

## Omvormprocessen

Proceskeuze van het omvormen van producten welke in kleine series met hoge nauwkeurigheidseisen worden vervaardigd

Deze publicatie is gemaakt in het kader van het project "Proceskeuze voor de fabricage van producten met hoge nauwkeurigheidseisen te vervaardigen in kleine series" en verschijnt tezamen met de publicatie "Een vergelijking van het laserlassen met conventionele lastechnieken voor kleine series producten".

Het doel van deze publicatie is het ondersteunen van de ontwerper en de werkvoorbereider bij het kiezen van het optimale omvormproces wat betreft technologie en economie. Hierbij dient niet alleen te worden uitgegaan van de eisen die aan het eindproduct gesteld worden, maar er dient ook rekening te worden gehouden met de eisen die opvolgende bewerkingen, zoals lasprocessen aan halffabrikaten stellen.

### Inhoud

|       |                                                                       |    |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1     | Algemeen                                                              | 1  |
| 2     | Processen                                                             | 1  |
| 2.1   | Hydrovormen                                                           | 1  |
| 2.1.1 | Hydrovormen van buis                                                  | 2  |
| 2.1.2 | Hydrovormen of stretchvormen van plaatdelen                           | 2  |
| 2.1.3 | Hydromechanisch dieptrekken van plaatdelen                            | 3  |
| 2.2   | Explosief omvormen                                                    | 3  |
| 2.2.1 | Inleiding                                                             | 3  |
| 2.2.2 | Het proces                                                            | 3  |
| 2.3   | Rubberpersen van plaatdelen                                           | 4  |
| 2.3.1 | Algemeen                                                              | 4  |
| 2.3.2 | Het proces                                                            | 4  |
| 2.3.3 | Productmateriaal                                                      | 5  |
| 2.4   | Forceren                                                              | 5  |
| 2.4.1 | Gemechaniseerd forceren                                               | 5  |
| 2.4.2 | Buisforceren                                                          | 6  |
| 2.5   | Flenzen                                                               | 6  |
| 2.6   | Conisch vloeidraaien                                                  | 7  |
| 2.6.1 | Cilindrisch vloeidraaien                                              | 8  |
| 2.7   | Buigen                                                                | 8  |
| 2.7.1 | Vrijbuigen                                                            | 8  |
| 2.7.2 | Vijfpuntsbuigen                                                       | 9  |
| 2.7.3 | Matrijsbuigen met goedkoop gereedschap                                | 9  |
| 2.7.4 | Zwenkbuigen                                                           | 10 |
| 2.7.5 | Strijkbuigen                                                          | 10 |
| 2.7.6 | Vergelijking buigprocessen                                            | 11 |
| 2.8   | Rolbuigen van plaatdelen                                              | 11 |
| 2.8.1 | Rolbuigen met stalen rol en elastomeer buigrol                        | 12 |
| 2.9   | Kalibreren van buis                                                   | 12 |
| 2.10  | Dieptrekken met goedkoop gereedschap                                  | 12 |
| 3     | Relevante materiaaleigenschappen                                      | 13 |
| 4     | Toepassingsmogelijkheden van de geselecteerde plaatbewerkingprocessen | 14 |
| 4.1   | Technologische haalbaarheid                                           | 14 |
| 4.2   | Economische haalbaarheid                                              | 16 |
| 4.3   | Voorbeeld: de hagedis                                                 | 17 |
| 4.3.1 | Overige voorbeelden                                                   | 17 |
| 4.3.2 | Conclusies van de behandelde cases                                    | 27 |
| 5     | Productvoorbeelden                                                    | 28 |

- ▶ rubberpersen van plaat;
- ▶ forceren en vloeidraaien;
- ▶ flenzen;
- ▶ vrijbuigen, vijfpuntsbuigen, strijkbuigen en zwenkbuigen;
- ▶ matrijsbuigen met goedkoop gereedschap;
- ▶ rolbuigen van plaatdelen;
- ▶ kalibreren van buis;
- ▶ dieptrekken met goedkoop gereedschap.

### 2.1 Hydrovormen

#### Het proces

Hydrovormen is een omvormproces, waarbij vloeistoffen functioneren als omvorm medium. Vloeistoffen kunnen zeer hoge druk ondergaan met behoud van hun eigenschappen. Dit terwijl het volume van vloeistof door de druk niet wijzigt. Omdat vloeistof nauwelijks samendrukbaar is, kan vloeistof bij het hydrovormen de functie van bijvoorbeeld een stalen gereedschap voor een belangrijk deel overnemen. Dit omvormmedium heeft het voordeel dat mechanische beschadigingen hiermee niet kunnen optreden.

Aan één zijde van het product wordt een mechanisch "statisch" gereedschap gebruikt, terwijl aan de andere zijde van het product de vloeistof als flexibel gereedschap dient. De toegepaste vloeistofdruk kan, indien nodig, 3000 bar of meer bedragen.

Het hydrovormen van buis staat ruim 35 jaar in de belangstelling. Vrij snel daarna was ook het hydrovormen en het hydromechanisch dieptrekken van plaatdelen actueel. Het beeld, dat 35 jaar geleden bestond, dat hydrovormen op grote schaal door veel toeleveranciers zou worden toegepast, is niet bewaarheid geworden. Al vrij snel bleek, dat hydrovormen voornamelijk voor specialisten was weggelegd. Aanvankelijk werd met betrekkelijk eenvoudige hydrovormprocessen gewerkt. Toen ook de automotive interesse kreeg voor bijvoorbeeld het hydrovormen van uitlaatsystemen, werden persen en gereedschappen groter en geavanceerder. Er ontstond geleidelijk een situatie, waarbij het hydrovormen slechts economisch toegankelijk werd voor grootseriefabricage. Voortbouwend op het kennisoverdrachtproject hydrovormen van plaat- en buisvormige producten in kleine series van de Federatie Dunne Plaat, is deze technologie toegankelijk voor een groter deel van de Nederlandse industrie. Complexe plaat- en buisvormige producten kunnen met deze technologie in kleine series worden geproduceerd. Het hydrovormen kent de volgende meest bekende varianten:

- ▶ hydrovormen van buis met (zie figuur 1a) of zonder axiale buisaanvoer;
- ▶ hydrovormen of stretchvormen van plaatdelen (zie figuur 1b);
- ▶ hydromechanisch dieptrekken van plaatdelen (zie figuur 2).

## 1 Algemeen

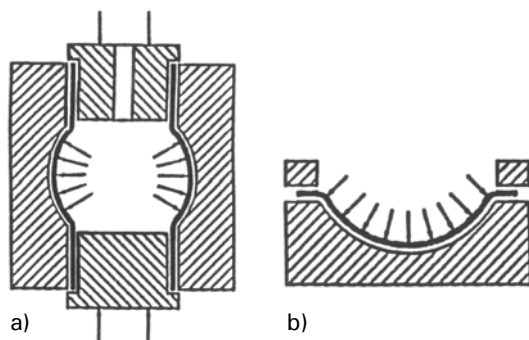
Deze publicatie biedt ondersteuning bij de proceskeuze voor plaat- en buisvormige producten met een hoge moeilijkheidsgraad door:

- ▶ een heldere beschrijving van omvormprocessen voor kleine series in nauwkeurig plaatwerk;
- ▶ richtlijnen voor de technologische en economische toepassing van deze processen voor verschillende productcategorieën;
- ▶ een beschrijving van praktische cases, die de juistheid van deze richtlijnen moeten bevestigen.

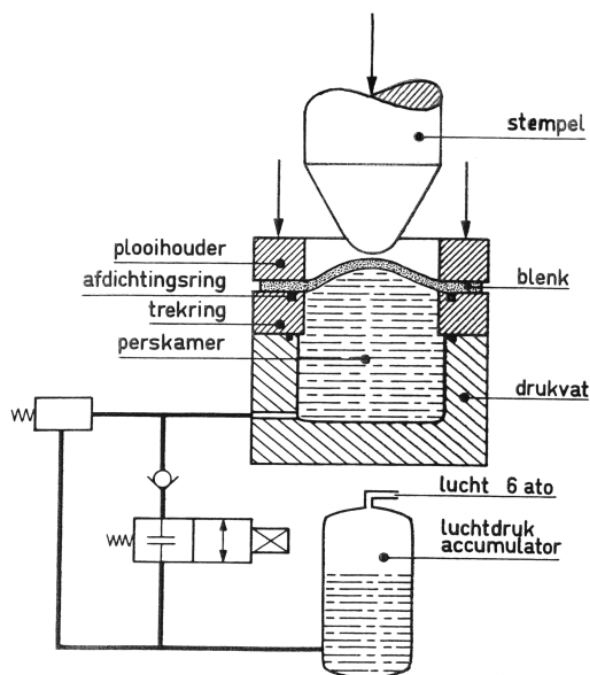
## 2 Processen

De publicatie zal in het kader van de vervaardiging in kleine series van producten met hoge nauwkeurigheidseisen ondersteuning bieden bij de keuze uit de onderstaande processen:

- ▶ hydrovormen van buis en plaat;
- ▶ explosief omvormen van buis en plaat;



figuur 1 Schematische voorstelling alternatieve omvormprocessen met hydraulisch medium: hydromechanisch omvormen van buis (a) en hydrovormen van plaat (b)



figuur 2 Hydromechanisch dieptrekken van plaatdelen

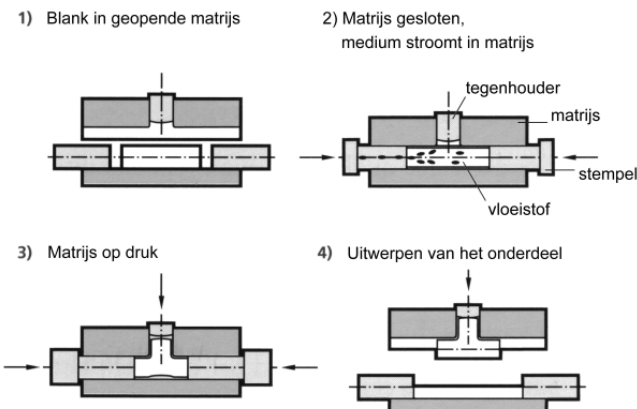
### 2.1.1 Hydrovormen van buis

De keuze tussen het proces met of zonder axiale buis aanvoer wordt bepaald door de volgende criteria:

- de productvorm;
- de noodzakelijke omvormgraad, oftewel de moeilijkheidsgraad van het product;
- de toelaatbare wandverdunding;
- de seriegrootte, die per productiejaar en per jaar moet worden geproduceerd;
- de meest economische productprijs in relatie tot de benodigde gereedschapinversering en in te zetten machines.

Indien de buis grote, complexe vervormingen moet ondergaan, zal men ervoor kiezen om naast de radiale vervorming van de buis middels de vloeistofdruk de buis tevens in axiale richting vanuit de beide buisuiteinden aan te voeren (zie figuur 3). De plastisch ideale spannings-toestand, die hierbij in de buiswand ontstaat, maakt extreem grote vervormingen in één processtap mogelijk. Men kan ook kiezen om de buis zonder axiale aanvoer te vervormen. In dit geval bepalen de mechanische omvormeigenschappen van het materiaal, zoals de strekbaarheid en stuikbaarheid, de te realiseren omvormbaarheid. Met tussenliggende gloebewerkingen, waarbij men de koudversteving van het materiaal reduceert, is men echter ook in staat de gewenste vervorming te be-

reiken. Omdat hierbij geen materiaal in axiale zin wordt aangevoerd, vermindert de wanddikte in relatie met de omvormgraad. Met beide methoden zijn, afhankelijk van de aard van het productmateriaal, grote vervormingen tot 80 % of meer haalbaar.



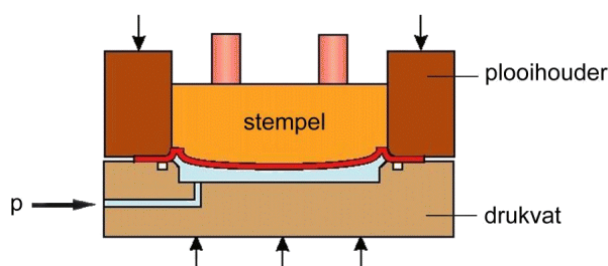
figuur 3 Hydromechanisch vormen van een T-stuk

Voor het hydrovormen van eenvoudige buisdelen kan zonder aanvoerkracht worden gewerkt en is een hydraulische pers, die de sluitkracht levert toereikend. De inwendige druk wordt geleverd door een pomp met intensifier, die water in het buisdeel perst. Om roestvorming van het gereedschap en de plaatdelen te voorkomen, wordt met een emulsie van water en een roestwerend middel gewerkt.

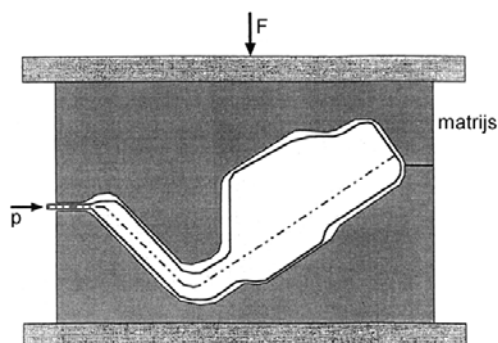
### 2.1.2 Hydrovormen of stretchvormen van plaatdelen

Het proces (zie figuren 4 en 5) leent zich uitstekend voor ondiepe plaatdelen. Onder ondiepe trekdelen worden in dit kader die delen verstaan, die voor het grootste deel uit rek kunnen worden gevormd. De plaat wordt hierbij ingeklemd en middels vloeistofdruk in een matrijs geperst. Dit impliceert, dat de producent over de volgende outillage moet beschikken:

- pers voor het leveren van de sluitkracht, c.q. plooihouderkracht;
- drukvat voor het vormen van het trekdeel.



figuur 4 Hydrovormen van een plaatdeel

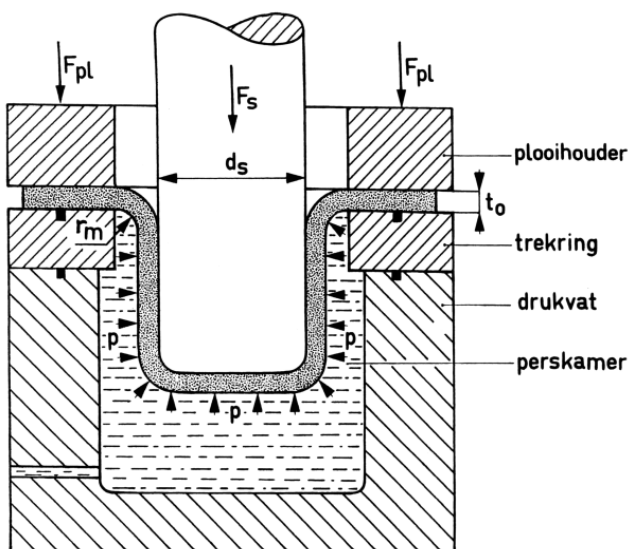


figuur 5 Hydrovormen van samengestelde plaatdelen

Indien het product volledig uit rek kan worden gevormd, kan deze bewerking in principe op een enkelvoudige pers en een (eventueel programmeerbaar) drukvat worden uitgevoerd. Ondiepe trekdelen kunnen dus economisch verantwoord met low cost productiemiddelen door hydrovormen worden vervaardigd. Het proces doet enigszins aan rubberpersen denken. Een belangrijk verschil is echter het medium, dat wordt gebruikt. Omdat de wrijvingskrachten bij het omvormen met water aanzienlijk kleiner zijn dan die met rubber, zullen met hydrovormen diepere producten kunnen worden getrokken dan met rubberpersen het geval is. In het geval dat er complexe vormen moeten worden gemaakt, wordt een min of meer ongedefinieerde voorfase langs mechanische weg gevormd. Vervolgens wordt de eindfase door hydrovormen gerealiseerd. Op deze manier kunnen ook samengestelde plaatdelen worden gevormd. De delen worden hierbij doorgaans langs mechanische weg voorgevormd. Middels lassen worden ze samengesteld en kunnen vervolgens door hydrovormen worden gekalibreerd (zie figuur 5).

### 2.1.3 Hydromechanisch dieptrekken van plaatdelen

Hydromechanisch dieptrekken (zie figuur 6) is geschikt voor het dieptrekken van diepe en complexe producten. Het gereedschap bestaat uit een productgebonden stempel en een plooihouderring. Een trekking is niet nodig,



figuur 6 Hydromechanisch dieptrekken

omdat er met een universeel drukvat wordt gewerkt, waarin drukken tot 1200 bar optreden. In tegenstelling tot het conventionele dieptrekken zijn de wrijvingskrachten nihil en wordt de reeds gevormde productwand met grote kracht tegen het stempel aangedrukt, hetgeen de maximaal haalbare dieptrekverhouding vergroot.

## 2.2 Explosief omvormen

### 2.2.1 Inleiding

Bij explosief omvormen wordt de kracht van een onderwater explosie gebruikt voor het omvormen van plaatmateriaal. De explosieve lading kan voor iedere vorm en afmeting worden aangepast. Dit maakt de mogelijkheden van dit proces zeer groot.

Het explosief omvormen is vrij arbeidsintensief en de cyclustijden zijn erg lang. Daarentegen kan in het algemeen gebruik worden gemaakt van eenvoudige goedkope gereedschappen. Daarom is het vooral geschikt voor kleine series en voor producten die niet makkelijk met andere technieken te maken zijn.

### 2.2.2 Het proces (zie figuur 7)

De plaat wordt op een matrijs geplaatst. Op de plaat wordt vervolgens water aangebracht.

Nadat in de matrijsholte een vacuüm is getrokken (noodzakelijk voor een goede vormgeving) wordt de explosieve stof in het water tot ontploffing gebracht zodat de plaat in de matrijs wordt omgevormd.

Behalve vlakke platen kunnen ook gebogen platen, conussen en cilinders explosief worden vervormd.

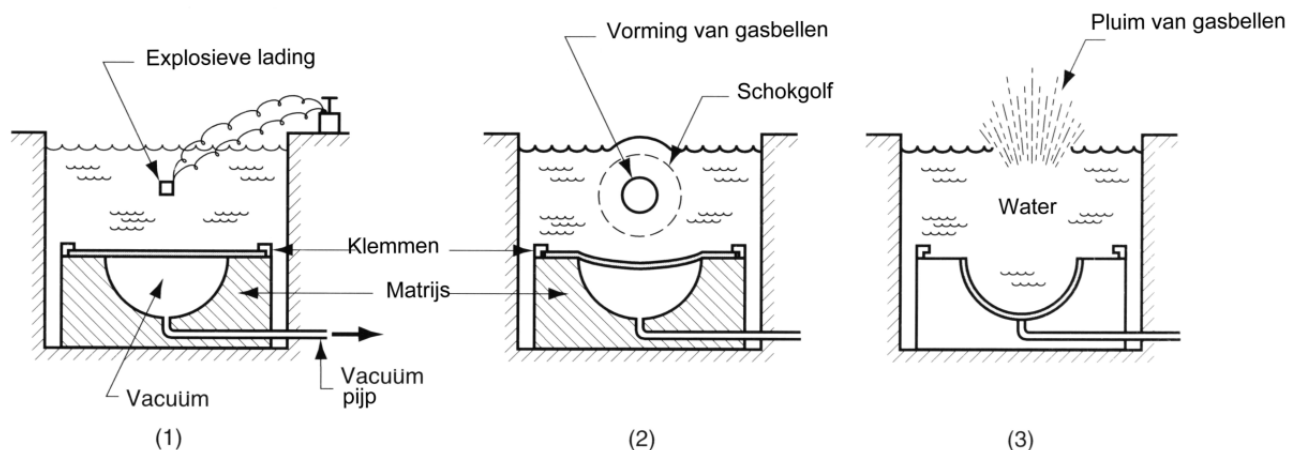
Het proces kan goed voor elk product worden geoptimaliseerd, omdat er veel procesvariabelen zijn. De massa en de vorm van de explosieve lading kunnen worden aangepast.

De druk van de explosie kan door reflectoren en door het variëren van de waterhoogte worden verbeterd.

In bepaalde gevallen kan een matrijs van hout of beton worden toegepast, zodat de investering in gereedschap beperkt blijft.

Gelaste platen kunnen goed worden vervormd, mits de las van goede kwaliteit is.

