



## Het pletten van draad

### Samenvatting

Pletten is een vorm van koud vrije-vormsmiden met veel toepassingen, waarbij de vereiste nauwkeurigheid sterk uiteen kan lopen. De haalbare nauwkeurigheid is bij bepaalde toepassingen zeer hoog. Verdere kenmerken zijn de lage proceskosten en de goede reproduceerbaarheid. Bij veel toepassingen is pletten dan ook een goede keus in vergelijking met mogelijke andere bewerkingen die men geavanceerd of 'high tech' noemt.

Er is meer dan voldoende theorie beschikbaar voor het oplossen van de meeste pletproblemen. In de praktijk wordt deze theorie echter nog veel te weinig toegepast, hoewel men slechts twee formules hoeft te gebruiken. Met deze formules kan snel de juiste keuze gemaakt worden voor het gereedschap, de machine en het materiaal. Zo kan men geld besparen en veel problemen voorkomen.

Er zijn veel soorten pletbewerkingen. Dit artikel behandelt in het bijzonder het pletten van draad.

### Inleiding

Bij de pletbewerking wordt een stuk materiaal, meestal een halffabrikaat, over een bepaald deel tussen een vlakke matrijs en een vlak stempel tot een bepaalde dikte plat geslagen. Deze koudvervormingstechniek wordt in de massafabricage veel toegepast, waarbij de vereiste nauwkeurigheid sterk uiteenloopt. Bij een eenvoudige borging van bijvoorbeeld de wieljes van speelgoedauto's kunnen de eisen minimaal zijn. Bij een reed-relais (elektrotechnische industrie) zijn de maten van de plet essentieel voor de werking en moet de nauwkeurigheid zeer hoog zijn.

Voor het verbeteren van de procesbeheersing zijn theorieën ontwikkeld die in de sectoren waar hoge eisen gesteld worden aan de plet veelal worden gebruikt. Daar waar het niet zo nauwkeurig hoeft, gaat men nog vaak uit van praktijkervaring, intuïtie en vakmanschap. Deze methoden hebben zeer bepaald hun waarde, maar als men daarnaast de theorie gebruikt, kan men veel doelgericht werken. Met slechts enkele formules is een juiste keuze van gereed-

schap, machines en materiaal mogelijk, en dit resulteert in lagere kosten en een eindproduct van hoge kwaliteit

### Draadpletten en massafabrikage

Dit artikel behandelt het pletten van draad in één stap. Pletten kan echter ook in een aantal stappen worden uitgevoerd. (Men spreekt van draad bij diameters kleiner dan ongeveer 11 mm, materiaal met een grotere diameter noemt men rond stafmateriaal.) Draad pletten is een bewerking die in de massafabrikage toegepast kan worden. Het wordt dan gebruikt als een reproductieve vormgevingstechniek, waarbij de matrijs (vlakke vorm bovenzijde) en het stempel (vlakke vorm onderzijde) het productgerichte gereedschap zijn.

Koudvervormingstechnieken in de massaproductie hebben in het algemeen de volgende kenmerken:

- hoge spanningen (enige duizenden  $N/mm^2$ ),  
Bij draad pletten is dit zeker het geval, voor sommige bedrijven kunnen deze hoge spanningen problemen geven;
- een gedrongen constructie van gereedschap en machines,  
Door de hoge spanningen is dit bij pletten het geval.
- hoge productiesnelheid;  
Bij dunne draad is dit zeker het geval, er kunnen meerdere producten tegelijk gemaakt worden. Bij dikkere draad is dit door de al snel zeer groot wordende pletkracht minder het geval, vaak wordt hier de draad nog met de hand in de pers gelegd.
- een langdurige aanloopprocedure van een gereedschap; Bij pletten hoeft dit niet. Het gereedschap is meestal zeer eenvoudig.  
Het maken van een eenvoudige matrijs en het uitvoeren van enige proefslagen is meestal voldoende voor het leveren van producten die aan de eisen voldoen.
- Men overweegt om in het eigen bedrijf te vervaardigen of uit te besteden ('make or buy' filosofie)  
Bij pletten speelt dit een grote rol; Pletten kan namelijk op vrijwel iedere pers worden uitgevoerd en kan daarom in iedere productiehalm worden toegepast waar een pers aanwezig is.

