclusies

Uiteengezet zijn een tweetal wrijvingsmodellen, zoals deze in de omvormtechnologie worden gehanteerd. De pletproef als experimentele methode ter bepaling van de wrijvingscoëfficiënt is beschreven. Uit de literatuur en eigen onderzoek blijkt:

- Het Von Mises-wrijvingsmodel verschaft betere resultaten bij het berekenen van de belasting op het gereedschap (drukberg) dan het Coulomb-wrijvingsmodel.
- Uitgaande van het Von Mises-wrijvingsmodel, met constante wrijvingscoëfficiënt m , zijn eenvoudige en relatief betrouwbare berekeningen van proceskrachten mogelijk.
- Zeer weinig is nog bekend omtrent factoren die de grootte van de wrijving beïnvloeden (druk, temperatuur, oppervlaktelagen, oppervlakteruwheid, relatieve snelheid tussen gereedschap en produkt, etc).
- De wrijvingscoëfficiënt beschrijft in het merendeel der empirische en theoretische vergelijkingen slechts ten dele de zuivere wrijvingsinvloed; hij heeft doorgaans meer de functie van de correctiefactor.

Literatuur:

- [1] W.J. Bartz, J. Wolff: Lubrication in Metal Working; 3e Int. Coll. - 12-14-1982; Techn. Akad. Esslingen
- [2] K. Lange: Lehrbuch der Umformtechnik; Springer - 1972.
- [3] D. Schulz: Eignung verschiedener Schmiermittel zum Tiefziehen nichtrostender Stähle bei Verwendung von Werkzeugstahl und Bronze Werkzeuge; Blech 4. (1971) blz. 135-140.
- [4] J. Rosochowicz: Ziefette für Stahlröhre auf der Basis von hersölen und synthetische Fettsäuren; Draht 14 (1963) 6 blz. 311-315.
- [5] M. Kobayashi, Y. Kurosaki en N. Kawai: Influence of friction and Metalproperties on pure stretchability of sheet metals; Trans. A.S.M.E. 102 (1980) 5, blz. 142-150.
- [6] A. Oldewurtel: Beschichtung und Diffusionsverfahren als Mittel zur standmengeerhöhung von Werkzeugen der Blechumformung; Blech 28 (1981) 4, blz. 146-148 en Blech 28 (1981) 5, blz. 197-201.
- [7] Th. Gräbener: Schmierstoffprüfung in der Kaltmassivumformung durch streifenziehen und Ringstanchen; Metall 36 (1982) 4, blz. 375-379.
- [8] G. Schmitt: Untersuchungen über das Rückwärts Napffliesspressen von Stahl bei Raumtemperatur; Ber. a.d. Inst. für Umformtechnik. U. Stuttgart 1968.
- [9] J.H. Dautzenberg: Reibung und Gleitverschleiss bei Trockenreibung; Dissertatie Technische Hogeschool Eindhoven 1977.
- [10] J.A.G. Kals, J.A.H. Ramaekers en L.J.A. Houtackers: Plastisch omvormen van metalen.
- [11] P.C. Veenstra, S. Hoogenboom: Technische Plasticiteitsleer; Collegedictaat Technische Hogeschool Eindhoven.
- [12] J.A.H. Ramaekers, J.A.G. Kals: Instable materialflow in extrusion and upsetting; Annals of the C.I.R.P. 31 (1982) blz. 191-192.
- [13] J.A.H. Ramaekers, J.A.G. Kals: Vormbeheersing bij massiefomvormen; Metaal en Kunststof 19 (1981) 22, blz. 32-35.
- [14] J.A.G. Kals: Het begrip deformatie; Metaalbewerking 39 (1974) 1.

vervolg van pag. 53

enz.) hun waarde bewijzen. De ondergrond kan uitstekend gereinigd worden door middel van gritstralen. Dan wordt het staaloppervlak ontdaan van de aanwezige ongewenste stoffen en ontstaat een ruwheid, die de hechting van de verf bevordert.

Nadelig is echter, dat tussen stralen en schilderen in het schoongestraalde staaloppervlak zeer gevoelig is voor corrosie. Met name de stalen onderdelen van vaste constructies buiten (bruggen, opslagtanks, damwanden, enz.) kunnen dan problemen gaan opleveren: enig aanwezig vocht zal onmiddellijk corrosie veroorzaken. Dit beïnvloedt het gedrag van de daarover aangebrachte verflaag nadelig: de hechting wordt verslechterd en het systeem wordt gevoelig voor blaarvorming. Het is dus van groot belang om de corrosie en vervuiling van het staal zoveel mogelijk te voorkomen. Dat kan door strenge eisen te stellen aan de omstandigheden waaronder gewerkt wordt: voor de relatieve vochtigheid van de lucht wordt 85% vaak als bovengrens aangehouden, daarboven mag niet meer gewerkt worden. Ook wordt wel als voorwaarde gesteld dat de metaaltemperatuur tenminste drie graden boven het heersende dauwpunt ligt.

Deze eisen zijn, zeker onder de Neder-

landse omstandigheden, uiterst nadelig voor de voortgang van de werkzaamheden. Gestraald werk moet regelmatig afgekeurd worden en overgedaan, of het personeel zit te wachten op weersverbetering.

Inhibitoren

Een mogelijkheid voor het werken bij hogere luchtvochtigheid is de toepassing van de natstraaltechniek met inhibitor toevoeging. Aan het gebruikte lucht/straalmiddel in de straal slang wordt water met daarin opgelost een geringe hoeveelheid corrosie-inhibitor toegevoegd.

De corrosie-inhibitoren zijn meestal polyfosfaattypes. Bij juiste toepassing roest het gestraalde staaloppervlak niet door de aanwezige hoeveelheid water, en beschermt het zo gevormde laagje ook tegen corrosie onder invloed van de luchtvochtigheid. Echter, bij het optreden van overlopend water (regen of overmatige condens) treedt een concentratieverlaging op waardoor de werkzaamheid sterk terugloopt.

Diverse verffabrikanten leveren z.g. vochttolerante primers, die geschikt zijn voor toepassing op vochtige, met inhibitoren behandelde staaloppervlakken.

Voorbehandeld straalgrit

Een recente ontwikkeling is het stralen met voorbehandeld straalgrit. Dit wordt door Sikkens BV geleverd onder de naam Blastcoat. Op de straalmiddeeltjes is een zinkhoudend materiaal aangebracht dat door de straalbewerking op en in het staaloppervlak wordt neergeslagen. Door dit roestwerend laagje, dat uiterst dun is, wordt het gestraalde staal gedurende enige tijd tegen roestvorming beschermd.

De werking van zink is te vergelijken met die van het zink op thermisch verzinkt staal. Het onedele zink beschermt het edeler staal. Men spreekt dan van kathodische bescherming. De staalbewerking kan onbelemmerd doorgang vinden, ook bij hoge luchtvochtigheid, condensvorming of regen.

Ter beperking van stofvorming tijdens het stralen kan eventueel ook bij grit met watertoevoeging worden gewerkt. Een inhibitor is dan niet nodig. Er zijn bijpassende verftypes ontwikkeld (o.m. Wetcoat van Sikkens BV.) die op een natte ondergrond, die met dit grit is gestraald, kunnen worden aangebracht. Aangepaste combinaties van voorbehandeld grit en bijpassende verf zijn ook beschikbaar voor toepassing onder water.