Voor niet-lossende vormen moeten gedeelde matrijzen worden toegepast.



figuur 7 Het principe van explosief omvormen:

(1) De opstelling

(2) De lading wordt tot ontploffing gebracht

(3) Schokgolven vormen het onderdeel en pluimen van gasbellen ontsnappen aan het wateroppervlak

## 2.3 Rubberpersen van plaatdelen

### 2.3.1 Algemeen

Rubberpersen (zie figuur 8) is een oude omvormtechnologie, die echter de laatste 10 jaar een brede toepassing heeft gekregen voor klein-serie fabricage. Daarvoor werd het rubberpersen reeds op grote schaal toegepast in de vliegtuigindustrie, waar dubbel gekromde profielen in kleine series moeten worden gemaakt. De in figuur 9 weergegeven luchthapper is een toepassingsvoorbeeld in de jachtenbouw. Aan de buitenzijde moet dit onderdeel een hoge oppervlaktekwaliteit bezitten. In combinatie met de kleine seriegrootte betekent dit, dat rubberpersen naast hydrovormen hiervoor een geschikt omvormproces is. Verder werden sedert lange tijd de "Eladip" holle rubberkussens op kantpersen gebruikt (figuur 10). Het rubberpersen kent voor- en nadelen, die als volgt kunnen worden samengevat:

- + geringe omsteltijden
- + grote productvariatie met het rubberkussen
- + geen oppervlaktebeschadigingen
- + meer omvormfasen in één persslag
- + relatief lage investeringskosten; er wordt slechts perskracht, arbeid en vermogen gevraagd. Nauwkeurigheid van de pers is minder belangrijk.
- lage productiesnelheid; cyclustijd 0,5 tot 1 min.
- hoge slijtage rubber; daarom wordt gebruik gemaakt van een onderlaag van een goed vervormbaar polyurethaan (hardheid 60 shore) en een slijtlaag met een hardheid van 80 tot 90 shore.

hoge perskrachten, of anders gezegd, beperkte productgrootte; de vereiste persdruk bedraagt 300 tot 700 bar. De vereiste perskracht bedraagt dan:

$$F_{\text{pers}} = \text{persdruk} \times \text{grondvlak rubberkussen}$$

Op deze manier kan worden vastgesteld, dat voor een eenvoudig product met een vereiste persdruk van 320 bar en een grondvlak van het rubber kussen van 500 × 500 mm een perskracht nodig is van:

$$F_p = 320 \times 2500 = 800.000 \text{ kgf oftewel } 8.000 \text{ kN}.$$

Ogenschoonlijk is het rubberpersen een eenvoudige bewerking. De zeer hoge perskrachten om bijvoorbeeld producten met scherpe detailvormen zonder scheurvorming en plooiën te persen, vraagt veel vakmanschap en hydraulische persen met extreem hoge perskrachten. Zo dient men voor industriële producten in de afmetingen van ca. 1300 × 800 mm over een 30.000 kN hydraulische pers te beschikken. Het rubberpersen kan dus in feite alleen efficiënt worden toegepast door gespecialiseerde toeleveranciers.

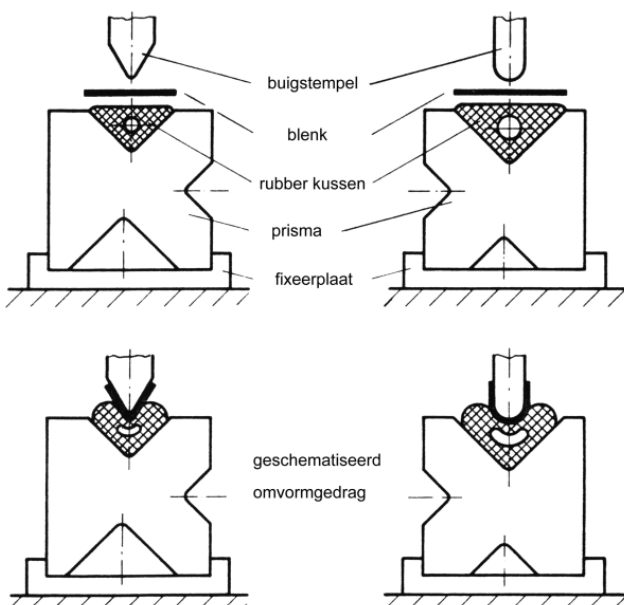
### 2.3.2 Het proces

In de onlangs vernieuwde publicatie "Rubberpersen" worden de mogelijkheden en beperkingen van het rubberpersen uitgebreid beschreven.

Het rubberpersen wordt uitgevoerd met een productgebonden stempel en een rubberkussen, dat in een pers-



figuur 9 Door rubberpersen vervaardigde luchthapper voor een plezierjacht



figuur 10 Buigen met rubber in een universeel kantgereedschap

koffer is opgesloten. Er bestaat onderscheid tussen positief en negatief rubberpersen.

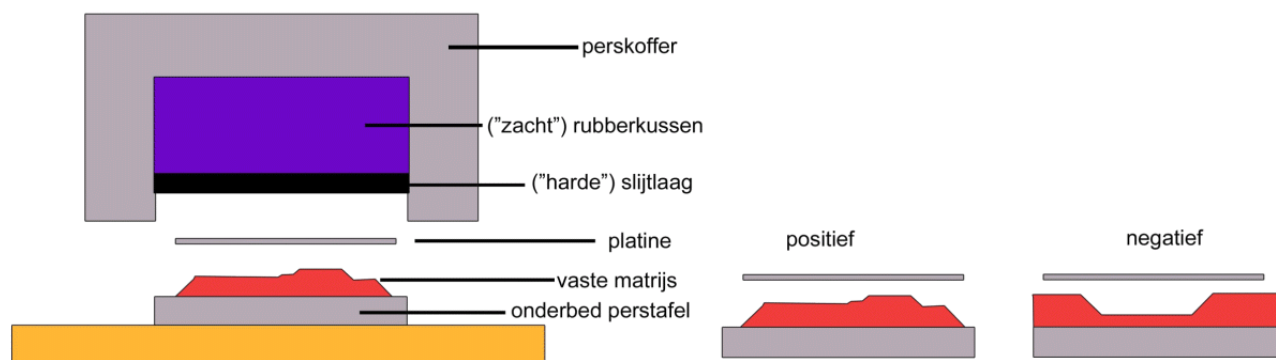
#### Positief persen (zie figuur 11)

Bij het positief persen wordt de uitslag door het rubber om een stempel geperst. De moeilijkheidsgraad wordt bepaald door de verhouding H/R.

Hierin is: H = de producthoogte

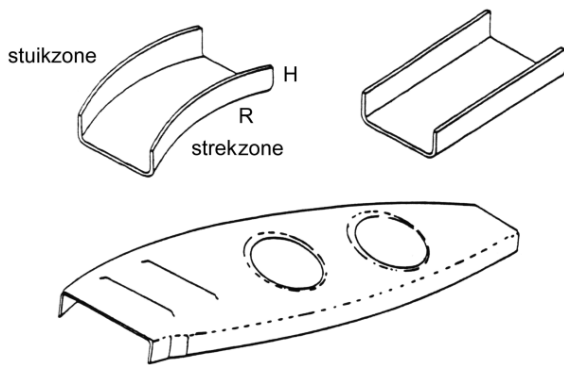
R = de kromtestraal van het product

Dubbel gekromde producten kennen veelal stuik- en rekzones. De stuikzone wordt gekenmerkt door mogelijke plooiïvorming. In de strekzones kunnen door te sterke wandverdunning bij een diep product langsscheuren optreden. Eén en ander is tevens beschreven in de reeds eerder genoemde publicatie TI.07.34 - "Rubberpersen".



figuur 8 Principe van een rubberpersopstelling, met als voorbeeld een positieve en een negatieve matris

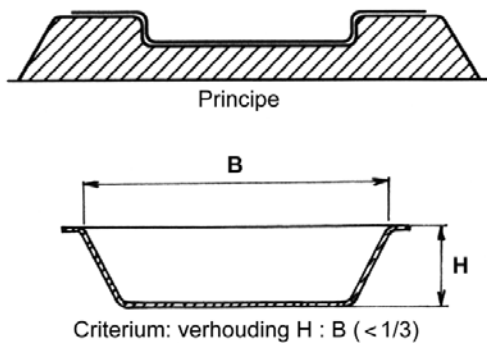




figuur 11 Enige producten gevormd met positief rubberpersen

### Negatief persen (zie figuur 12)

Bij het negatief persen wordt de uitslag in het matrijsgat geperst. Tegelijkertijd wordt de flens door het rubber plooienvrij gehouden. Deze wrijvingscondities zijn aanzienlijk minder gunstig dan bij het dieptrekken met een stalen stempel en plooihouder. Derhalve moet met een moeilijkheidsgraad  $H/B$  van maximaal  $1/3$  worden gerekend.



figuur 12 Negatief rubberpersen

### 2.3.3 Productmateriaal

Staal- en aluminiumsoorten, die over een goede omvormbaarheid beschikken, laten zich tot een dikte van 3 mm uitstekend rubberpersen. Zacht aluminium is geschikt voor detailvormen.

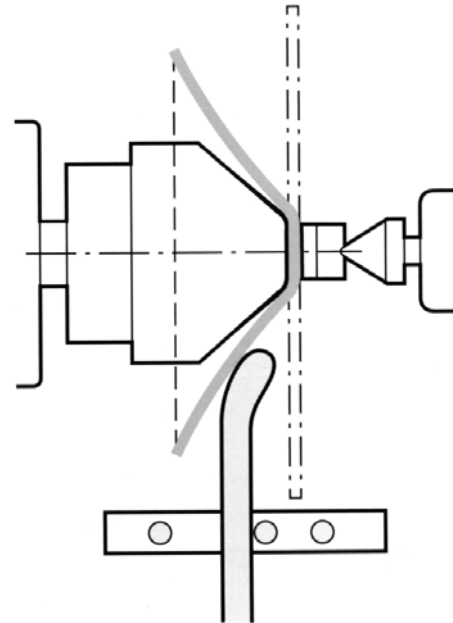
Roestvast staal kan tot 2 mm goed middels rubber worden omgevormd. Detailvormen vragen zeer hoge drukken.

### 2.4 Forceren

Indien rotatiesymmetrische producten in kleine tot middelgrote series moeten worden vervaardigd, biedt het forceren uitstekende mogelijkheden (zie figuren 13 t/m 15). Forceren is een geschikt proces voor vingerhoed tot tankbodem. De flexibiliteit in afmetingen is dus erg groot. Het forceren is mede dank zij de huidige automatiseringsmogelijkheden zeer populair. Bij het forceren beoogt men in tegenstelling tot het vloedraaien de wanddikte van het geforceerde product gelijk te houden. Het forceren leent zich niet alleen voor de productie van huishoudelijke artikelen, maar ook voor zware industriële producten, zoals ketelfronten, tankbodems, enz. Bij de conventionele forceerbanken speelt het vakmanschap van de operator een belangrijke rol. Na de introductie van de CNC-forceerbanken werd die afhankelijkheid minder groot. De softwarematige ondersteuning biedt zeker bij vervolgséries de operator voldoende ondersteuning. Hierdoor wordt een betere reproduceerbaarheid gerealiseerd. De gereedschappen, die bij het forceren een belangrijke rol spelen zijn:

- de forceerrol;
- de klos;
- het in de losse kop opgenomen center en klemstuk.

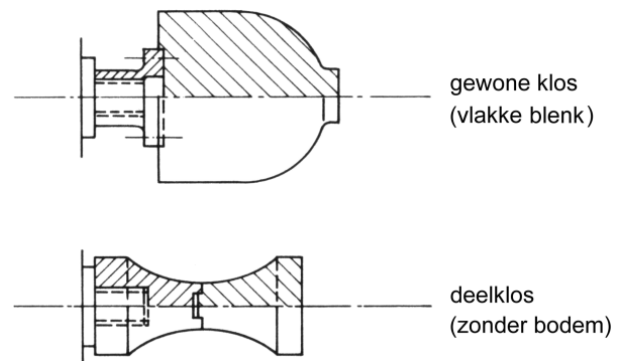
In figuur 14 zijn veelvoorkomende klossen weergegeven.



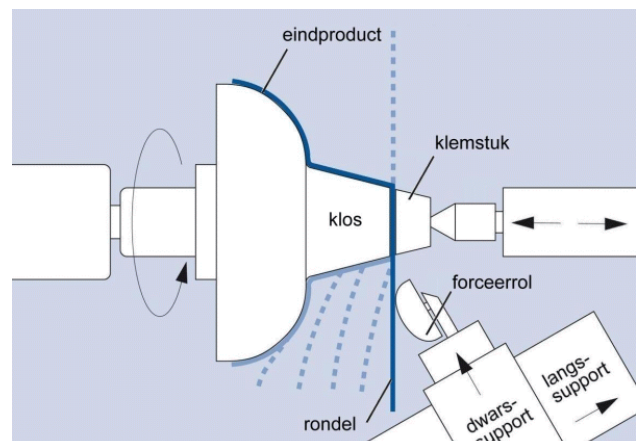
figuur 13 Principe van het handforceren

#### 2.4.1 Gemechaniseerd forceren

Het handforceren is, zoals gezegd, één van de oudste plaatbewerkingen en werd aanvankelijk op een forceerbank met leunspaan en schaar uitgevoerd door forceurs, die over voldoende spierkracht beschikten (figuur 12). Tegenwoordig komt deze werkwijze door o.a. gebrek aan vakmanschap steeds minder voor en wordt het forceren gemechaniseerd uitgevoerd (zie figuur 15).



figuur 14 Veel voorkomende forceerklossen

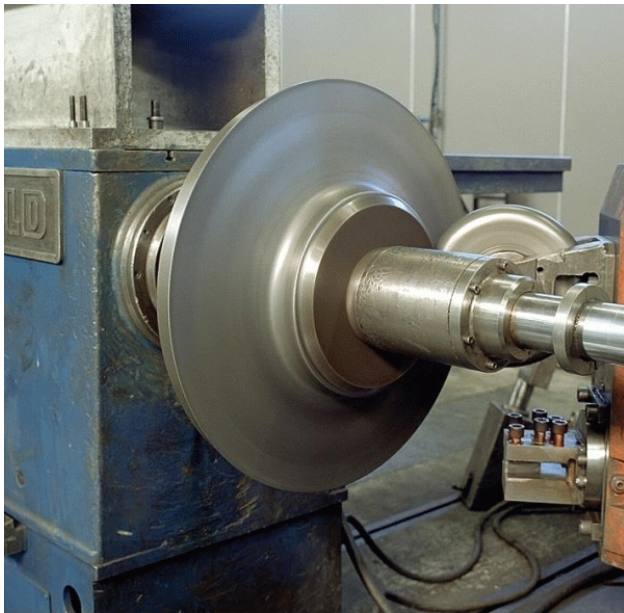


figuur 15 Fasen van het gemechaniseerd forceren

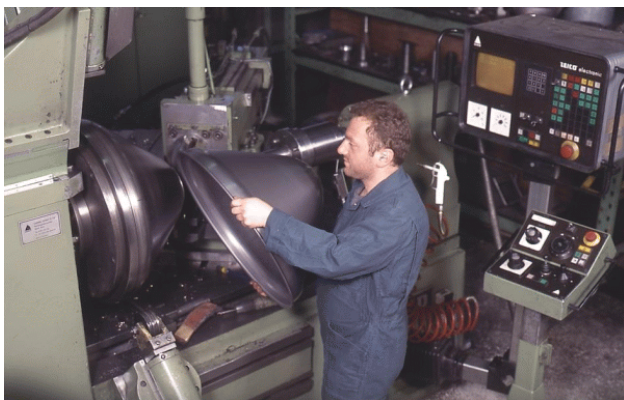
De toepassing van te programmeerbare hydraulische systemen maakt het mogelijk zware en complexe delen te forceren. De belangrijkste voordelen zijn:

- elimineren van menselijke kracht;
- het programmeren van de support- of rolbewegingen;
- het nauwkeurig doceren van de bewerkingskrachten;
- het voorkomen van overbelasting van machine en gereedschap.

De hydraulische forceerbank heeft een langs- en een dwarssupport, die beide hydraulisch worden aangedreven. Het langssupport kan het dwarssupport met een hydromotor in langsrichting verplaatsen. Het dwarssupport wordt eveneens hydraulisch bewogen en drukt de rol met de geprogrammeerde kracht tegen de klos. In een softwarematig bepaald aantal gangen neemt de ronde blenk de vorm van de klos aan (zie figuren 15, 16 en 17).



figuur 16 Forceren in meer gangen

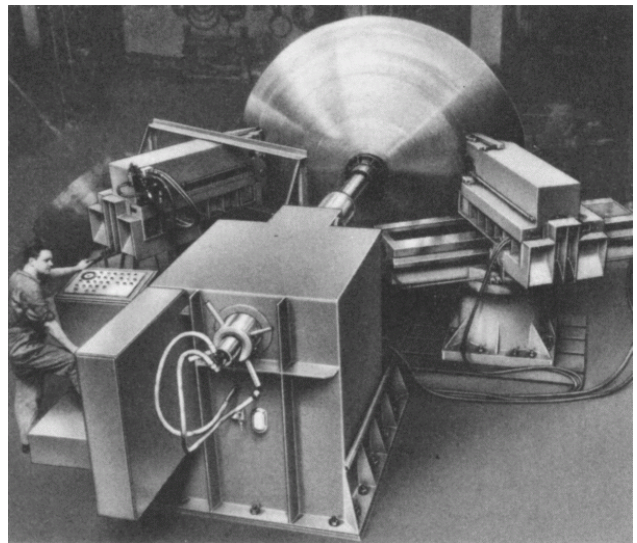


figuur 17 Forceren van een conisch product op een CNC forceermachine

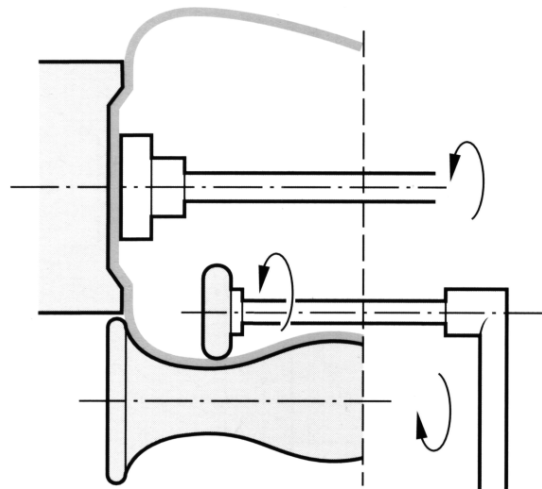
Bij het forceren van uitslagen met grotere diameters dan van bijvoorbeeld 1.500 mm wordt vaak met twee supports gewerkt (zie figuur 18). De beide rollen beginnen allebei in het midden en lopen gelijktijdig uit elkaar naar buiten.

Inwendig forceren van voorgevormde halffabrikaten vindt plaats met een uitzetrol overeenkomstig figuur 19. De ontwikkeling van de CNC forceerautomaten is mogelijk geweest door de toepassing van hydraulica en besturingssystemen. Verder is de ontwikkeling van de software uit veelal ambachtelijke kennis en ervaring een

belangrijke voorwaarde geweest voor de doorbraak van de forceerautomaat.



figuur 18 Hydraulische forceerbank met twee rollen en twee supports



figuur 19 Het principe van inwendig forceren

#### 2.4.2 Buisforceren

Dit proces heeft een hoge moeilijkheidsgraad, omdat in de lucht moet worden gereduceerd. In figuur 20 is het forceren van enkele buisvormige producten weergegeven. Hierbij is gedurende een aantal reductiefasen geen ondersteuning van de klos beschikbaar. Te grote reductiefasen leiden dan tot plooivorming. Zeker bij deze bewerking is het CNC forceren een uitkomst.

#### 2.5 Flenzen

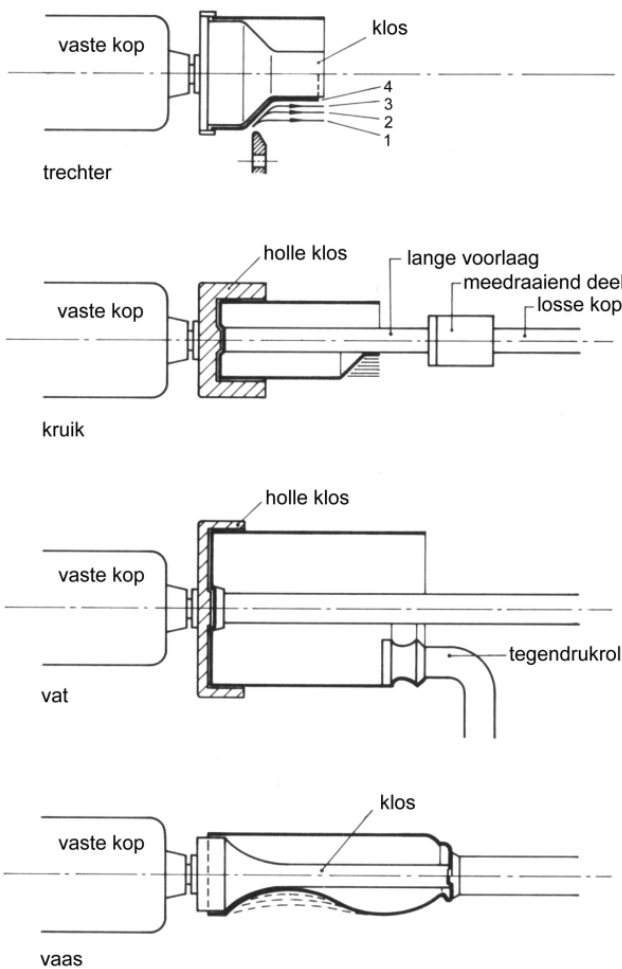
Flenzen (zie figuur 21) is een strekbewerking, waarbij aan rotatiesymmetrische delen een flens wordt gevormd. Het te flenzen deel wordt van binnen geklemd. De productrand wordt middels computergestuurde rollen in fasen omgelegd. Dit gebeurt in het algemeen op speciale flenswalsmachines. Deze machine heeft een ponsinrichting, waarmee in dezelfde opspanning flensgaten worden gesneden. De ventilatorindustrie is een belangrijke afnemer van geflensde producten (zie figuur 22). Voorts wordt deze flensmethode toegepast voor:

- in- en uitstroomconussen;
- venturi's;
- verloop- en verbindingstukken, enz.