Men ziet vaak van het zelf vervaardigen af omdat al snel een zware pers nodig is. Het zijn echter vooral de vooroordelen rondom het pletten die velen doen besluiten uit te besteden; de bewerking oogt bruto en men wenst de eigen machines te sparen, de onbekendheid met de beschikbare theorie omtrent het pletten is hier groot.

In de massatechnologie is een aantal trends waar te nemen. Het integreren van een aantal functies in één onderdeel is daar één van. Het pletten van draad is hiervoor uitstekend geschikt; de overgang van een ronde naar een platte doorsnede (de plet) biedt hier vele mogelijkheden. Verder worden ook in de plettechniek nauwere toleranties gehaald. Dit is mede te danken aan de toegenomen kennis van het pletproces.

Nu volgen enkele toepassingen van het draadpletten, steeds met een kleine produktomschrijving.

- In de inleiding werd het reed-relais genoemd, dat als schakelaar in telefooncentrales wordt toegepast. De productie vindt in grote aantallen plaats, waarbij draad van 0,7 mm nikkelijzer gebruikt wordt. Voor de werking is het essentieel dat de dikte na het pletten aan nauwe toleranties voldoet. Door een aantal draden circa 30 gelijktijdig te pletten is het mogelijk goedkoop te fabriceren. Hier is duidelijk sprake van massafabricage.
- In een paraplu zitten een aantal scharnietjes welke meestal worden geplet. De tolerantie-eisen mogen, evenals de eisen aan het materiaal, laag zijn ('waaibomenstaal' van ongeveer 2 mm diameter). Na het pletten wordt nog een ponsbewerking uitgevoerd.
- De borging van wieljes aan speelgoed gebeurt soms ook met een pletje. Van toleranties is hier geen sprake, het gebruikte goedkope staal varieert in diameter van ca. 0,8 tot 1,5 mm. Vaak zijn dit zeer grote series, waardoor deze autootjes zo goedkoop mogelijk gemaakt kunnen worden.
- Een ander voorbeeld zijn fondue-vorkjes, waarbij de steekpennen geplette draad zijn waarin de vorktanden uitgestanst worden. De nauwkeurigheidseisen zijn laag. De te pletten diameter ligt hier om en nabij de 3,5 mm.

Zo zijn er nog legio voorbeelden te noemen. In de elektronica wordt veelvuldig (dun materiaal) in grote massa's geplet. Op veel kleinere schaal gebeurt dit bijvoorbeeld bij haak- en breinaalden, kruisdraden achter kasten en diverse bevestigingsmiddelen.

In het algemeen is het zo dat, behoudens een enkele uitzondering als bijvoorbeeld schroevendraaiers, bij grotere draaddiameters over seriefabrikage gesproken kan worden. Dit valt deels te verklaren uit de sterk oplopende pletkracht bij dikkere draad, waardoor minder produkten tegelijkertijd gemaakt kunnen worden. De theorie, welke kort behandeld wordt na de algemene problemen bij het pletten, zal over de toenemende pletkracht meer duidelijkheid verschaffen.

**Problemen bij het pletten**

Hoewel de eisen die aan de plet worden gesteld uiteen kunnen lopen, komen de problemen waar men op stuit in grote lijnen overeen.

Ze zijn terug te voeren op een viertal vragen:

- 1 Waardoor wordt de pletkracht zo hoog bij iets grotere vervormingen (naarmate men dunner plet)?
- 2 Waarom kan niet altijd zover geplet worden als gewenst?
- 3 Waar komt de extreme gereedschapslijtage vandaan?
- 4 Heeft het zin om tijdens het pletten te smeren?

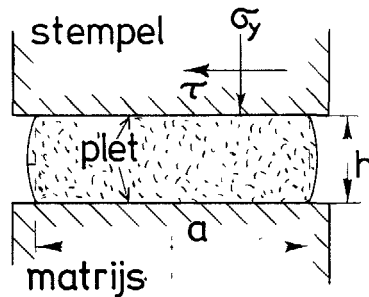
Om deze vragen te kunnen beantwoorden gaan we het pletproces nu eerst theoretisch nader beschouwen.