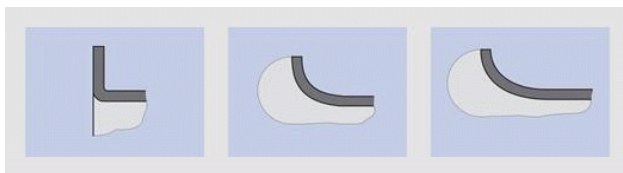


De technische mogelijkheden en beperkingen moeten worden vastgelegd in:

- de minimale en maximale inwendige diameter;
  - de minimale en maximale afstand tussen de flenzen;
  - de flenshoogte; deze staat in relatie met de inwendige diameter (er wordt doorgaans een maximum tangentele rek van 5 tot 10 % aangehouden);
  - het aantal gaten, dat in de flens wordt geponst;
  - de diameters van de flensgaten;
  - de materiaaldikte, die afhankelijk is van het product-materiaal. Hierbij wordt gedacht aan:
- |           |             |
|-----------|-------------|
| Staal     | 2 tot 8 mm  |
| RVS       | 1 tot 6 mm  |
| Aluminium | 3 tot 12 mm |



figuur 20 Principe van buisforceren



figuur 21 Voorbeelden van flenzen

## 2.6 Conisch vloedraaien

Bij het vloedraaien (zie figuur 23) wordt een wanddikte-reductie nagestreefd. Er is een duidelijk verschil tussen het vloedraaien van cilindrische en conische producten. Het cilindrisch vloedraaien gebeurt met drie rollen. Bij het conisch vloedraaien wordt het langssupport onder de gewenste hoek (helft van de tophoek) gezet en met het dwarssupport wordt zodanig ingesteld, dat de gewenste wanddikte wordt verkregen. Het verband tussen de dikte van de blenk en de wanddikte van de

conus is:  $t_w = t_o \cdot \sin \alpha$

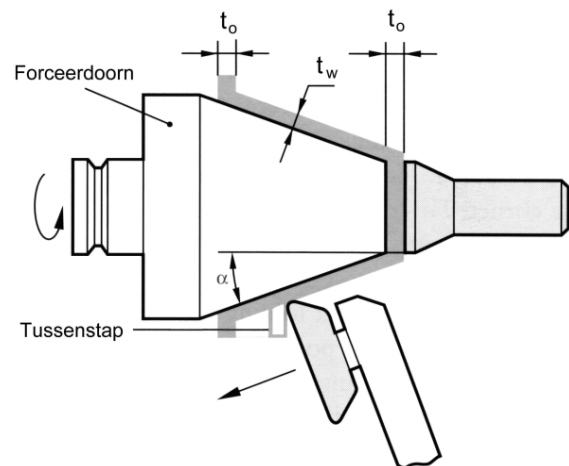
Hierin is:  $t_w$  = de gewenste wanddikte

$t_o$  = de dikte van de blenk

$\alpha$  = de halve tophoek van de conus

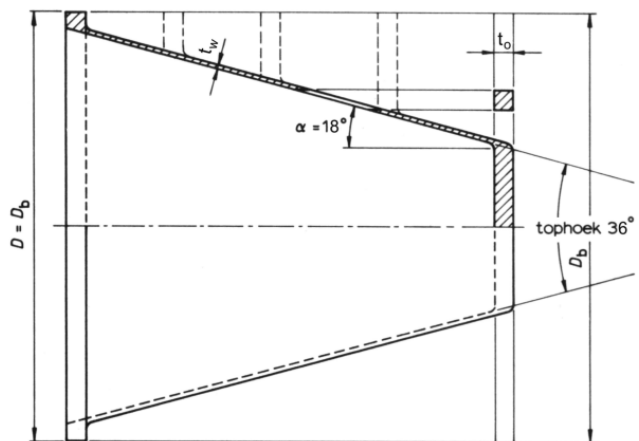


figuur 22 Voorbeeld van een geflensd product



figuur 23 Vloedraaien van een conisch onderdeel

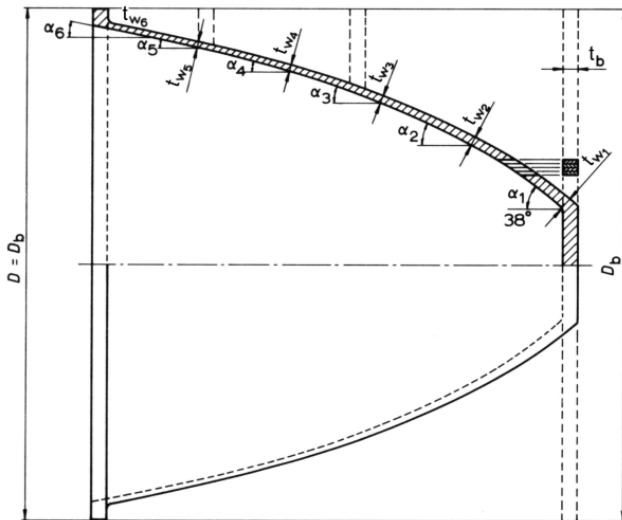
Hierbij is de voorwaarde, dat de grootste diameter van de conus gelijk is aan die van de blenk (zie figuur 24). Een te grote spleet leidt tot een te grote wanddikte van de conus en een te klein flensdiameter van de conus.



figuur 24 Geometrische voorwaarden voor het conisch vloedraaien

Een te kleine spleet resulteert daarentegen in een te kleine wanddikte en mogelijk vastlopen van de rollen. De kleinste tophoek, die praktisch haalbaar is bedraagt  $36^\circ$ . De operator van moderne CNC gestuurde machines hoeft zich hierover echter geen zorgen meer te maken. In het geval dat er getrapte en gebogen contouren moeten worden gevloedraaid, is een CNC gestuurde machine noodzakelijk (zie figuur 25). Het forceren is voortdurend in ontwikkeling.

De oppervlakteruwheid van het gevloedraaide product is afhankelijk van de aanzetsnelheid t.o.v. de snelheid van de hoofdspil.

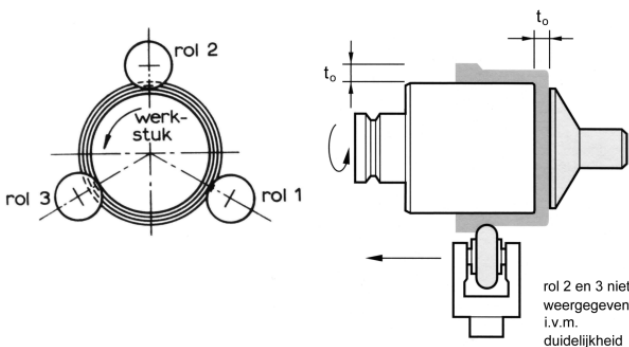


figuur 25 Gebogen gevloedraaide vorm

### 2.6.1 Cilindrisch vloeidraaien (figuur 26)

De vloeidraaibank voor cilindrische producten werkt met een vloeidraaisupport met drie rollen. De drie rollen nemen ieder een gelijk deel van de wandreductie per werkslag. De oppervlaktekwaliteit van het product wordt in belangrijke mate bepaald door:

- de wandreductie per werkslag;
- de geometrie van de rollen;
- de positie van de rollen t.o.v. de draaias.



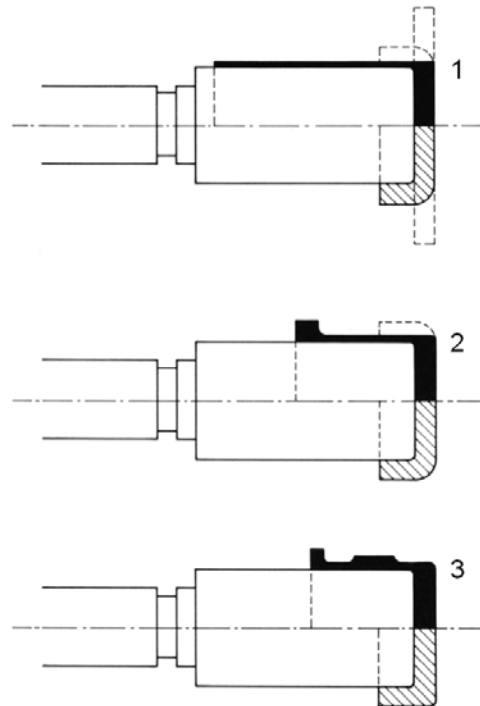
figuur 26 Cilindrisch vloeidraaien

De uitgangsvormen worden doorgaans door forceren, maar kunnen tevens door dieptrekken of zelfs door draaien worden gerealiseerd. Een gevloedraaid product kenmerkt zich altijd door een dikke bodem en een gereduceerde wand. De dikte van de bodem is gelijk aan de dikte van de blenk (zie figuur 27). Met vloeidraaien kunnen zeer kleine wanddikten worden gerealiseerd. Er zijn bij Philips zelfs gevloedraaide roestvast stalen pijpjes gemaakt met wanddikten van  $30 \mu\text{m} \pm 5 \mu\text{m}$ , diameter 15 mm en een lengte van 100 mm.

## 2.7 Buigen

Het buigen wordt in verschillende uitvoeringen toegepast. De keuze wordt bepaald door:

- afmetingen en geometrie van het product;
- de gewenste nauwkeurigheid;
- de seriegrootte.

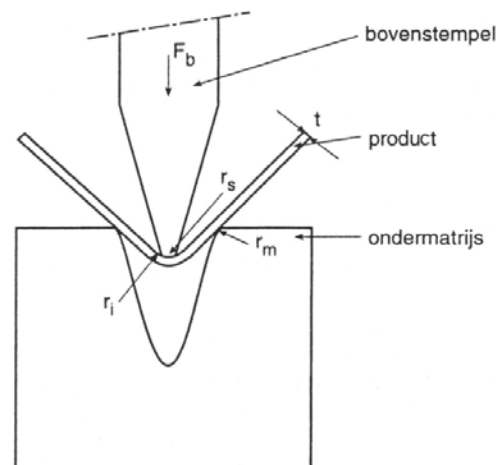


figuur 27 Drie voorbeelden van cilindrisch gevloedraaide producten

### 2.7.1 Vrijbuigen

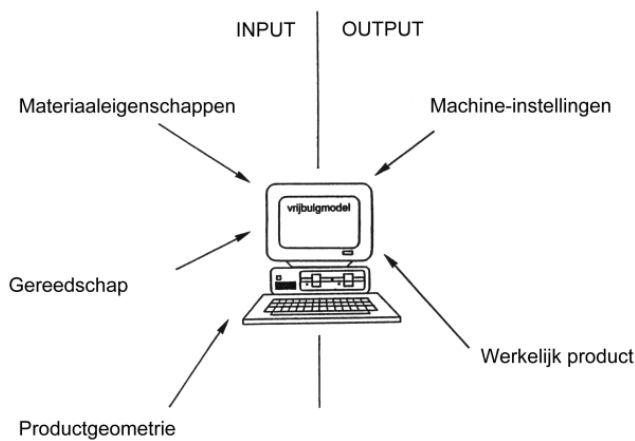
Het vrijbuigen (zie figuren 28 en 29) is in feite een driepuntsbuiging en op grond van flexibiliteit de meest toegepaste buigmethode. Deze methode wordt met universele gereedschappen uitgevoerd. De belangrijkste gereedschapskenmerken zijn:

- het bovenmes met een kleine stempelhoek (ca.  $30^\circ$ ) en kleinere stempelradius dan de gewenste productradius;
- de ondermatrijs met een V-opening, waarvan de breedte wordt bepaald door de gewenste productradius. De ingesloten hoek van de V-opening bedraagt 30 tot  $40^\circ$ . In sommige gevallen is het ondergereedschap voorzien van een rechthoekige groef.



figuur 28 Principe van het vrijbuigen





figuur 29 Model van het vrijbuigen

De diepte-instelling van de pers bepaalt de producthoek. Dat maakt het vrijbuigen tot een flexibele technologie. De terugvering bij vrijbuigen is relatief groot en sterk afhankelijk van de terugveringseigenschappen van het productmateriaal. De terugvering kan bij het vrijbuigen sinds de introductie van hoekmeetsystemen op kantpersen veelal snel en adequaat worden gecorrigeerd. De gevormde productradius is afhankelijk van de aard van het productmateriaal en de grootte van de V-opening. Afhankelijk van de grootte van de V-opening en de aard van het productmateriaal, zullen twee duidelijke afteekeningen in de nabijheid van de buiglijn zichtbaar zijn. De inwendige productradius " $R_i$ " kan met de volgende formule worden berekend:

$$R_i = C \cdot (0,1 + 0,5 \cdot n) \cdot W \cdot \alpha / 90^\circ$$

Hierin is:

- C = een correctiefactor (zie tabel 1)
- n = de verstevigingsfactor van het productmateriaal
- W = de V-opening van de ondermatrijs
- a = de buighoek in graden

De proefondervindelijk bepaalde correctiefactoren zijn afhankelijk van de aard van het productmateriaal en in tabel 1 weergegeven.

tabel 1 Overzicht van proefondervindelijk bepaalde correctiefactoren van verschillende productmaterialen

| Productmateriaal | C-factor |
|------------------|----------|
| Aluminium 99,5   | 0,75     |
| RVS 304          | 0,75     |
| RVS 430          | 0,9      |
| Omvormstaal      | 0,9      |

Een eenvoudiger, maar minder nauwkeurige bepaling van de grootte van de inwendige radius bij het vrijbuigen van een hoek van  $90^\circ$  kan worden gedaan met tabel 2.

tabel 2 Overzicht van de groottes van de inwendige radii van diverse productmaterialen

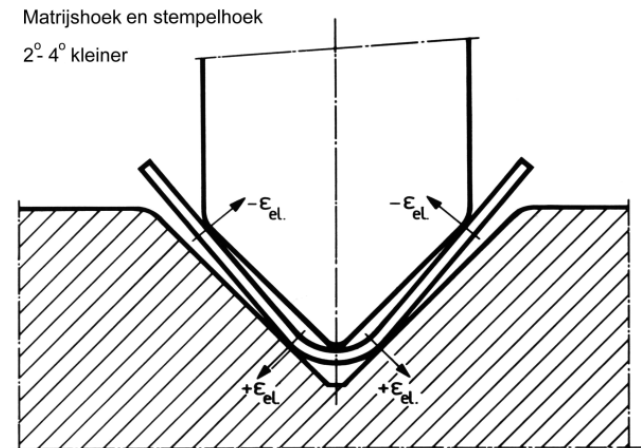
| Productmateriaal | R inwendig                     |
|------------------|--------------------------------|
| Aluminium 99,5   | $0,1 \times V\text{-opening}$  |
| RVS 304          | $0,2 \times V\text{-opening}$  |
| RVS 430          | $0,17 \times V\text{-opening}$ |
| Omvormstaal      | $0,17 \times V\text{-opening}$ |

Het is van belang, dat de productradius voorspelbaar is, omdat de uitslag hiermee berekend wordt. In het geval

geen restmaten beschikbaar zijn, heeft een afwijkende radius dus consequenties voor de maatnauwkeurigheid van het product.

## 2.7.2 Vijfpuntsbuigen

Het vijfpuntsbuigen (zie figuur 30) is een tussenvorm van het vrijbuigen en matrijsbuigen. Hierbij is zowel de stempelhoek als de matrijshoek  $2^\circ$  tot  $4^\circ$  kleiner dan de gewenste producthoek. Hierdoor is er aan het einde van de persslag ruimte om bij de gewenste producthoek de gevraagde productradius dichter te benaderen.

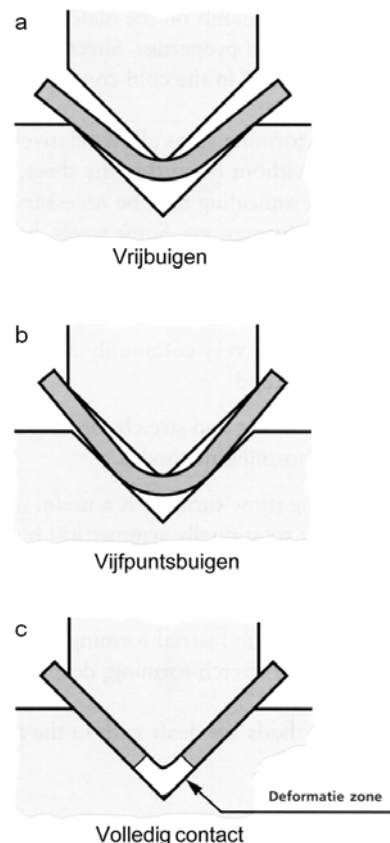


figuur 30 Principe van vijfpuntsbuigen

## 2.7.3 Matrijsbuigen met goedkoop gereedschap

Het matrijsbuigen verloopt in de volgende fasen (zie figuur 31):

- vrijbuigen;
- vijfpuntsbuigen;
- kalibreren.



figuur 31 Fasen van het matrijsbuigen

Indien de gevraagde toleranties van productradius en producthoek klein zijn, is het matrijsbuigen een optie. Hiermede kunnen dank zij de hoge kalibreerdrukken bij kleine productradii ( $< 5 \times$  de plaatdikte) hoektoleranties van  $\pm 0,25^\circ$  en radiustoleranties van  $\pm 0,1$  mm worden gerealiseerd. Bij kleine radii kan een kalibreerdruk van 3 tot 5 maal de trekvastheid nodig zijn om de terugvering te compenseren. Dit maakt overigens in het algemeen een productgebonden gereedschap noodzakelijk. Voor kleine series is dat dus een economisch probleem. Met het buigen in een rubber kussen kunnen deze hoge kalibreerdrukken niet worden bereikt, maar kan toch vaak een acceptabel resultaat worden bereikt (zie figuur 32). Een variant op deze werkwijze is het buigen in een PVC-matrijs, die is opgenomen in een standaard stalen opnameblok. Hierdoor kan een hogere kalibreerdruk worden opgenomen dan bij het buigen in rubber het geval is. Op deze wijze kan de PVC-matrijs hoge zijdelingse krachten opnemen.

#### 2.7.4 Zwenkbuigen

De zwenkbuigmachine (zetbank) bestaat uit drie elementen (zie ook figuur 33), te weten:

- tafel;
- drukbalk;
- buigbalk.

Traditionele zwenkbuigmachines werken met een vast draaipunt en een vaste drukbalk met als bezwaar, dat er sprake is van lijncontact tussen de buiglijst van de buigbalk en het omgezette been. Bij moderne machines kan de drukbalk horizontaal verstelbaar worden uitgevoerd. Deze constructie maakt het mogelijk optimaal buigwerk te realiseren, waarbij niet alleen de juiste producthoek, maar tevens de gewenste productradius kan worden gerealiseerd. De zwenkbuigmachine komt bijzonder tot zijn recht in het geval dat grote beenlengten met hoge nauwkeurigheden moeten worden gezet.