**De theorie van het pletten**

In dit hoofdstuk wordt de gedachten-gang beschreven welke tot hanteerbare formules c.q. uitspraken over het pletten leidt. Een volledige mathematische beschouwing kan onder andere gevonden worden in 'Theoretische achtergronden van de plasticiteitsmechanica' van Prof. ir. F. Doorschot (1989).

We gebruiken de volgende notatie, zie figuur 1.

- een staaldraad met de diameter  $d$  wordt plat geslagen tot een dikte  $h$ .
- de plet heeft een lengte  $l$  (loodrecht op vlak van tekening in de figuur).
- de breedte van de plet na het pletten noemen we  $a$
- de schuifspanning wordt aangegeven met  $\tau$ .



Figuur 1

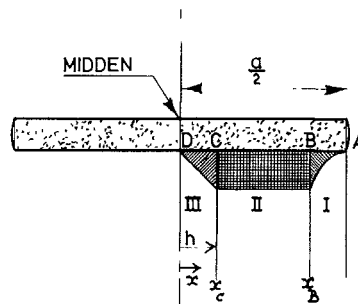
De wrijvingscoëfficiënt tussen matrijs en draad wordt aangeduid met  $\mu$  en bedraagt 0,50.

De plasticiteitsconstante  $k$  bedraagt  $\sigma_i/3$ , waarbij  $\sigma_i$  de maximum spanning in de trekkromme is.

De lengte  $l$  van de plet blijkt nauwelijks te veranderen. Hierdoor is het oppervlak van de doorsnede voor en na het pletten nagenoeg gelijk, zodat:

$$a = \frac{\pi d^2}{4h} \tag{1}$$

Bekijken we nu het verloop van de schuifspanning aan het contactvlak matrijs/werkstuk (draad), dan blijken drie gebieden te kunnen worden onderscheiden, zie figuur 2.



Figuur 2.

In gebied I geldt:

$$\tau = \pm \mu \sigma_y$$

Daar  $\sigma_y$  van A naar B toeneemt, zal ook  $\tau$  toenemen.

In gebied II geldt:

$$\tau = \pm k$$

Het materiaal vloeit door de schuifspanning.

In gebied III geldt:

$$\tau = \pm \frac{kx}{h}$$

In het midden is er geen materiaalverplaatsing, daar moet dus gelden dat  $\tau = 0$  en men neemt aan dat  $\tau$  lineair toeneemt tot  $\tau = \pm k$ . De lengte waarover deze toename plaatsvindt schatten we  $h$ . De eventuele afwijking van deze aanname heeft geen grote invloed op het eindresultaat.

Het blijkt dat de maximale spanning optreedt in gebied II. De grootte van de normaalspanning is afhankelijk van de neiging tot vloeien, waarvoor  $k$  een maat is ( $\sigma_i = k\sqrt{3}$ ).

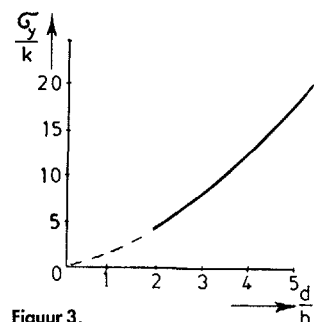
Verder zijn de breedte en hoogte van de plet ( $a$  resp.  $h$ ) van invloed.

Tussen al deze variabelen blijkt de volgende relatie te bestaan:

$$\frac{\sigma_y}{k} = \frac{a}{h} + 1 \text{ (voor } \frac{a}{h} > 2 \text{)} \tag{2}$$

Combineren we dit met wat bij (1) gevonden is, dan ontstaat de volgende relatie:

$$\frac{\sigma_y}{k} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{d}{h}\right)^2$$



Figuur 3.

Dit is in figuur 3 in beeld gebracht. Naarmate  $d/h$  stijgt, ofwel naarmate men verder plet, groeit de benodigde spanning kwadratisch.