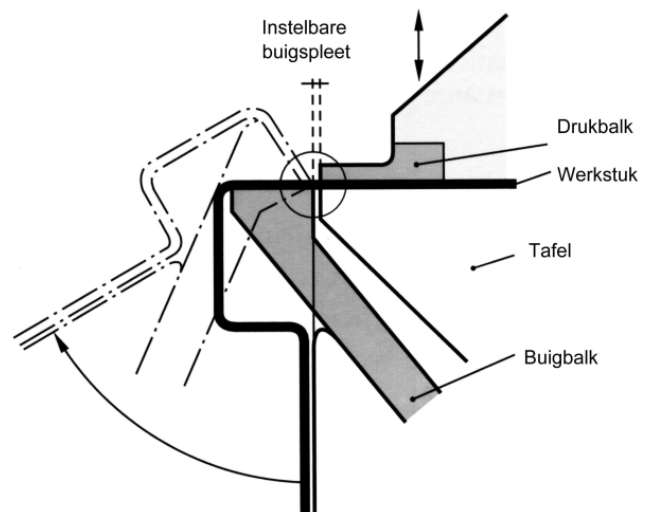
#### 2.7.5 Strijkbuigen

Bij strijkbuigen (zie figuur 34) wordt de uitslag door een neerhouder op het ondergereedschap geklemd en brengt het strijkmes de buiging tot stand. Dit proces wordt gekenmerkt door:

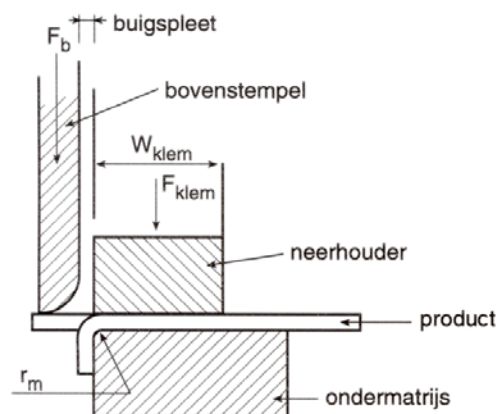
- grote wrijvingskrachten en dus oppervlaktebeschadigingen, die overigens worden beïnvloed door de geometrie van het strijkmes. Deze oppervlaktebeschadigingen zijn minimaal, indien het strijkmes van

een torpedovorm is voorzien;

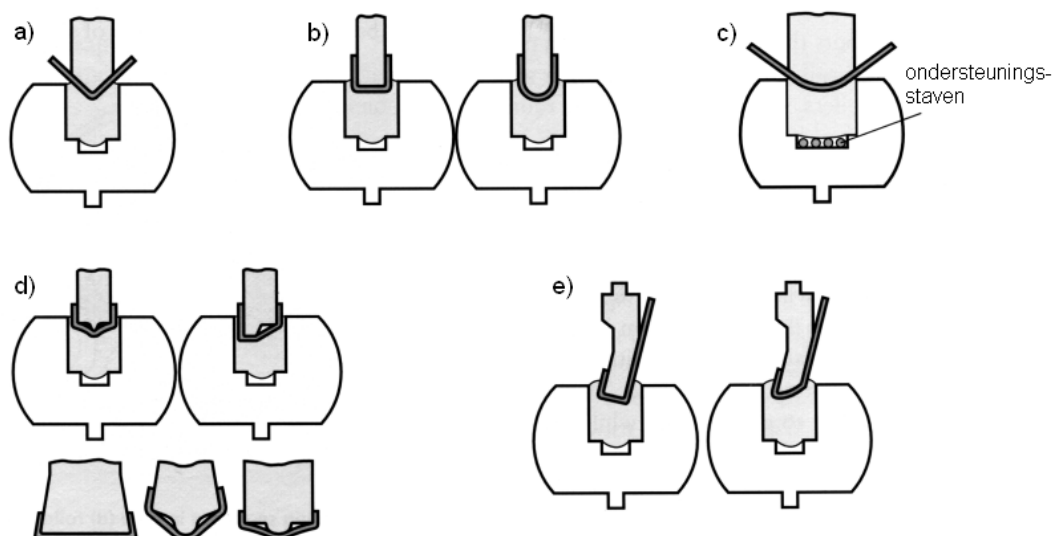
- de mogelijkheid om zeer korte beenlengte te buigen;
- de hoge productiesnelheid en de geschiktheid tot automatiseren. Denk hierbij aan moderne strijkbuigautomaten van Amada, Finnpower, Salvagnini, enz.



figuur 33 Principe van het zwenkbuigen



figuur 34 Principe van het strijkbuigen



figuur 32 Voorbeelden van het toepassen van elastische matrijzen

- a) V-buigen
- b) U-buigen
- c) buigen met grote radii
- d) buigen van speciale profielen
- e) buigen met ondersneden stempels

### 2.7.6 Vergelijking buigprocessen

In tabel 3 is een vergelijking gemaakt van verschillende kenmerken van de vijf besproken buigprocessen. De kwalificatie van de aangelegde criteria is zeer algemeen en kan voor verschillende bedrijven en productgroepen sterk variëren.

Met name maat- en vormtoleranties kunnen niet in zijn algemeenheid worden gedefinieerd. Dit is ook niet te verwachten, omdat de haalbare toleranties voornamelijk worden bepaald door:

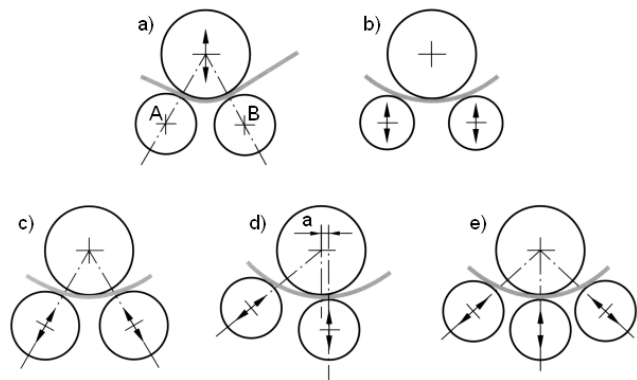
- het productontwerp;
- spreiding in eigenschappen van het productmateriaal;
- restspanningen en de uitwerking ervan bij het snijden, lassen, enz.;
- de methode waarop de productie wordt voorbereid;
- het onderscheid tussen de productie met product-gebonden en universele gereedschappen;
- geometrische nauwkeurigheid en stijfheidseigenschappen van de pers. Opties, zoals hoekmeetsystemen, bombering, enz.;
- buigvolgorde in relatie met de mogelijkheden tot knip- en uitslagafwijkingen;
- vakmanschap.

### 2.8 Rolbuigen van plaatdelen

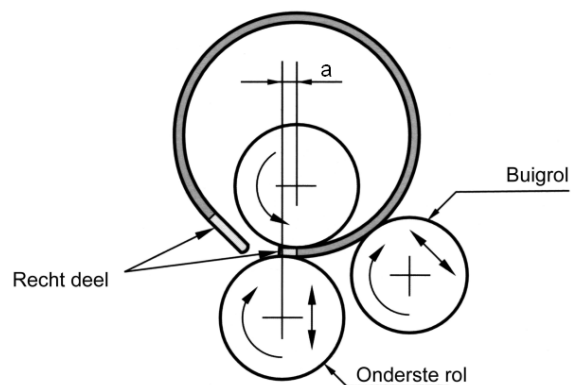
Rolbuigen van plaat (zie figuren 35 t/m 37) wordt in de meeste gevallen toegepast voor de vervaardiging van cilindrische plaatdelen, die niet uit standaard buis kunnen worden verkregen. Verder worden ook plaatdelen met grote radii door rolbuigen vervaardigd. Tenslotte kan als belangrijke toepassing van dit proces het rolbuigen van conische plaatdelen worden genoemd. In figuur 35a t/m c zijn enkele varianten van symmetrische drie rollenbuigmachines weergegeven. In deze categorie zijn de uitvoeringen a en b de eenvoudigste varianten. In al deze gevallen verloopt het buigend moment van een maximum naar nul. De productradius verloopt dus van de ingestelde waarde naar oneindig over de helft van de afstand A-B. Dit impliceert dat men voor het buigen op symmetrische drie rollenbuigmachine de einden altijd moet aanbuigen. Dit kan op een kantpers gebeuren. Dit is niet noodzakelijk op de in figuur 35d en e getekende asymmetrische drie rollenbuigmachine en vier rollenbuigmachine. Hierbij hoeft het aanbuigen niet separaat op een kantpers te gebeuren, maar kan in een aparte fase van het proces gebeuren (zie figuren 36 en 37). De lengte van de einden bedraagt in dit geval maximaal drie tot vijf maal de plaatdikte.

#### Maat- en vormnauwkeurigheid

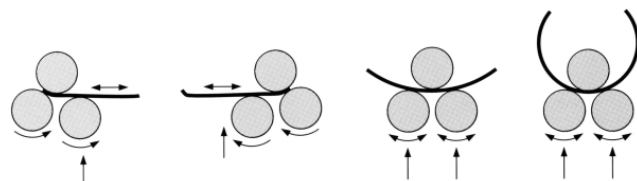
Na het rolbuigen moeten cilinders worden gehecht en/of afgelast alvorens er sprake is van enige nauwkeurigheid.



figuur 35 Plaats en functie van de rollen in de meest voorkomende rolbuig layouts



figuur 36 Aanbuigen op een a-symmetrische drierollenbuigmachine



figuur 37 De verschillende stappen voor het buigen van een rond product

In dit kader moet worden opgemerkt, dat de uitslag bepalend is voor de omtrek oftewel de gemiddelde diameter van de cilinder. De onnauwkeurigheid komt dus tot uitdrukking in onrondheid van de rondgewalste en gelaste cilinders. Hierbij moet worden gedacht aan enkele

tabel 3 Vergelijking buigprocessen bij profielen met lengten tot 1000 mm in plaatdikten van 0,5 tot 3 mm

| buigproces                                   | vrijbuigen                     | vijfpuntsbuigen | matrijsbuigen   | strijkbuigen                  | zwenkbuigen     |
|----------------------------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|
| hoektolerantie                               | $\pm 0,75^\circ$ <sup>1)</sup> | $\pm 0,5^\circ$ | $\pm 0,2^\circ$ | $\pm 0,3^\circ$ <sup>2)</sup> | $\pm 0,5^\circ$ |
| beenlengtetolerantie (exclusief sluitmaat)   | $\pm 0,2$ mm                   | $\pm 0,2$ mm    | $\pm 0,1$ mm    | $\pm 0,2$ mm                  | $\pm 0,2$ mm    |
| rechtheidtolerantie (kantpers met bombering) | $\pm 0,5$ mm/m                 | $\pm 0,5$ mm/m  | $\pm 0,5$ mm/m  | $\pm 0,5$ mm/m                | $\pm 0,5$ mm/m  |
| flexibiliteit                                | ++                             | +               |                 | +                             | ++              |
| oppervlaktekwaliteit                         | -                              | -               | -               | --                            | +               |
| gereedschapskosten                           | +                              | +               |                 | +                             | ++              |
| machine (uurprijs)                           | +                              | +               | +               | -                             | -               |
| productiesnelheid                            | -                              | -               | -               | +                             | +               |

1) zonder gebruik van hoekmeetsysteem; met hoekmeetsysteem is  $\pm 0,25^\circ$  mogelijk.

2) zonder gebruik van kalibreerhiel en met ruime buigspleet.

- ▶ de methode van rolbuigen;
- ▶ de lengte van de rechte einden;
- ▶ de diameter-dikte verhouding van de cilinder.

Eén van beide rollen is met een elastomeer bekleed en aangedreven. De stalen rol is vrijdraaiend. Eén van beiden is verticaal verstelbaar. Het buigproces verloopt in principe op dezelfde wijze als het walsen op een drie rollenbuigmachine. Ook bij dit buigproces zijn voor het buigen een actiekracht en twee reactiekrachten nodig. De twee reactiekrachten worden door het samendrukken van het elastomeer geleverd. Hierdoor verloopt het aanbuigen gemakkelijk. Voor kleinere buisdiameters is de twee rollenbuigmachine een goede oplossing. Een belangrijke overweging om deze methode toe te passen is de noodzaak om geperforeerde plaat rond te walsen. De beperking is echter de breedte en de dikte van de plaat.

figuur 38 Rolbuigen met een stalen rol en een elastomeer buigrol

Wanneer er buis door rolbuigen moet worden vervaardigd en er een bepaalde maat- en vormnauwkeurigheid wordt gevraagd kan de gelaste buis op de drierollen buigmachine worden gekalibreerd. Een belangrijke voorwaarde voor een goed resultaat is dat de uitslag goed is berekend en vervaardigd. In dat geval is op een diameter van 300 mm een tolerantie van  $\pm 0,8$  mm haalbaar. In het geval kleinere toleranties worden gevraagd, moet worden gedacht aan:

- explosief omvormen; hierbij zijn toleranties van  $\pm 0,2$  mm op een diameter van 300 mm haalbaar;
- hydrovormen. Afhankelijk van de terugveringseigenschappen van het productmateriaal zal hierbij rekening moeten worden gehouden met iets grotere toleranties dan na het "explosief kalibreren" van de rondgewalste buis.

2.10 **Dieptrekken met goedkoop gereedschap** (zie figuur 39)

- ▶ trekking;
- ▶ stempel;
- ▶ plooihouderring.

- Het gebruik van inserts, die in een standaard unit kunnen worden ingebouwd;
- Het gebruik van goedkope gereedschapsmaterialen (zie tabel 4 voor een overzicht).



| materiaal                            | s.m.<br>[kg/dm <sup>3</sup> ] | hardheid              | productkwaliteit <sup>1)</sup> | levensduur<br>aantal cil. prod. | kosten t.o.v.<br>gereedschapsstaal |
|--------------------------------------|-------------------------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| gereedschapsstaal                    | 7,8                           | 60 Rc                 | 100%                           | > 50.10 <sup>3</sup>            | 100%                               |
| OBO hout                             | 1,7                           | 120 HB                | 100%                           | 10.10 <sup>3</sup>              | 10 - 20%                           |
| expositiehars met kern van gietijzer | 2,4 <sup>2)</sup>             | 85 - 90 Shore         | 98%                            | 5.10 <sup>3</sup>               | 50 - 70%                           |
| zink (zamak)                         | 6,8                           | 90 - 100 HB           | 90%                            | 10.10 <sup>3</sup>              | 5 - 25%                            |
| tin-bismuth (Cerrotru)               | 8,6                           | 15 - 20 HB            | 60% <sup>3)</sup>              | 0,150.10 <sup>3</sup>           | 10 - 20%                           |
| gietijzer GG25                       | 7,3                           | 195 - 220 HB          | 100%                           | 20.10 <sup>3</sup>              | 60 - 80%                           |
| kunststof                            | 1,7                           | 110 N/mm <sup>2</sup> | 100%                           | 10.10 <sup>3</sup>              | 50 - 70%                           |

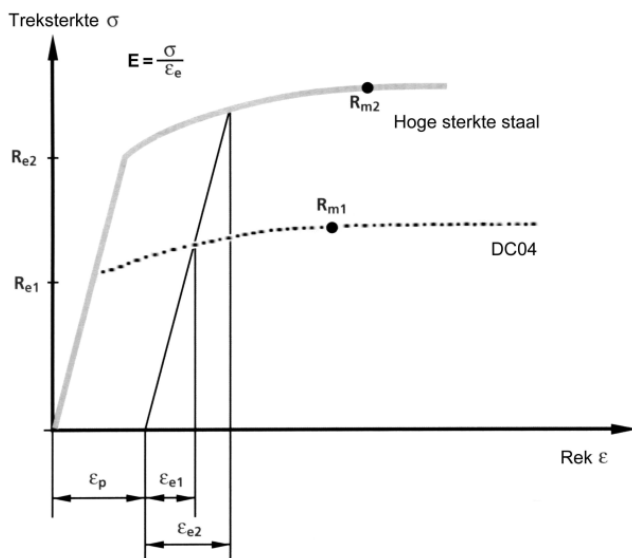
3) Daalt snel met het aantal slagen.



### 3 Relevante materiaaleigenschappen (zie figuren 40 t/m 42)

Bij de beoordeling van de mogelijkheden, die de onder hoofdstuk 2 genoemde omvormprocessen bieden, speelt het productmateriaal een belangrijke rol. Hierbij moet worden gedacht aan de volgende materiaaleigenschappen:

- ▶ *Trekvastheid*  $R_m$  (proceskrachten en gereedschapbelasting) figuur 40;
- ▶ *Elasticiteitsmodulus*  $E$  (terugvering) figuur 40
- ▶ *Verstevigingsfactor*  $n$  (strekbaarheid) figuur 41
- ▶ *Anisotropiewaarde*  $r$  (dieptrekbaarheid)
- ▶ *Grensvervormingskromme*



figuur 40 Elastische en plastische deformatie van DC04 en hoge sterkte staal

| Verstevigingsfactor $n$ | $n=0,05$ | $n=0,22$ | $n=0,4$    |
|-------------------------|----------|----------|------------|
| strekbaarheid           | klein    | goed     | uitstekend |

figuur 41 Relatie tussen verstevigingsfactor en strekbaarheid

De verhouding ( $R_m/E$ ) beïnvloedt de grootte van de terugvering. Hoe groter deze verhouding is, des te groter zal de terugvering zijn. Middels kalibreerbewerkingen kan deze invloed worden verminderd (voorbeeld: drukranden bij buigen). Wanneer de productradius meer bedraagt dan vijf maal de plaatdikte is de beschikbare vlaktedruk echter te klein voor een adequate vermindering van de terugvering.

De verstevigingsfactor " $n$ " is een maatstaf voor de versteviging en kan in vergelijkende zin worden gebruikt om de strekbaarheid van het productmateriaal te beoordelen. Zo zal het plaatstaal van een motorkap een goede verstevigingsfactor moeten hebben, omdat het omvormen van dit product voor het merendeel uit strekken bestaat. De bepaling van de  $n$ -factor is beschreven in EN 10130.

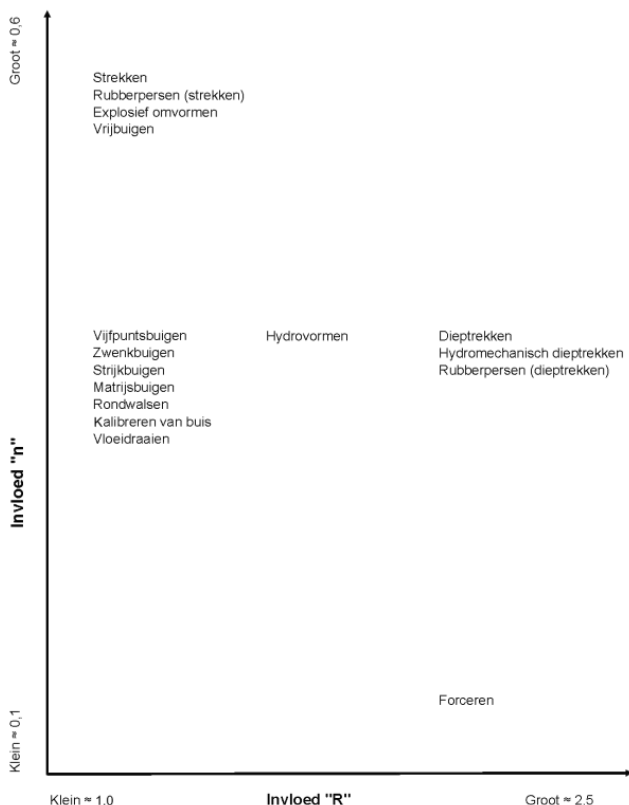
De anisotropiewaarde " $r$ " geeft de mate van verandering in breedte- en in dikterichting van de plaat weer. Naarmate deze waarde groter is, laat het betreffende plaatmateriaal zich beter dieptrekken. In tabel 5 zijn praktijkwaarden van " $n$ " en " $r$ " aangegeven.

De omvormbaarheid van het materiaal wordt dus vooral beïnvloed door de technologische grootheden " $n$ " en " $r$ ". Deze grootheden bepalen de deformatieverdelingen in het materiaal bij de diverse omvormprocessen.

tabel 5 Praktijkwaarden van " $n$ " en " $r$ " voor enkele materiaalsoorten

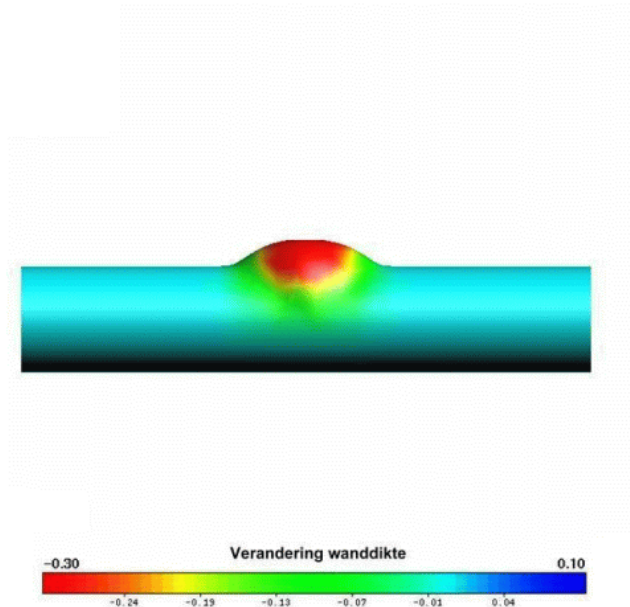
| materiaalsoort       | $n$         | $r$       |
|----------------------|-------------|-----------|
| staal                | 0,15 - 0,25 | 1,0 - 2,5 |
| roestvast staal      | 0,40 - 0,60 | 0,8 - 1,2 |
| messing              | 0,20 - 0,60 | 0,8 - 1,0 |
| brons                | 0 - 0,1     | 0,8 - 1,0 |
| aluminium legeringen | 0,10 - 0,30 | 0,5 - 0,8 |

Naarmate deze gelijkmatiger (" $n$ ") en minder uit de dikte komt (" $r$ ") is de kans op insnoeringen kleiner. Voor de diverse omvormprocessen is deze invloed aangegeven in de grafiek van figuur 42.