De benodigde pletkracht  $P$  bedraagt:

$$P = \frac{klh}{\mu} \left[ \frac{1}{2\mu} - 1 + \frac{x_B}{h} + \mu \left( \frac{x_B}{h} \right)^2 - \frac{\mu}{3} \right] \tag{3}$$

waarbij:

$$x_B = \frac{a}{2} + \frac{h \log 2\mu}{2\mu} \tag{4}$$

Uit  $\pm \frac{a}{2} = 0,50$ , volgt  $x_B = \mu$

## Het pletten van draad

Voor de pletkracht geldt ook een kwadratisch verband met de afmeting van de plet.

De theorie heeft het volgende opgeleverd:

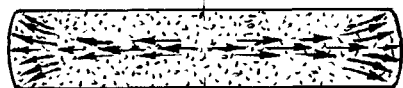
- Een formule waaruit de pletkracht uit bekende variabelen kan worden bepaald. Zo kan de juiste pers gekozen worden.
- Een grafiek waaruit de spanning afgelezen kan worden bij een gewenste pletverhouding. Zodoende kan de juiste hardheid van het matrijsmateriaal bepaald worden. Indien de materiaalkeuze bekend is, kan met behulp van dezelfde grafiek de maximaal te bereiken pletverhouding worden bepaald.

Kortom, de keuze van materiaal, machine en gereedschap kan nu zo gunstig en economisch mogelijk gebeuren.

### Antwoorden op de vier vragen

De eerder gestelde vier vragen kunnen we nu beantwoorden.

- 1 Waarom de pletkracht zo snel toeneemt bij iets grotere vervormingen volgt uit formule (3), de stijging is kwadratisch. Anders gezegd, bij een grotere vervormingen moet het vloeiende materiaal zich over een grotere afstand door een kleinere opening naar buiten verplaatsen.



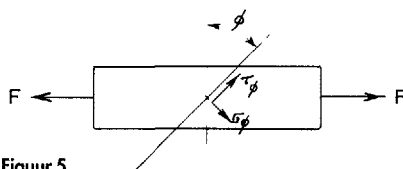
Figuur 4.

- 2 Om twee redenen zijn er grenzen aan het pletten. De eerste is dat het matrijsoppervlak steeds harder gemaakt dient te worden aangezien de spanningen snel toenemen tot zeer hoge waarden. Hierdoor wordt de matrijs duurder of is het soms zelfs onmogelijk nog een geschikt hardmetaal te vinden dat deze drukkrachten aan kan. De tweede reden is dat de pletkracht zeer hoog wordt (zie 1), waardoor er eenvoudig geen machines meer beschikbaar zijn die deze kracht kunnen leveren.

- 3 De extreme gereedschapslijtage is een gevolg van het onderschatten van de spanningen aan het matrijsoppervlak. Dit is niet noodzakelijk, de theorie maakt vooraf een juiste keuze van het matrijsmateriaal mogelijk. Is de beno-

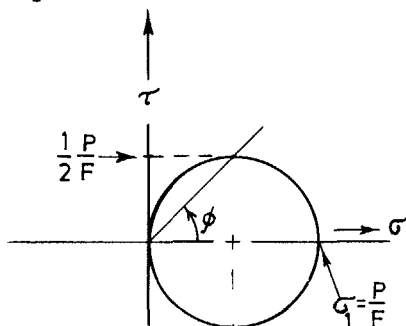
digde sterkte niet te krijgen, dan zal men met een kleinere pletverhouding moeten werken of zachtere draad gebruiken.

- 4 De vraag of smeren enige zin heeft, hangt nauw samen met de vraag hoe groot de wrijvingscoëfficiënt is tussen het contactvlak en de matrijs. Om hier enig inzicht in te krijgen gaan we eerst kijken naar de spanningen in een blokje waaraan getrokken wordt, zie de figuren 5, 6 en 7.



Figuur 5.

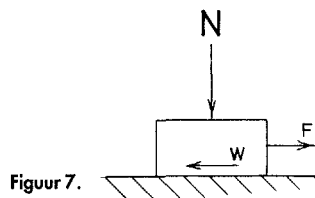
Voor een blokje geldt dat de maximale schuifspanning,  $\tau_\phi$  bij  $\tau = 45^\circ$ , de helft bedraagt van de maximale spanning die optreedt in een trekstaaf voordat breuk optreedt. Dit volgt uit de cirkel van Mohr



Figuur 6.

$$\text{Dus } \tau_{\max} = \frac{1}{2} \sigma_{\max} = \frac{1}{2} \sigma_{\text{breuk}}$$

We kijken nu naar een blokje waarop een normaalkracht  $N$  werkt volgens figuur 7.



Figuur 7.

Wanneer we aan het blokje trekken in de richting van de kracht  $F$ , moeten we de wrijvingskracht  $W$  overwinnen om het blokje in beweging te krijgen en te houden.  $W$  is afhankelijk van  $N$  volgens:

$$W = \mu N$$

( $\mu$  is hier de wrijvingscoëfficiënt)

Delen door de oppervlakte  $A$  van de onderzijde van het blokje geeft:

$$\frac{W}{A} = \mu \frac{N}{A} \rightarrow \tau = \mu \sigma$$

en dus

$$\tau = \mu \sigma, \text{ en dus: } \tau_{\max} = \frac{1}{2} \sigma_{\text{breuk}}$$

$$\frac{1}{2} \sigma_{\text{breuk}} = \mu \sigma_{\text{breuk}}$$

$$\mu_{\max} = \frac{1}{2}$$

Bij  $\mu = 0,5$  bewegen dus de oppervlakken niet ten opzichte van elkaar.

We gaan nu terug naar het pletproces.

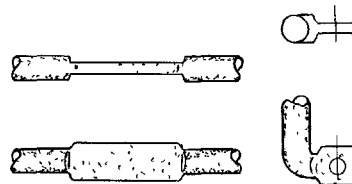
Wanneer een stuk draad vervormd wordt dan schuift het materiaal af. Dit wil zeggen dat  $\mu_{\max}$  bereikt is en dus, zoals net bleek, dat de wrijvingscoëfficiënt  $\mu = 0,5$ , hetgeen op zijn beurt betekent dat de materialen niet ten opzichte van elkaar bewegen en dat dus smeren geen zin heeft.

Bovendien loopt de oppervlaktedruk tijdens het pletproces zo hoog op dat smeermiddelen vast van vorm worden, waardoor de smerende werking verloren gaat.

### De praktijk

De volgende twee produkten werden met een 40 tons excenterpers geplet:

- het eerste product is een draad van 6 mm dik, waarin zich over een geplet gedeelte van 30 mm lengte bevindt, zie figuur 8a.
- het tweede product is een hendel voor een koffieautomaat, waarbij eveneens werd uitgegaan van 6 mm draad dat werd gereduceerd tot 3 mm maar nu over een lengte van 15 mm zie figuur 8b.

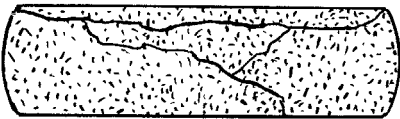


Figuur 8a

b

De dikte van de plet bedraagt 3 mm, de pletverhouding is dus 2. Aan een dergelijk product wordt van te voren niet gerekend, uit ervaring weet men of een product gemaakt kan worden, en wordt een opdracht wel of niet aangenomen

Neemt men de opdracht aan dan levert de ervaring ook weer de eerste aanzet voor keuze van het gereedschap, materiaal en machine. Door proberen wordt dan de definitieve afstelling gemaakt. Het tweede produkt was gaf problemen: bij het nabewerken (afkappen en gat ponsen) barstte het materiaal in de doorsnede, zie figuur 9.



Figuur 9.

We gaan nu de theorie en de praktijk vergelijken bij het eerste produkt, de draad van 6 mm die over een lengte van 30 mm geplet werd tot 3 mm dikte. De pletkracht en de spanning in het materiaal zijn bij het bedrijf niet bekend. We zullen nu eens gaan kijken hoe groot de krachten en spanningen volgens de theorie zijn.