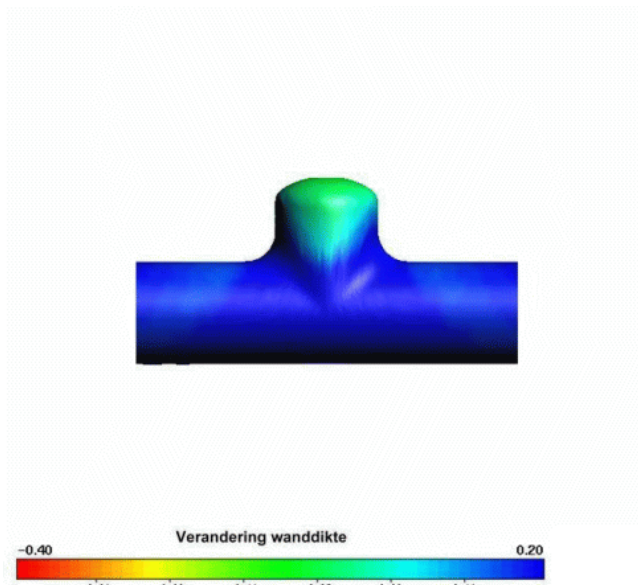
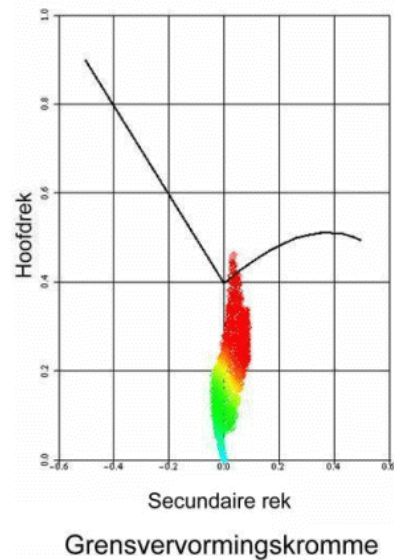


figuur 42 De invloed van " $n$ " en " $r$ " op de diverse omvormingstechnieken

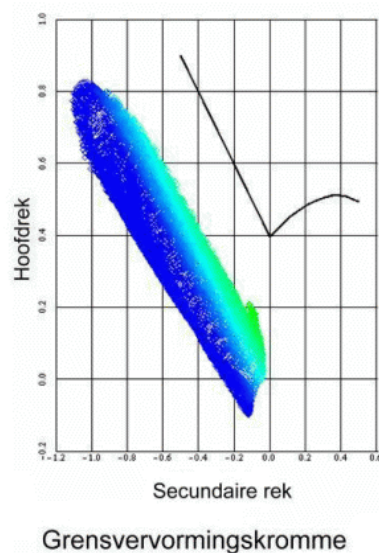
De grensvervormingskromme, ook vaak het Forming Limit Diagram (FLD) genoemd, is een hulpmiddel voor procesoptimalisatie. De grensvervormingskromme geeft naast de geschiktheid van plaat of buismateriaal voor strek- en stuikbewerkingen de invloed aan van procescondities, zoals smering, oppervlakteruwheid van gereedschap en plaatmateriaal op de mogelijkheid van scheurvorming of insnoeringen van het trekdeel. De grensvervormingskromme wordt dan ook wel gebruikt als ondersteuning bij de afname van complexe (automotive) persgereedschappen. In figuren 43 en 44 wordt de grensvervormingskromme voor buismateriaal weergegeven. Er kan op deze wijze een voorspelling worden gedaan op het risico van scheuren. Figuur 43 laat zien, dat bij het hydrovormen van buis zonder aanvoerkracht op scheuren moet worden gerekend. De "wolk" loopt immers in de scheurzone. Figuur 44 toont de situatie van dezelfde buis met aanvoerkracht. Als gevolg van de hierbij optredende combinatie van trek- en axiaal gerichte drukspanningen wordt scheurvorming voorkomen.



figuur 43 Hydrovormen T-stuk zonder axiaal voeden



figuur 44 Hydrovormen T-stuk met axiaal voeden



#### 4 Toepassingsmogelijkheden van de geselecteerde plaatbewerkingsprocessen

In dit kader wordt eerst de technologische selectie mogelijk gemaakt, die vervolgens economisch wordt getoetst. Deze informatie kan worden verwerkt in de technologische vergelijkingsmatrix.

##### 4.1 Technologische haalbaarheid

De technologische en economische vergelijkingsmatrix is ontwikkeld als hulpmiddel bij de selectie van het optimale omvormproces.

De werking van de matrix is als volgt: in een eerste stap wordt de maakbaarheid van een product beoordeeld met betrekking tot een groot aantal technologieën. Voor alle technologieën waarmee het product maakbaar is, wordt vervolgens in een tweede stap de kostprijs per product bepaald als functie van het aantal producten. De resultaten van deze berekening worden in een grafiek weergegeven, waar uit blijkt welke technologie bij welke aantallen de laagste kostprijs oplevert.

Op basis hiervan kan een eerste keuze voor een technologie worden gemaakt.

##### Kanttekeningen bij de methode

De beoordeling gebeurt noodgedwongen op basis van redelijk globale criteria en geeft daarmee een richting aan. Een definitieve keuze kan in het geval van zeer complexe producten veelal niet zonder de hulp van experts worden gemaakt.

Ook wordt met deze methode één productiestap tegelijk beoordeeld. Het is dus zaak om die productiestap te kiezen die de vorm van het product bepaalt.

##### De eerste stap: de technologische keuze

De technologiese selectie wordt gedaan op basis van de volgende keuzeaspecten:

- ▶ productvorm;
- ▶ vormverhouding;
- ▶ detailvormen;
- ▶ materiaaldikte;
- ▶ materiaalsoort;
- ▶ productafmetingen.

Elk keuzeaspect is vervolgens ingedeeld in een aantal categorieën. Vervolgens is eenmalig per keuzeaspect en per technologie vastgesteld hoe de maakbaarheid is per categorie.

Deze exercitie resulteert in een aantal matrices die in het selectieproces als filters worden gebruikt.

Door voor een willekeurig product de categorieën per keuzeaspect vast te stellen, kan de maakbaarheid van dat product beoordeeld worden. Een product is pas maakbaar met een bepaalde technologie als het voor alle keuzeaspecten maakbaar is.

Mocht een product met geen van de genoemde technologieën maakbaar zijn, dan dient het product te worden aangepast. Dit is ook het geval als een product technologisch maakbaar is, maar de kostprijs te hoog is.

#### De productvorm

De volgende mogelijke productvormen zijn gedefinieerd (zie ook figuur 45):

PV1: rechte flens

PV2: strekflens

PV3: stuikflens

PV4: rotatie symmetrische cup

PV5: a-symmetrische cup

PV6: enkel gekromde schaal

PV7: dubbel gekromde schaal

PV8: rotatie symmetrische buis

PV9: a-symmetrische buis

Tabel 6 geeft de maakbaarheidsmatrix weer voor het keuzeaspect "productvorm".

#### De vormverhouding

Met de vormverhouding wordt de verhouding tussen de productdiameter D en de producthoogte H vastgelegd (zie ook tabel 7):

VH 1:  $D/H > 3 : 1$

VH 2:  $D/H \ 2 : 1 - 3 : 1$

VH 3:  $D/H \ 1 : 1 - 2 : 1$

VH 4:  $D/H \ 1 : 2 - 1 : 1$

VH 5:  $D/H \ 1 : 3 - 1 : 2$

VH 6:  $D/H < 1 : 3$

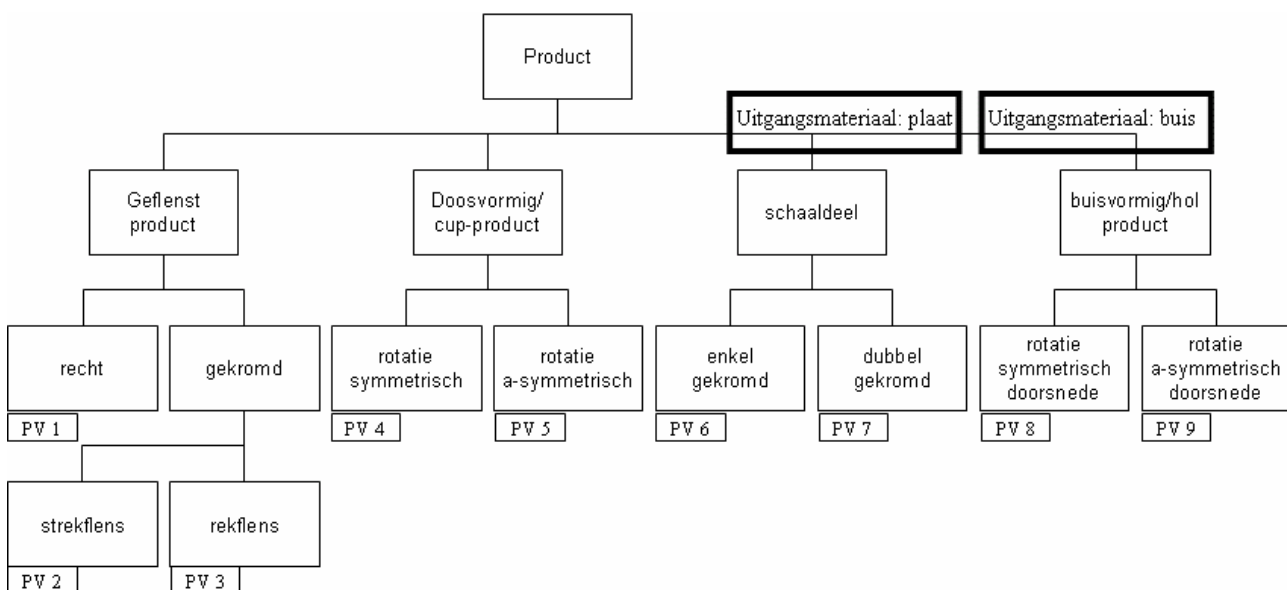
tabel 6 Maakbaarheidsmatrix voor het keuzeaspect "productvorm"

|      | hydrovormen | rubberpersen | explosief omvormen | forceren | vloedraaien | dieptrekken | buigen | rolbuigen |
|------|-------------|--------------|--------------------|----------|-------------|-------------|--------|-----------|
| PV 1 | +           | +            | +                  | -        | -           | +           | +      | -         |
| PV 2 | +           | +            | +                  | -        | -           | +           | -      | -         |
| PV 3 | +           | +            | +                  | -        | -           | +           | -      | -         |
| PV 4 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | -      | -         |
| PV 5 | +           | +            | +                  | -        | -           | +           | -      | -         |
| PV 6 | +           | +            | +                  | 1)       | 1)          | +           | -      | +         |
| PV 7 | +           | +            | +                  | 2)       | 2)          | +           | -      | -         |
| PV 8 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | -      | +         |
| PV 9 | +           | +            | +                  | -        | -           | -           | -      | +         |

1) constante radius  
2) constante radius in beide doorsneden

tabel 7 Maakbaarheidsmatrix voor het keuzeaspect "vormverhouding"

|      | hydrovormen | rubberpersen | explosief omvormen | forceren | vloedraaien | dieptrekken | buigen | rolbuigen |
|------|-------------|--------------|--------------------|----------|-------------|-------------|--------|-----------|
| VH 1 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| VH 2 | +           | +/-          | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| VH 3 | +           | -            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| VH 4 | +           | -            | -                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| VH 5 | +/-         | -            | -                  | +        | +           | -           | +      | +         |
| VH 6 | +/-         | -            | -                  | +/-      | +           | -           | +      | +         |



figuur 45 Schematisch overzicht van mogelijke productvormen

### Detailvormen

In veel gevallen is een product onvoldoende nauwkeurig te classificeren door de productvorm alleen en is een verdere detaillering nodig. Bij het keuzeaspect worden de volgende vormen onderscheiden (zie tabel 8):

- DV 1: kraaggat
- DV 2: doorzetting
- DV 3: ril
- DV 4: reliëf
- DV 5: kraalrand

tabel 8 Maakbaarheidsmatrix voor het keuzeaspect "detailvorm"

|                  | hydrovormen | rubberpersen | explosief omvormen | forceren | vloedraaien | dieptrekken | buigen | rolbuigen |
|------------------|-------------|--------------|--------------------|----------|-------------|-------------|--------|-----------|
| DV 1             | +           | +            | +                  | -        | -           | +           | -      | -         |
| DV 2             | +           | +            | +                  | -        | -           | +           | -      | -         |
| DV 3             | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | -      | -         |
| DV 4             | +           | +/-          | +                  | +        | +/-         | 1)          | -      | -         |
| DV 5             | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | -      | -         |
| 1) in onderbodem |             |              |                    |          |             |             |        |           |

### De materiaaldikte

Met de meeste omvormprocessen kunnen materialen tot 3 mm vervormd worden (zie tabel 9).

- MD 1: 0,5 - 1,0 mm
- MD 2: 1,0 - 1,5 mm
- MD 3: 1,5 - 2,0 mm
- MD 4: 2,0 - 2,5 mm
- MD 5: 2,5 - 3,0 mm

tabel 9 Maakbaarheidsmatrix voor het keuzeaspect "materiaaldikte"

|      | hydrovormen | rubberpersen | explosief omvormen | forceren | vloedraaien | dieptrekken | buigen | rolbuigen |
|------|-------------|--------------|--------------------|----------|-------------|-------------|--------|-----------|
| MD 1 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| MD 2 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| MD 3 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| MD 4 | +           | -            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| MD 5 | +           | -            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |

### De materiaalsoort

Voor de materiaalsoort geldt grosso modo hetzelfde als voor de materiaaldikte (zie tabel 10).

- MS 1: Staal (St)
- MS 2: Roestvast staal (RVS)
- MS 3: Hoge Sterkte Staal (HSS)
- MS 4: Aluminium (Al)
- MS 5: Magnesium (Mg)
- MS 6: Koper/messing (Cu); gangbare legeringen

### De productafmeting

Plaatwerk naar grootte in twee dimensies:

- PA 1: < 0,25 x 0,25 m<sup>2</sup>

- PA 2: < 0,5 x 0,5 m<sup>2</sup>

- PA 3: < 1 x 1 m<sup>2</sup>

- PA 4: < 2 x 2 m<sup>2</sup>

- PA 5: < 4 x 4 m<sup>2</sup>

- PA 6: > 4 x 4 m<sup>2</sup>

Buisvormig/hol product naar doorsnede en lengte:

- PA 7: Ø < 0,25 m; h < 1 m

- PA 8: Ø < 0,5 m; h < 2 m

- PA 9: Ø < 1 m; h < 4 m

tabel 10 Maakbaarheidsmatrix voor het keuzeaspect "materiaalsoort"

|      | hydrovormen | rubberpersen | explosief omvormen | forceren | vloedraaien | dieptrekken | buigen | rolbuigen |
|------|-------------|--------------|--------------------|----------|-------------|-------------|--------|-----------|
| MS 1 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| MS 2 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| MS 3 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| MS 4 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| MS 5 | +           | -            | -                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| MS 6 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |

tabel 11 Maakbaarheidsmatrix voor het keuzeaspect "productafmeting"

|      | hydrovormen | rubberpersen | explosief omvormen | forceren | vloedraaien | dieptrekken | buigen | rolbuigen |
|------|-------------|--------------|--------------------|----------|-------------|-------------|--------|-----------|
| PA 1 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| PA 2 | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| PA 3 | +           | +            | +                  | +        | +/-         | +           | +      | +         |
| PA 4 | +           | +            | +                  | +        | -           | +           | +      | +         |
| PA 5 | -           | +/-          | +                  | +        | -           | +           | +      | +         |
| PA 6 | -           | -            | +                  | -        | -           | -           | +      | +         |
| PA 7 | +           | +            | +                  | +        | +           | -           | -      | +         |
| PA 8 | +           | -            | +                  | +        | +/-         | -           | -      | +         |
| PA 9 | +           | -            | +                  | +        | -           | -           | -      | +         |

Hierbij zijn volgende grenzen per technologie gehanteerd:

Hydrovormen plaat: maximaal 2,5 x 2,5 m<sup>2</sup>

Hydrovormen buis: diameter < 1,5 m; hoogte < 2 m

Rubberpersen: maximaal 1,2 x 0,5 m<sup>2</sup>

Explosief Omvormen: maximaal 10 x 10 m<sup>2</sup>

Forceren: diameter < 4 m; hoogte D/H ≥ 1/2

Dieptrekken: maximaal 3 x 4 m<sup>2</sup>

## 4.2 Economische haalbaarheid

De economische keuze wordt gemaakt op basis van de kostprijs. Er wordt vanuit gegaan, dat indien een product volgens tekening gemaakt kan worden, de goedkoopste oplossing de beste is.

Natuurlijk spelen doorlooptijden en flexibiliteit bij de keuze ook een rol. Maar als een complex product goedkoop in kleine aantallen gemaakt kan worden, betekent dit in 99 van de 100 gevallen ook een korte doorlooptijd en grote flexibiliteit.



De productprijs wordt bepaald met behulp van de volgende formule:

$$K = (E_1 + E_2 \cdot p/g) / p + (B_1 + B_2) / b + P_1 + (P_2 + P_3) \cdot c \cdot t + P_4 / g$$

Hierin zijn:

- K: kosten per product
- E<sub>1</sub>: werkvoorbereidingskosten
- E<sub>2</sub>: voorbereidingskosten gereedschap
- B<sub>1</sub>: kosten logistiek
- B<sub>2</sub>: totale stelkosten per batch
- P<sub>1</sub>: materiaalkosten
- P<sub>2</sub>: machinekosten per tijdseenheid
- P<sub>3</sub>: loonkosten per tijdseenheid
- P<sub>4</sub>: gereedschapskosten
- p: totaal (verwacht) aantal producten van betreffend product
- b: aantal producten per batch, batchgrootte
- c: aantal benodigde productiestappen per product
- t: gemiddelde cyclustijd per productiestap
- g: levensduur gereedschap

Als we de batchgrootte constant veronderstellen (minimum van integrale stel- en voorraadkosten), dan blijft de totaalseriegrootte "p" als variabele over. K en p worden voor de verschillende technologieën in een grafiek tegen elkaar uitgezet.

### 4.3 Voorbeeld: de hagedis

De hagedis is een kunstwerk dat als gevelversiering op de uitbreiding van het belastingkantoor in Apeldoorn is aangebracht (zie figuren 46 en 47).



figuur 46 Aanbrengen van de gevelversiering



figuur 47 Detailopname van het uiteindelijk product

De hagedissen zijn vervaardigd uit RVS 304 van 1,2 mm. De totaalserie was aanvankelijk 150 stuks. Uiteindelijk zijn er 850 stuks gemaakt en gemonteerd. Uit de technologievergelijkingsmatrices blijkt dat het hydrovormen en explosief omvormen geen technologische belemmeringen hebben. Ook rubberpersen en dieptrekken komen in aanmerking, als enige concessies kunnen worden gedaan aan de detailvormen. De relevante onderdelen zijn in één matrix samengevoegd (zie tabel 11).

tabel 11 Maakbaarheidsmatrix voor de "hagedis"

|       | hydrovormen | rubberpersen | explosief omvormen | forceren | vloedraaien | dieptrekken | buigen | rolbuigen |
|-------|-------------|--------------|--------------------|----------|-------------|-------------|--------|-----------|
| PV 7  | +           | +            | +                  | -        | -           | +           | -      | -         |
| VH 1  | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| DV 4  | +           | +/-          | +                  | +        | +/-         | +/-         | -      | -         |
| MD 2  | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| MS 2  | +           | +            | +                  | +        | +           | +           | +      | +         |
| PA 3  | +           | +            | +                  | +        | +/-         | +           | +      | +         |
| score | 6           | 5/6          | 6                  | 5        | 4           | 5/6         | 4      | 4         |

Productiemethode:

Uitgaande van een calculatie die is gebaseerd op een seriegrootte van 150 stuks, is gekozen voor het **hydrovormen** (HV), waarbij met een grote strekcomponent wordt gewerkt. Een berekening met eindige elementen leerde dat enkele kleine radii moesten worden vergroot. Dit bleek bij de proefproductie inderdaad noodzakelijk te zijn.

Alternatieve productiemethoden:

**Explosief omvormen** (EO) met als kenmerk voor dit product: lage gereedschapskosten, maar langere cyclustijden.

**Dieptrekken** (DT) met als kenmerk voor dit product: relatief zeer hoge gereedschapskosten, maar korte cyclustijden.

**Rubberpersen** (RP) met als kenmerk: lage gereedschapskosten, maar langere bewerkingstijden.

Resultaat:

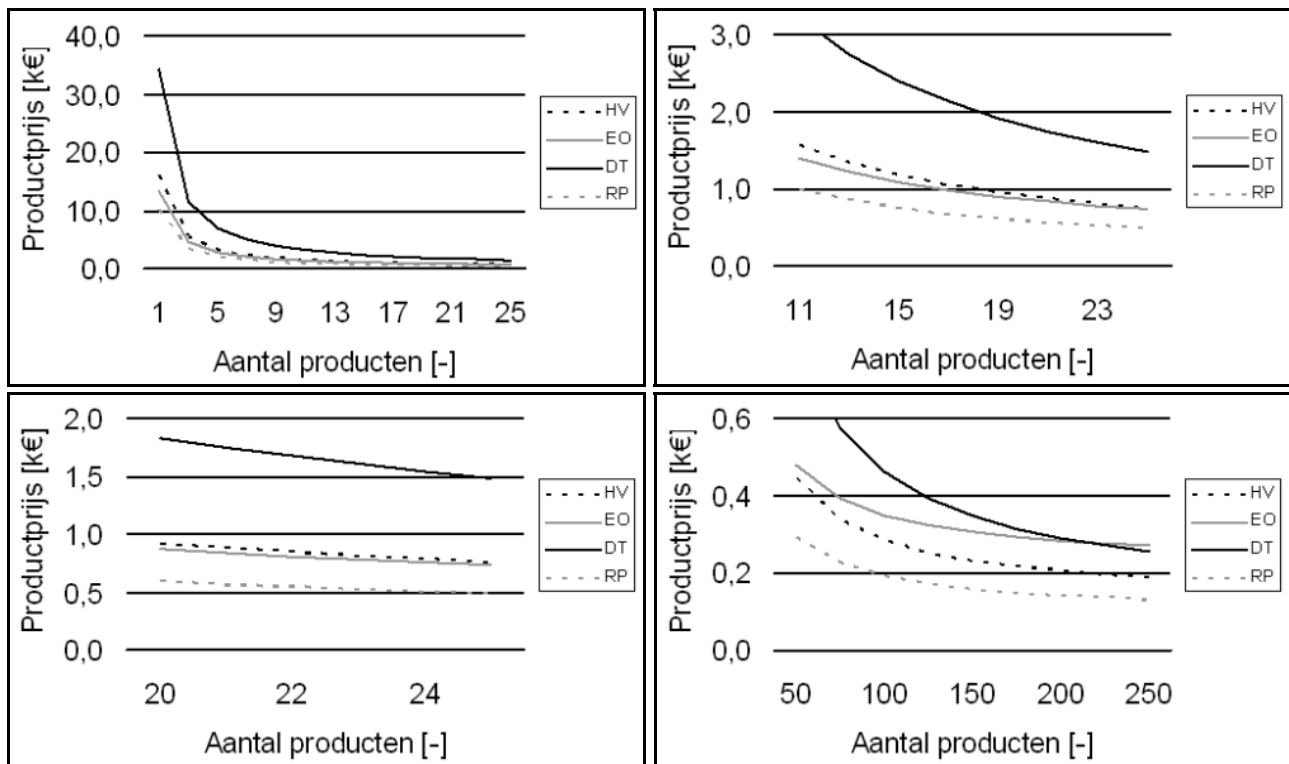
De alternatieve methoden lijken omvormtechnisch haalbaar, maar bevatten voor wat betreft de scherpe overgangen ter plaatse van de klauwen een beperkte onzekerheid.

Rubberpersen is tot seriegrootten van 1000 stuks kostprijsstechnisch het gunstigst (zie de grafieken in figuur 48). De schaalverdeling in deze grafieken van zowel de verticale als de horizontale assen varieert in verband met de duidelijkheid! Dit geldt overigens ook voor de grafieken bij de overige voorbeelden.

#### 4.3.1 Overige voorbeelden

In de volgende voorbeelden is overeenkomstig het voorbeeld van de hagedis per bewerking een technologische vergelijkingsmatrix opgesteld. De maakbaarheid is voor tenminste twee omvormprocessen bepaald. Vervolgens is een kostenraming gemaakt en kan in de grafieken het break-even point van de kostprijs in relatie met de seriegrootte worden afgelezen.

De kostprijsgegevens zijn afkomstig van verschillende bedrijven. Hierdoor kan de nauwkeurigheid van de kostenraming in het geding komen, omdat de ervaring leert dat kostprijsmodellen zeer divers kunnen zijn.



figuur 48 Vier grafieken (met verschillende Y-as) met betrekking tot de productprijs ten opzichte van het aantal producten

## Voorbeeld 2: Expansiestuk

### Omschrijving

Productmateriaal: RVS 304 Materiaaldikte: 6 mm  
 Seriegrootte: 1 stuk. Er kunnen zich in de toekomst herhaalseries voordoen.

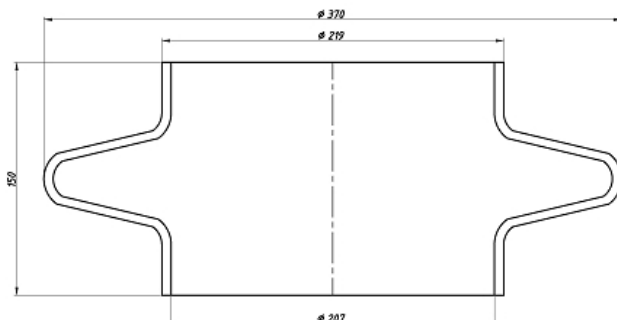
### Productiemethode:

Het expansiestuk wordt middels hydrovormen met "smart tools" (HVST) gemaakt. De balg wordt in eerste aanleg gevormd met een inwendige druk van ca. 600 bar. Gedurende dit proces wordt een mechanische axiale drukkracht uitgeoefend. De extreem kleine seriegrootte maakt het noodzakelijk de gereedschapskosten laag te houden. Dit is gerealiseerd door gebruik te maken van schaalvormige elementen, die aan weerszijden van de balg met bouten worden gemonteerd. Dit gaat uiteraard ten koste van de cyclustijd.

### Alternatieve productiemethode en resultaat:

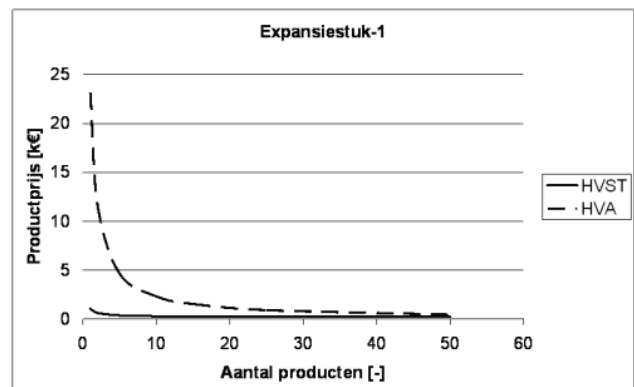
De alternatieve hydrovormmethode (HVA) is geschikt voor de automotive wijkt in principe niet af van de bovenstaande manier van hydrovormen met "smart tools". De methodiek is echter afgestemd op groot serie fabricage, hetgeen terug te vinden is in de matrijkosten, die voor kleine series resulteren in een aanzienlijk hogere kostprijs van het product.

Figuur 49 laat de doorsnede zien van het expansiestuk.

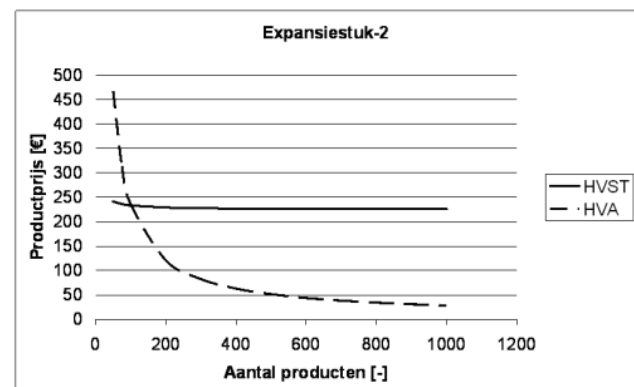


figuur 49 Dwarsdoorsnede van het expansiestuk

De figuren 50 en 51 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een expansiestuk wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 50 Kostprijs per "expansiestuk" in k€ voor 1 tot 50 producten



figuur 51 Kostprijs per "expansiestuk" in € voor 50 tot 1000 producten

### Voorbeeld 3: Onderdeel expansiestuk

*Omschrijving* (zie figuur 52)

Productmateriaal: RVS 316

Materiaaldikte: 2 mm

Uitwendige productdiameter: 800 mm

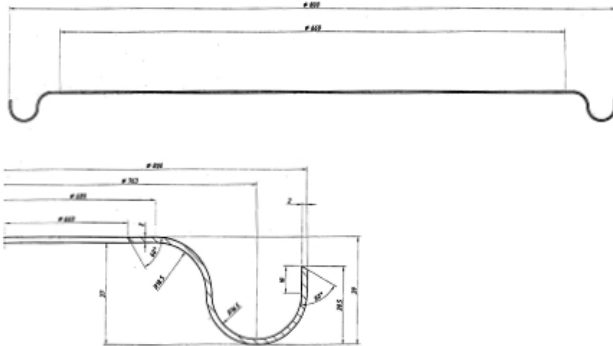
Seriegrootte: 1 stuk. Er kunnen zich in de toekomst herhaalseries voordoen.

Productiemethode:

Uitgaande van een calculatie die is gebaseerd op een seriegrootte van 1 stuk is gekozen voor het **hydrovormen** (HVST), waarbij met een grote strekcomponent wordt gewerkt.

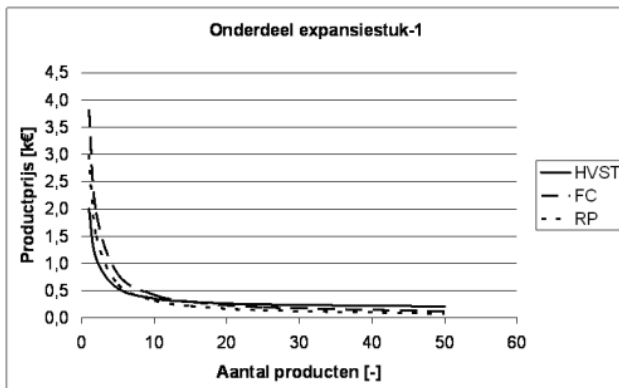
Alternatieve productiemethode en resultaat:

Dit product kan tevens door rubberpersen (RP) en forceren (FC) in kleine series worden gemaakt. Beide methoden leveren een uitstekend product op, maar kostprijs technisch is het hydrovormen voor kleine series (HVST) de goedkoopste methode gebleken. Dit wordt in dit specifieke geval voornamelijk veroorzaakt door de lagere matrijskosten, die voor het hydrovormen moesten worden gemaakt.



figuur 52 Onderdeel expansiestuk

De figuren 53 en 54 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van het onderdeel van een expansiestuk wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 53 Kostprijs per "onderdeel expansiestuk" in k€ voor 1 tot 50 producten

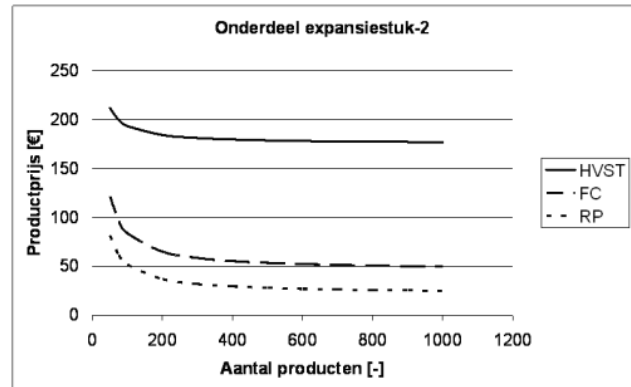
### Voorbeeld 4: "Vitalisor"

*Omschrijving* (zie figuur 55)

Productmateriaal: RVS 304

Materiaaldikte: 2,5 mm

Seriegrootte: 10.000 stuks. Er moeten proefproducten worden gemaakt.



figuur 54 Kostprijs per "onderdeel expansiestuk" in € voor 50 tot 1000 producten

Productiemethode:

Dit product kan uit buis met twee omvormtechnieken worden vervaardigd, te weten:

- Hydrovormen met goedkoop gereedschap (HVST) en op de methode voor groot seriefabricage (HVA)
- Explosief omvormen met een matrijs voor één product per explosie (EO 1) en met een matrijs voor 10 producten in één bewerking (EO 10).

Dit product moet met zowel hydrovormen als met explosief omvormen in drie bewerkingen worden gemaakt. Verder zijn op beide methoden 2 tussen-gloeijingen nodig.

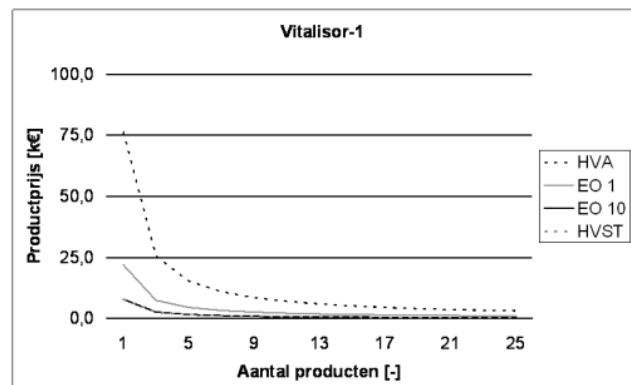
Resultaat:

Het hydrovormen met goedkoop gereedschap (HVST) is voordeliger dan explosief omvormen (EO) en de hydrovormmethode voor grootserie fabricage (HVA).

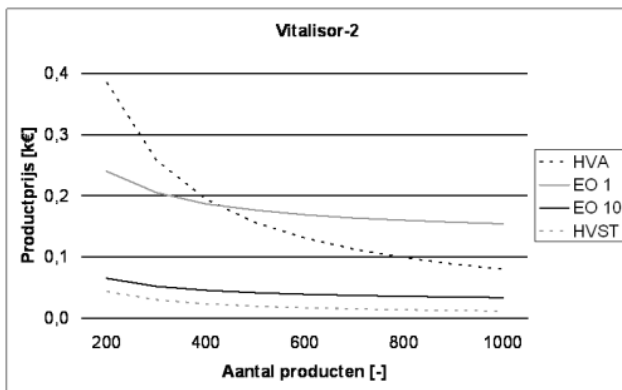


figuur 55 De vitalisor

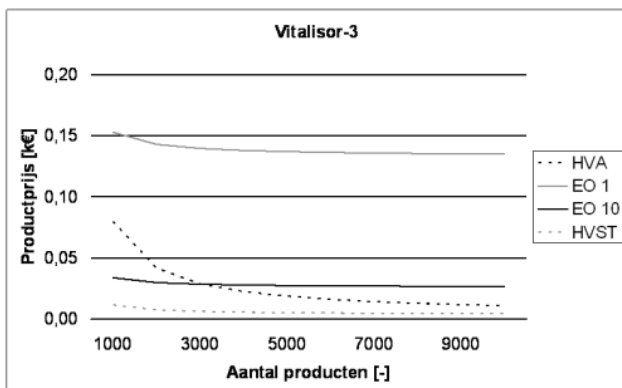
De figuren 56, 57 en 58 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een vitalisor wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 56 Kostprijs per "vitalisor" in k€ voor 1 tot 25 producten



figuur 57 Kostprijs per "vitalisor" in k€ voor 200 tot 1000 producten



figuur 58 Kostprijs per "vitalisor" in k€ voor 1000 tot 10.000 producten. N.B.: De schaal van de horizontale en de verticale as verschilt t.o.v. figuur 57

### Voorbeeld 5: "Abgasteil"

*Omschrijving* (zie figuur 59)

Productmateriaal: RVS 304

Uitgangsmateriaal: Ø 70 x 700 x 1,2 mm

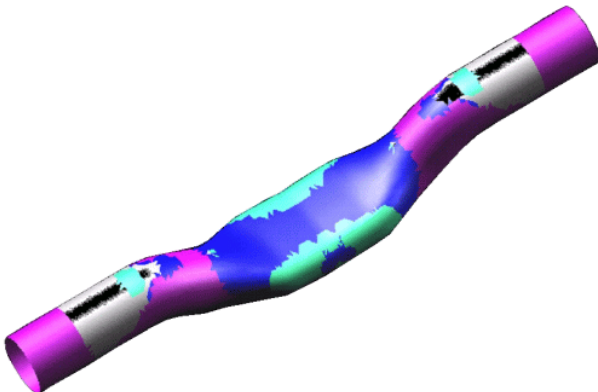
Seriegrootte: 10 stuks

Productiemethode:

Dit product moet later in grote series worden vervaardigd, maar in eerste aanleg zijn er 10 proefproducten nodig. Explosief omvormen (EO) is in dit geval een goede optie. De beschikbare pers, waarop de daadwerkelijke productie (HVA) wordt uitgevoerd, heeft een sluitkracht van 120.000 kN. De buis moet voor beide methoden worden voorgebogen.

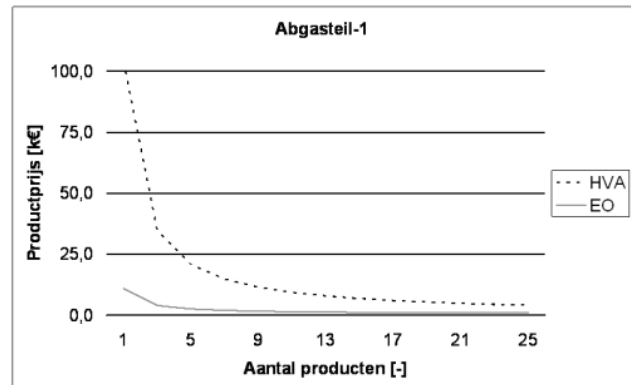
Resultaat:

Het break even point ligt voor beide methoden op 150 stuks. Dit beeld is enigszins gechargeerd, omdat de hydroformpers groter is, dan voor dit product strikt noodzakelijk is.

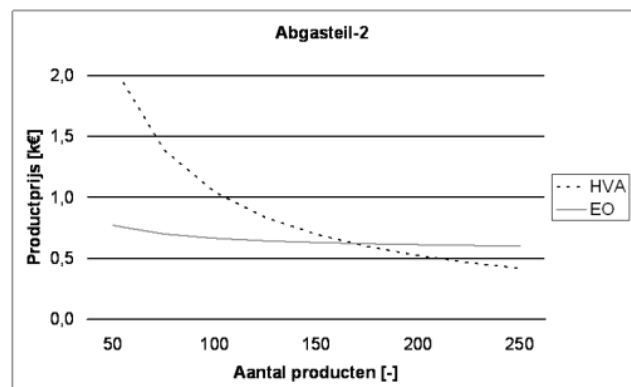


figuur 59 Uitlaatstuk ("Abgasteil")

De figuren 60 en 61 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een "Abgasteil" wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 60 Kostprijs per "Abgasteil" in k€ voor 1 tot 25 producten



figuur 61 Kostprijs per "Abgasteil" in k€ voor 50 tot 250 producten

### Voorbeeld 6: Branderplaat

*Omschrijving* (zie figuur 62)

Productmateriaal: RVS 310S

Materiaaldikte: 0,5 mm

Seriegrootte: 300 links en 300 rechts

Productiemethode:

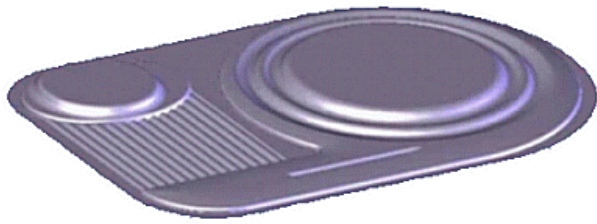
Van dit product moeten in eerste aanleg een aantal testproducten worden gemaakt. De definitieve productie zal na goedkeuring van de testproducten in een volggereedschap worden gerealiseerd. Daarom zijn de volgende methoden onderzocht:

- Hydrovormen (HVST);
- Rubberpersen (RP);
- Explosief omvormen (EO);
- Dieptrekken (DT).

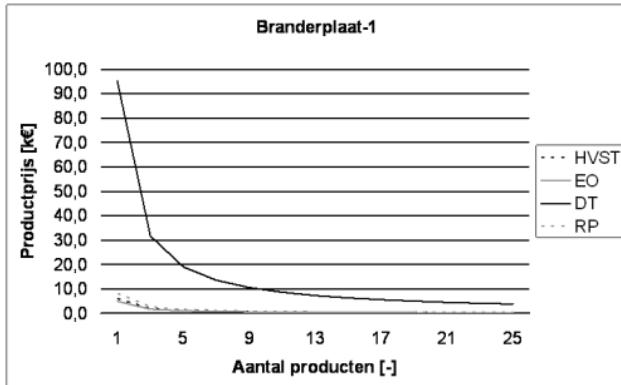
De matrijskosten voor het rubberpersen, explosief omvormen en hydrovormen onderscheiden zich weinig. De gereedschapskosten voor het dieptrekken zijn relatief zeer hoog. Omdat de cyclustijden voor het explosief omvormen aanzienlijk groter zijn dan die van het rubberpersen en hydrovormen, moet voor de proefserie van 300 linkse en 300 rechtse branderplaten een keuze worden gemaakt uit rubberpersen en hydrovormen.