De belangrijkste uitkomsten zijn hierna met de hand berekend om een indruk te kunnen geven hoe dit in de praktijk gaat, en te laten zien hoe eenvoudig dit is (De pletkracht bij  $\mu = 0,5$  is volgens formule 3):

$$P = 4 k l h \left[ \frac{x_B}{h} + 0,5 \left( \frac{x_B}{h} \right)^2 - \frac{1}{6} \right]$$

Om deze formule te kunnen uitwerken moeten we eerst  $a$  uitrekenen, met behulp van:

$$a = \frac{\pi d^2}{4h} = 9,4 \text{ mm} \quad (d = 6 \text{ mm}, h = 3 \text{ mm})$$

Dit vullen we in.

$$x_B = \frac{a}{2} + \frac{h \log 2\mu}{2\mu}$$

Aangezien  $\mu = 0,5$  is, is dit te vereenvoudigen tot:

$$x_B = \frac{a}{2} = 4,7 \text{ mm}$$

Vervolgens hebben we nog nodig:

$k = \sigma_t / 3$  waarin  $\sigma_t$  de maximale spanning in de trekkromme van het desbetreffende materiaal, in dit geval 440 N/mm.

De waarden van de overige variabelen volgen uit de geometrie van de plet:

$h = 3 \text{ mm}$  en  $l = 30 \text{ mm}$

Hieruit volgt dat de pletkracht  $P = 240.519 \text{ N}$ , of wel ongeveer 24 ton. De keuze van de 40-tons pers is dus goed.

Tot slot berekenen we de maximale drukspanning met (2). Hiervoor hebben we overigens de perskracht niet nodig en deze berekening kon dus al eerder plaatsvinden.

De maximale drukspanning bedraagt:

$$\sigma_{y, \max} = \left( \frac{a}{h} + 1 \right) k = 1052 \text{ N/mm}$$

Hierop kan de keuze van het matrijsmateriaal gebaseerd worden.

### Eindconclusie

Door te kiezen voor draadpletten, een koudvervormingstechniek, kiest men voor een spaanloze bewerking. Dit levert in vele gevallen een aanzienlijke kostprijbesparing op, zoals bijvoorbeeld bij de scharnieren van de paraplu, die 'onbetaalbaar' zouden worden, indien door verspaning gefabriceerd.

Bij het pletten wordt er veelal 'automatisch' op de materiaalkosten bespaard. Niet alleen omdat er geen afval geproduceerd wordt, maar ook omdat het te pletten materiaal goedkoper wordt naarmate het beter vervormbaar is. Minder hoogwaardige staalsoorten kosten het minst en vervormen het beste. Deze regel gaat voor veel materialen op.

De theorie van het pletten kan voor bedrijven die nu nog volgens 'trial and error' werken een besparing opleveren. Het bepalen van de machine die het werk aan kan, is nu betrouwbaarder te doen; inzetten van een te zware, en dus te dure machine wordt zo vermeden. Ook bij de keuze van het matrijsmateriaal kan nu bespaard worden, doordat onderdimensionering (en te zacht materiaal) zowel als overdimensionering (te hard materiaal) worden voorkomen. Kort samengevat hebben we dus voor het draadpletten:

als voordelen:

- spaanloos, geen afval,
- korte cyclustijd,
- materiaal krijgt grote sterkte door versteviging,
- met universele machine uitvoerbaar (pers),
- schone bewerking (geen smering, geen spatten),
- eenvoudige, goedkope matrijs

en als nadelen.

- benodigde perskracht kan al snel zeer groot zijn,
- beperking in pletverhouding (door materiaal, matrijs, of machine),
- bij grotere draaddikten loopt de fabricagesnelheid al snel terug,
- versteviging in materiaal kan problemen geven,
- materiaal kan bij grote pletverhoudingen bros worden of scheuren.

Dit artikel is een weergave van een rapport geschreven in december 1989 door de toenmalige studenten J. Aarts, P. Adams, R. Slagter en R. Sniijders onder leiding van Prof. ir. F. Doorschot van de Faculteit van het Industrieel Ontwerpen van de TU Delft.