De figuren 63 en 64 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een branderplaat wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.

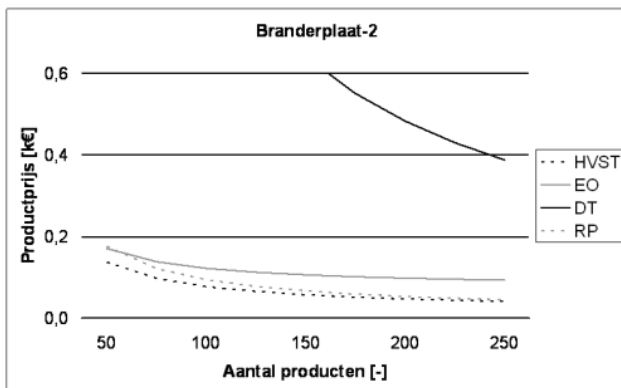




figuur 62 Branderplaat



figuur 63 Kostprijs per "branderplaat" in k€ voor 1 tot 25 producten



figuur 64 Kostprijs per "branderplaat" in k€ voor 50 tot 250 producten

### Voorbeeld 7: Zadelvlak

Omschrijving (zie figuur 65)

Productmateriaal: RVS 304

Materiaaldikte: 2 mm

Seriegrootte: 1 stuks

Productiemethode:

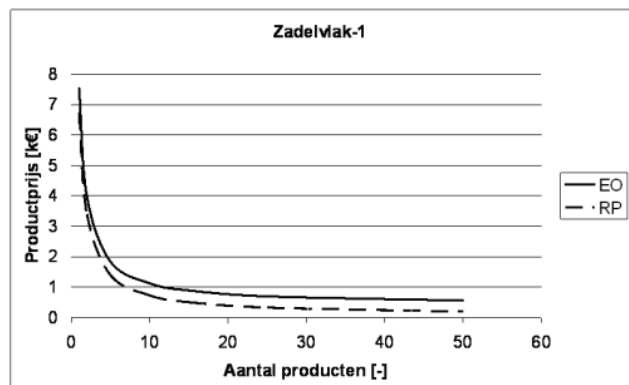
Omdat het hier een zeer kleine serie betreft is een afweging voor toepassing van het explosief omvormen (EO) en het rubberpersen (RP) gemaakt.

De gereedschapskosten voor het explosief omvormen en het rubberpersen zijn praktisch identiek, maar de stel- en bewerkingskosten van het rubberpersen waren lager, zodat het rubberpersen een goedkopere optie bleek te zijn. Het zadelvlak is desondanks toch door explosief omvormen vervaardigd en maakt deel uit van de bekleding van het Booster gemaal in Amsterdam.

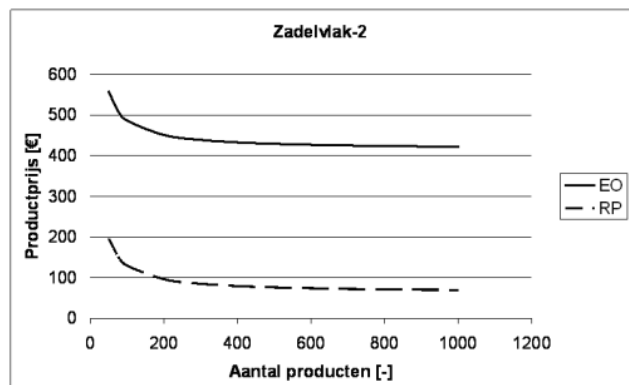
De figuren 66 en 67 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een zadelvlak wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 65 Het gereedgekomen zadelvlak



figuur 66 Kostprijs per "zadelvlak" in k€ voor 1 tot 50 producten



figuur 67 Kostprijs per "zadelvlak" in € voor 50 tot 5000 producten

### Voorbeeld 8: Doseerbus

Omschrijving (zie figuur 68)

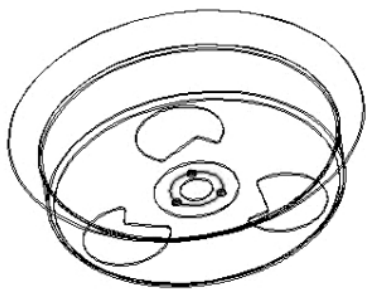
Productmateriaal: RVS 304

Materiaaldikte: 1,5 mm

Seriegrootte: 1000 stuks

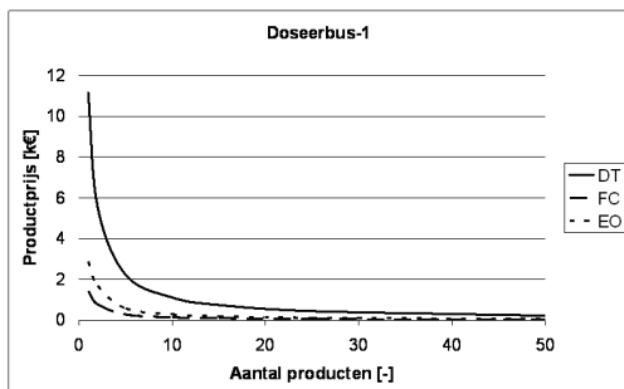
Productiemethode:

De doseerbus is een typisch dieptrekproduct en wordt dan ook middels dieptrekken (DT) vervaardigd. De hoge gereedschapskosten maken het economisch niet mogelijk om kleinere series te vervaardigen. Tot series van ca. 80 stuks is het forceren (FC) kostprijs-technisch echter interessanter dan het dieptrekken. Explosief omvormen (EO) is ook bij deze kleine seriegrootte niet interessant.

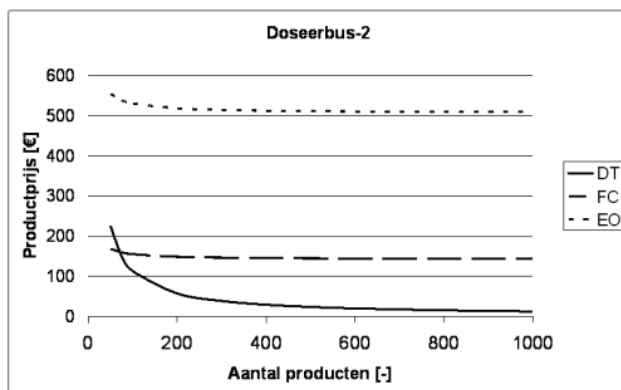


figuur 68 Doseerbus

De figuren 69 en 70 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een doseerbus wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 69 Kostprijs per "doseerbus" in k€ voor 1 tot 50 producten



figuur 70 Kostprijs per "doseerbus" in k€ voor 50 tot 1000 producten

### Voorbeeld 9: Ventilatorhuis

Omschrijving (zie figuur 71)

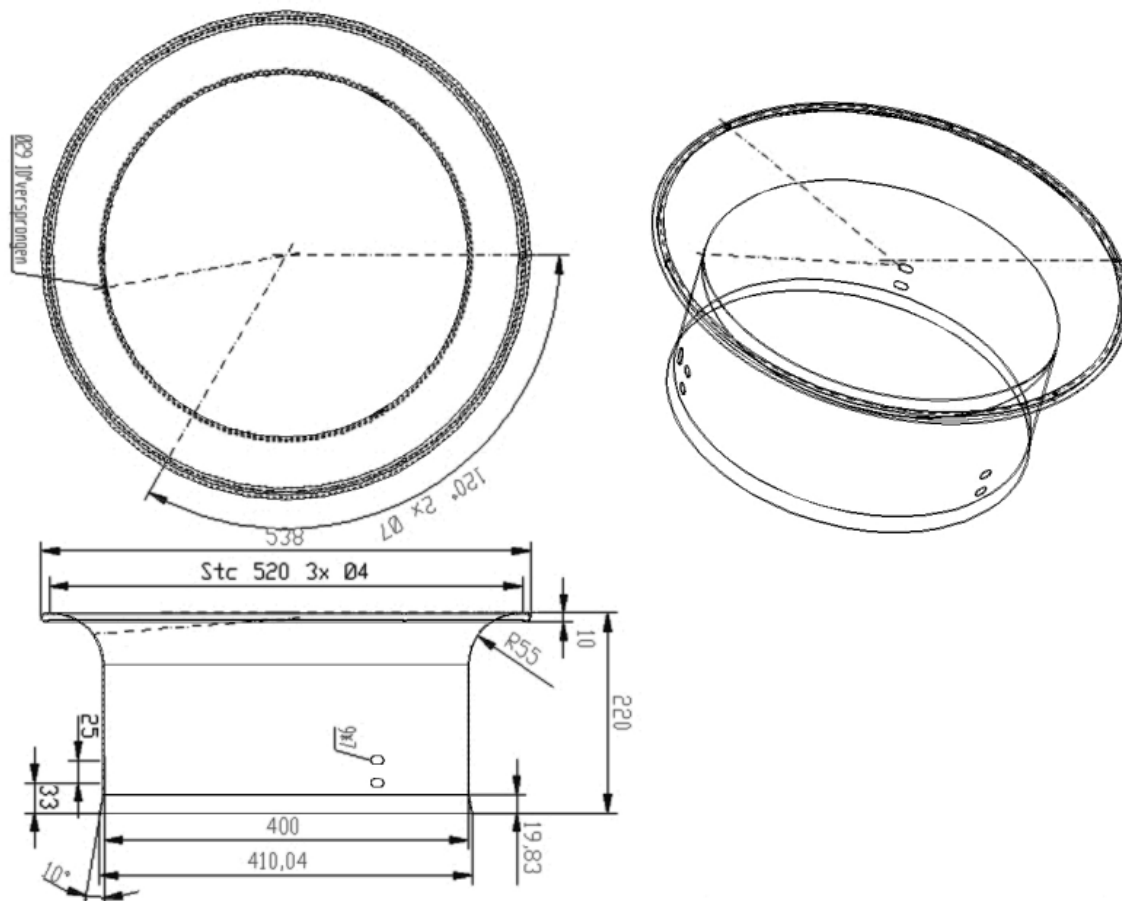
Productmateriaal: DX51 + Z275

Materiaaldikte: 2,0 mm

Seriegrootte: 5000 stuks

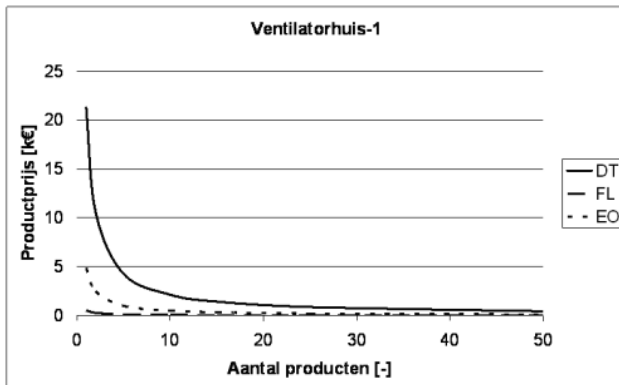
Productiemethode:

Deze producten worden momenteel door flenzen (FL) vervaardigd. Deze methode is uitermate geschikt voor deze productgroepen, omdat de gereedschapskosten nihil zijn en in één opspanning gaten in de flens kunnen worden gesneden. Voor series tot ca. 1000 stuks is het flenzen goedkoper dan het dieptrekken (DT). Bij series vanaf 5000 stuks is dieptrekken in ieder geval economisch een betere keuze dan het flenzen. Bij het explosief omvormen (EO) kunnen twee producten in één explosie worden gevormd. Deze omvormmethode is echter zelfs voor zeer kleine series economisch niet interessant.

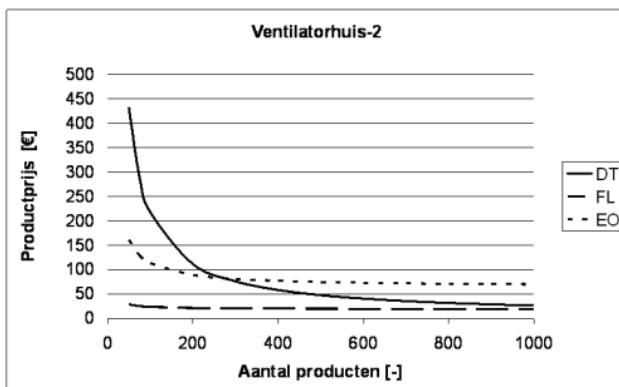


figuur 71 Ventilatorhuis

De figuren 72 en 73 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een ventilatorhuis wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 72 Kostprijs per "ventilatorhuis" in k€ voor 1 tot 50 producten



figuur 73 Kostprijs per "ventilatorhuis" in € voor 50 tot 1000 producten

#### Voorbeeld 10: Reflectorkap

*Omschrijving* (zie figuur 74)

Productmateriaal: Aluminium

Materiaaldikte: 1,0 mm

Seriegrootte: 1000 stuks

Productiemethode:

De productgeometrie in combinatie met de betrekkelijk leent zich uitstekend voor het forceren (FC). Het hydromechanisch dieptrekken (HMDT) maakt het mogelijk het product in twee trekken te vervaardigen.

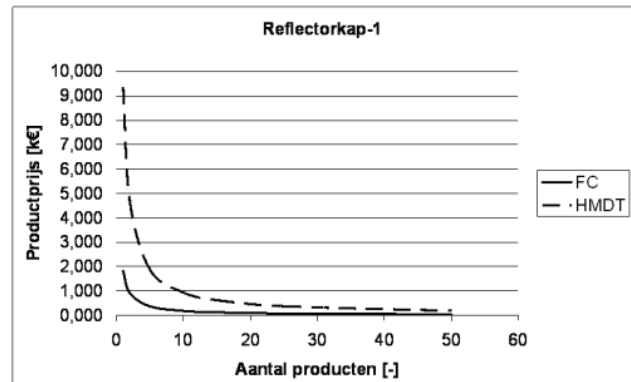


figuur 74 Reflectorkap

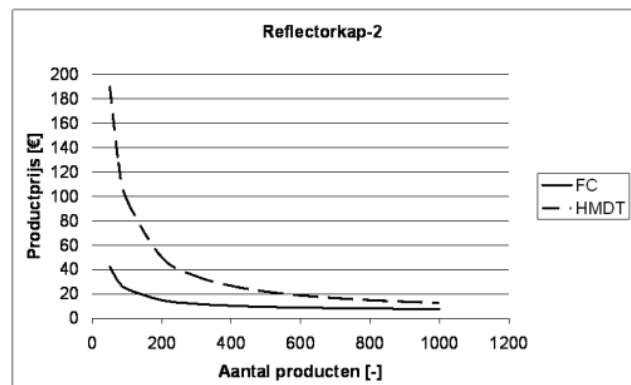
Ondanks het feit, dat de trekking hierbij wordt vervangen door een drukvat, blijken de gereedschapskosten voor het hydromechanisch dieptrekken aanzienlijk hoger te zijn dan de forceermal. Dit impliceert

dat het hydromechanisch dieptrekken kostprijs technisch niet interessant is.

De figuren 75 en 76 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een reflectorkap wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 75 Kostprijs per "reflectorkap" in k€ voor 1 tot 50 producten



figuur 76 Kostprijs per "reflectorkap" in € voor 50 tot 1000 producten

#### Voorbeeld 11: Ketelophanging

*Omschrijving* (zie figuur 77)

Productmateriaal: DX51 + Z275

Materiaaldikte: 1,5 mm

Seriegrootte: 100 stuks

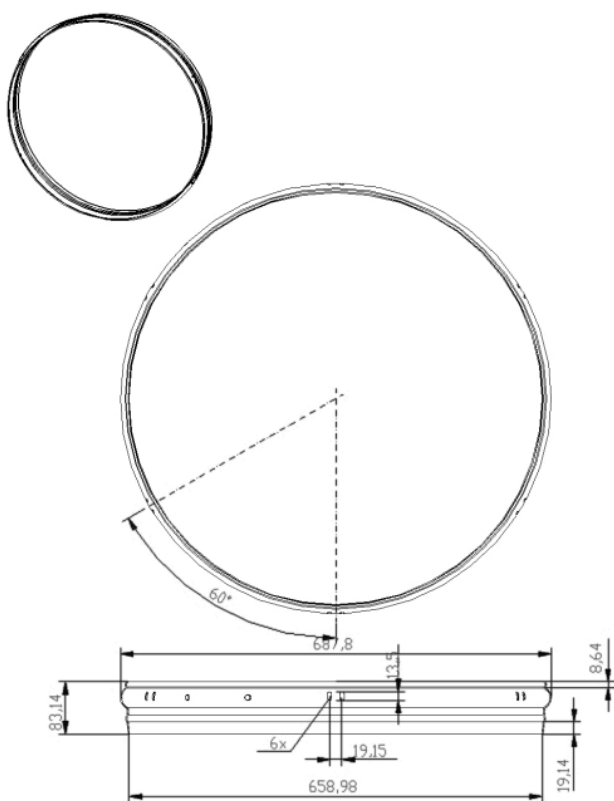
Productiemethode:

Dit product moet gezien de kleine seriegrootte met lage gereedschapskosten worden gemaakt. Een voor de hand liggende methode (RB) is in dit verband:

- Rondwalsen en lassen;
- Rolprofilen;
- Besnijden en gaten snijden.

Alternatieve methoden voor klein seriefabricage, zoals hydrovormen (HVST) en explosief omvormen (EO) vragen hogere (productgebonden) gereedschapskosten en bovendien hogere bewerkingskosten. Het is in dit kader niet moeilijk om de keuze te laten vallen op eerst genoemde productiemethode.

De figuren 78 en 79 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een ketelophanging wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 77 Ketelophangring

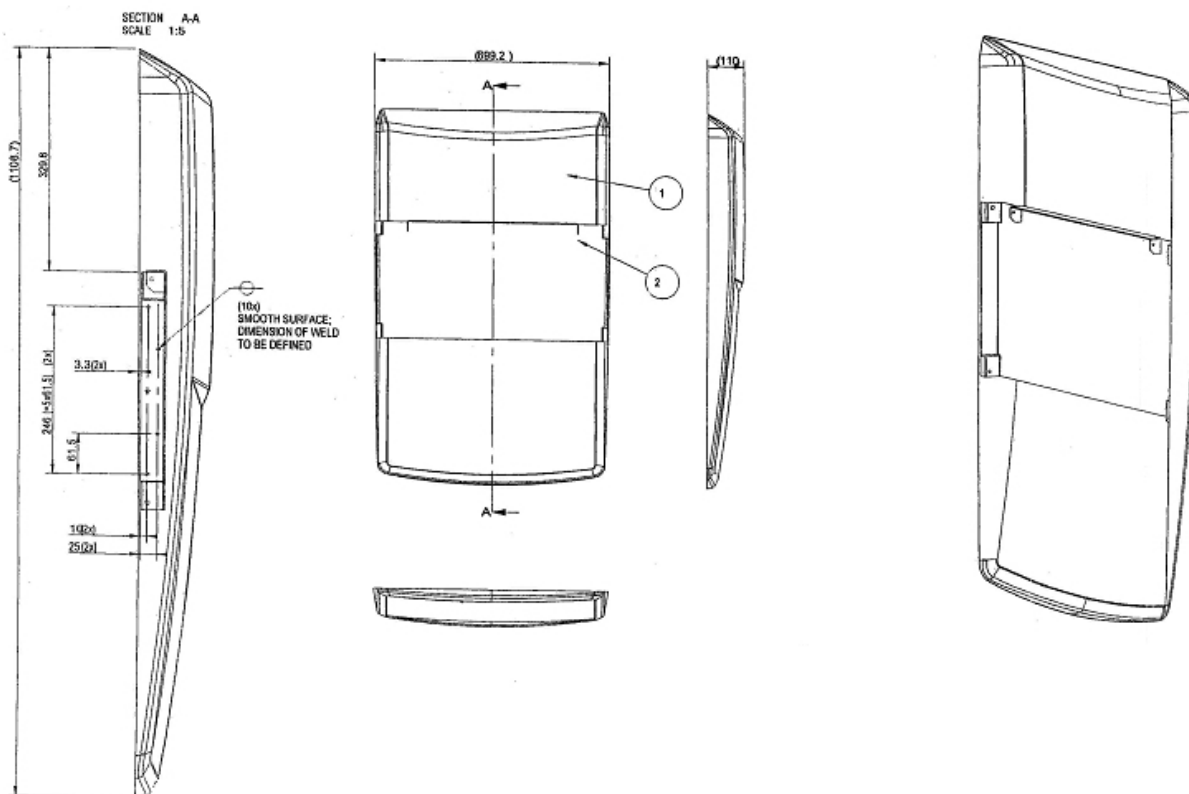
### Voorbeeld 12: Voorkap

Omschrijving (zie figuur 80)

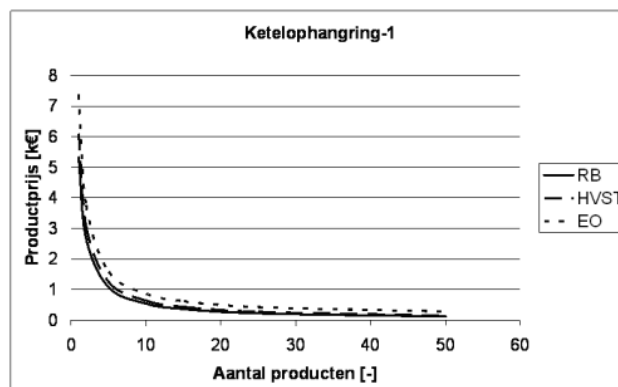
Productmateriaal: RVS 304

Materiaaldikte: 2,0 mm

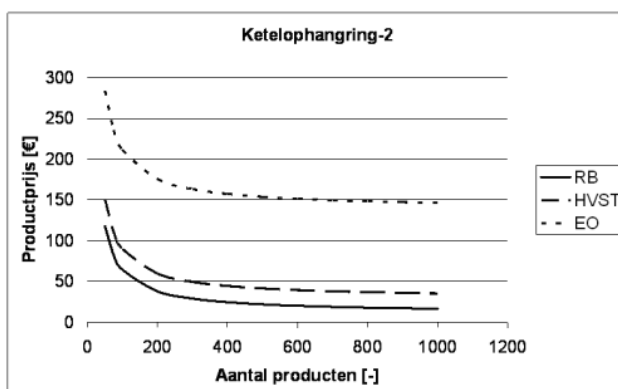
Seriegrootte: 99 stuks



figuur 80 Voorkap



figuur 78 Kostprijs per "ketelophangring" in k€ voor 1 tot 50 producten



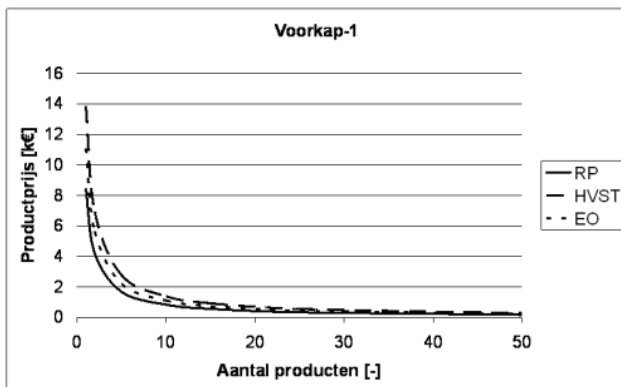
figuur 79 Kostprijs per "ketelophangring" in € voor 50 tot 1000 producten



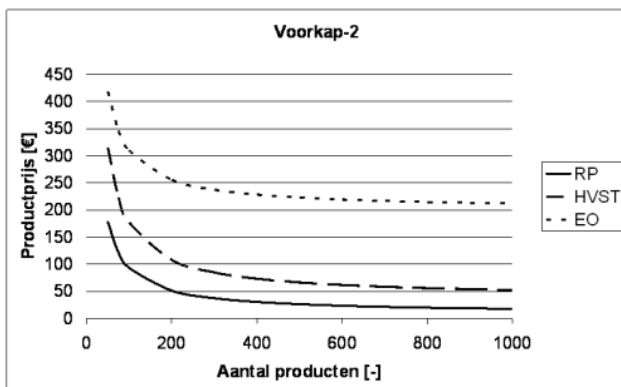
#### Productiemethode:

Dit product laat zich vervaardigen door rubberpersen (RP) met een 30.000 kN pers met koffer van ca. 1300 × 800 mm. Omdat de bewerkingskosten en de gereedschapskosten voor het hydrovormen (HVST) voor dit product aanzienlijk hoger zijn dan voor het rubberpersen, is het rubberpersen een goede keus. Het explosief omvormen (EO) van dit product kenmerkt zich door zeer hoge cyclustijden. De gereedschapskosten zijn echter voor deze bewerking vergelijkbaar met die van het rubberpersen. Gezien de kortere cyclustijden blijkt het rubberpersen kostprijsstechnisch de beste methode te zijn.

De figuren 81 en 82 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een voorlap wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 81 Kostprijs per "voorkap" in k€ voor 1 tot 50 producten



figuur 82 Kostprijs per "voorkap" in € voor 50 tot 1000 producten

#### Voorbeeld 13: Getrapte buis

*Omschrijving* (zie figuur 83)

Productmateriaal: RVS 304

Wanddikte: 4,0 mm

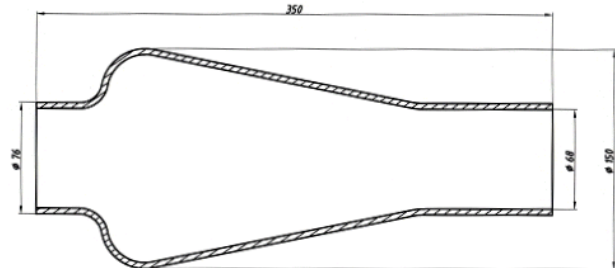
Seriegrootte: 100 stuks

Productiemethode:

Dit product leent zich uitstekend voor het hydrovormen van buis met axiale aanvoerkracht (HVST) om de grote tangentiale rek van 120% mogelijk te maken. Op deze wijze kan iedere 15 minuten een product worden gemaakt. Een minder geslaagd alternatief is het explosief omvormen (EO). Omdat hier de axiale compensatiedruk ontbreekt, is de spanningstoestand ongunstig en zal het materiaal scheuren. Het product moet daarom in drie fasen met twee tussengloeijingen á € 800,- per gloeiing worden gevormd. De cyclus-

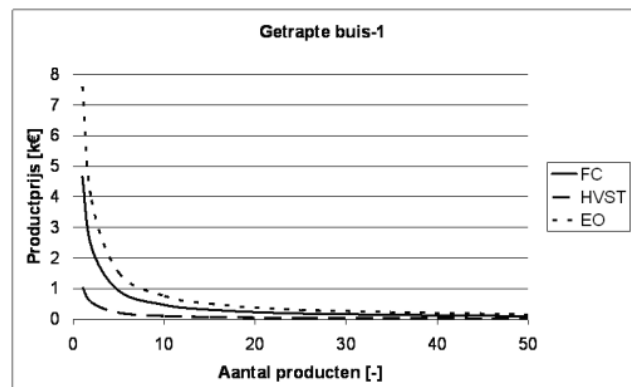
tijd van dit product bedraagt 3 uur, hetgeen resulteert in een te hoge kostprijs.

De derde methode is het forceren (FC) van een kort buisdeel Ø 76 × Ø 150 mm en het expanderen van het lange buisdeel Ø 76 × Ø 150. Vervolgens worden beide delen gelast en nabewerkt. Deze productiemethode is zeer arbeidsintensief en vraagt hogere gereedschapskosten dan het hydrovormen van de getrapte buis.

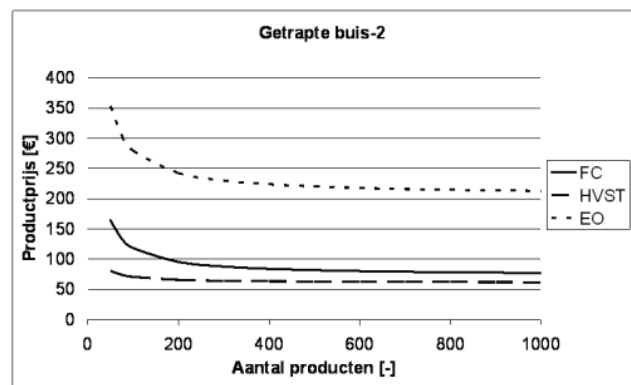


figuur 83 Getrapte buis

De figuren 84 en 85 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een getrapte buis wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 84 Kostprijs per "getrapte buis" in k€ voor 1 tot 50 producten



figuur 85 Kostprijs per "getrapte buis" in € voor 50 tot 1000 producten

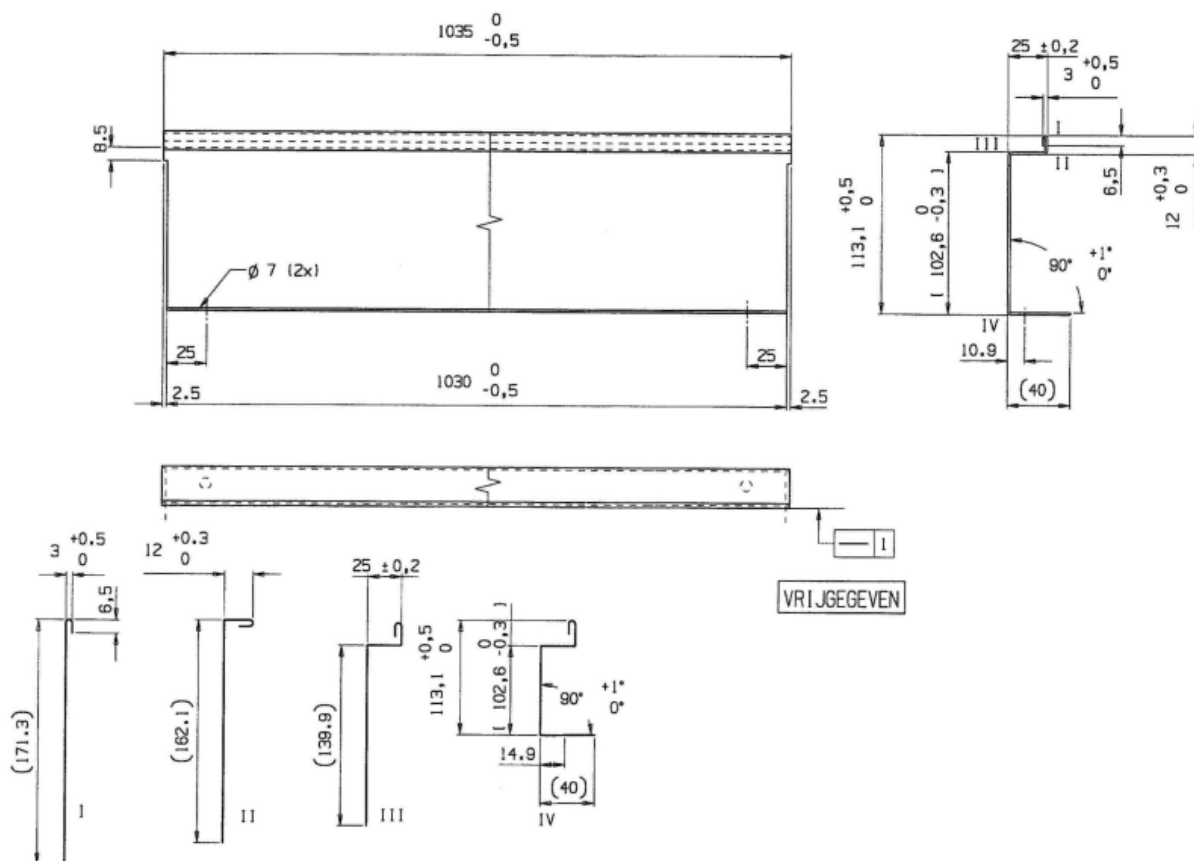
#### Voorbeeld 14: Achterregel

*Omschrijving* (zie figuur 86)

Productmateriaal: DC01

Plaatdikte: 1,5 mm

Seriegrootte: 100 stuks



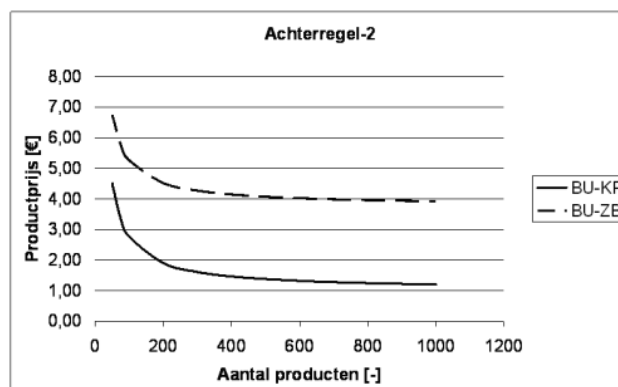
figuur 86 Achterregel

#### Productiemethode:

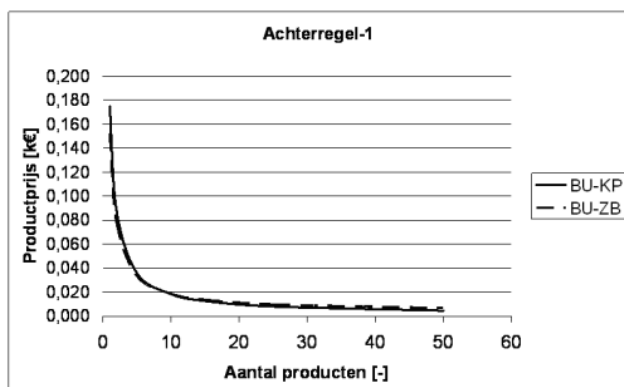
De producten zijn geselecteerd op hun productie-mogelijkheden.

Dit product wordt doorgaans op de kantpers (BU-KP) gemaakt, maar kan voor wat de geometrie betreft ook op de zwenkbuigautomaat (BU-ZB) worden vervaardigd. Cruciaal in dit verband is de maat 40 mm. Op beide machines behoeven voor dit product geen speciale gereedschappen te worden gebruikt. Zoals verwacht is de cyclustijd op de zwenkbuigmachine korter dan die op de kantpers. Dit verschil werd echter volledig teniet gedaan door de veel hogere uurprijs van de zwenkbuigautomaat.

De figuren 87 en 88 geven aan de hand van grafieken weer wat de kostprijs van een achterregel wordt ten opzichte van het aantal te produceren exemplaren voor de verschillende productietechnieken.



figuur 88 Kostprijs per "achterregel" in € voor 50 tot 1000 producten



figuur 87 Kostprijs per "achterregel" in k€ voor 1 tot 50 producten

#### Voorbeeld 15: Schuifdeur

Omschrijving (zie figuur 89)

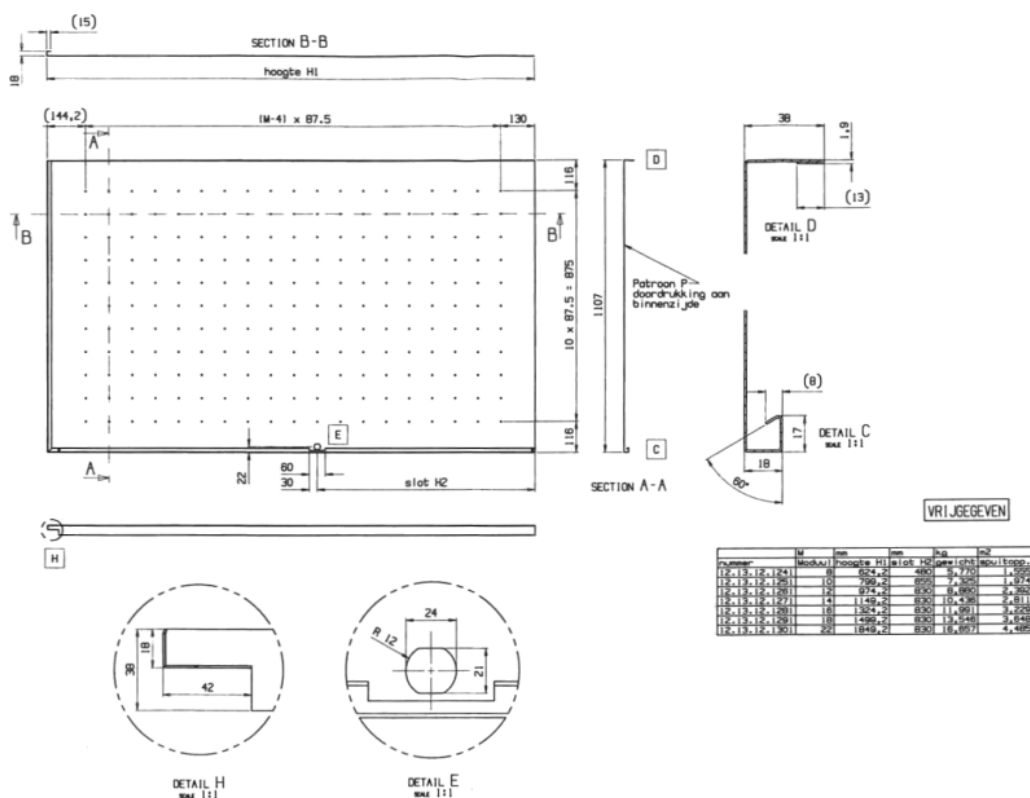
Productmateriaal: DC01

Plaatdikte: 0,95 mm

Seriegrootte: 100 stuks

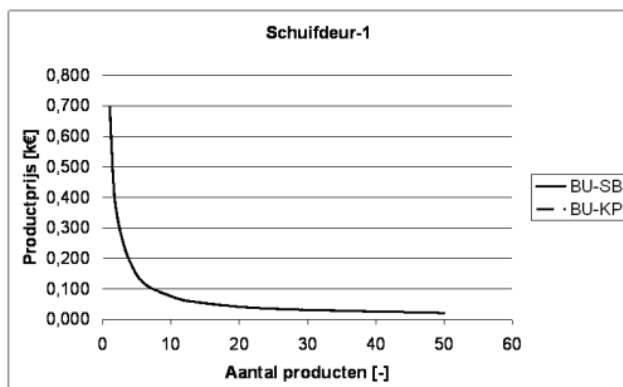
Productiemethode:

Dit product kan bij Ahrend zowel op de kantpers (BU-KP) als op de Salvagnini buigautomaat (BU-SB) worden gebogen. Op de kantpers zijn vanwege de productafmetingen 2 operators nodig. Desondanks is de uurprijs van de Salvagnini hoger dan van de kantpers met 2 operators. De hogere productiesnelheid van de Salvagnini resulteert dan ook niet in een lagere kostprijs van het product. De kostprijzen van beide methoden van buigen zijn in dit geval nage-nog gelijk.

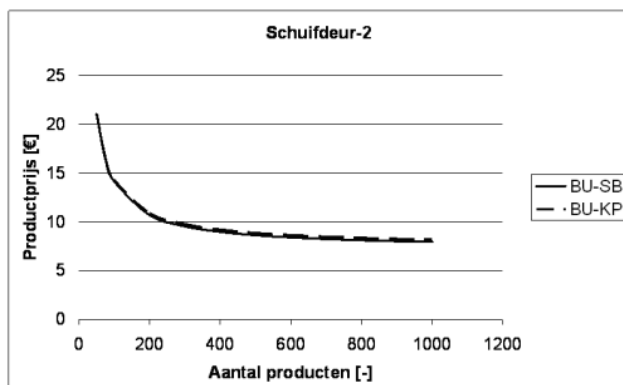


figuur 89 Schuifdeur

De figuren 90 en 91 geven aan de hand van grafieken weer wat de productprijzen zijn ten opzichte van het aantal producten voor de verschillende omvormtechnieken.



figuur 90 Kostprijs per "schuifdeur" in k€ voor 1 tot 50 producten



figuur 90 Kostprijs per "schuifdeur" in € voor 50 tot 1000 producten

#### 4.3.1.1 Tendens van de voorbeelden

Voor buisvormige producten in kleine series blijkt het hydrovormen (met en zonder aanvoerkracht) economisch vaak het meest interessant. Hierbij moet de kanttekening worden gemaakt, dat de werkwijze van verschillende hydrovormbedrijven verschillend kan zijn met betrekking tot de hydrovormpers en de gereedschapconstructie. Voor ondiepe plaatdelen in kleine series zijn de bewerkingen hydrovormen, rubberpersen en explosief omvormen interessante processen. Laatst genoemde bewerking blijkt alleen voor de zeer kleine series economische voordelen te bieden.

Extreem grote producten kunnen technologisch gezien vaak alleen door explosief omvormen worden vervaardigd. Een economische vergelijking met andere processen is in dat geval niet zinvol.

Rotatiesymmetrische producten uit plaat laten zich in kleine series economisch goed vervaardigen door forceren, vloedraaien en flenzen. Het voorbeeld van de "getrapte buis" is, wat dit betreft, niet helemaal representatief, omdat hierbij na het forceren extra bewerkingen, zoals gloeien, lassen en nabewerken noodzakelijk zijn.

De mogelijkheid van het buigen op kantpersen, zwenkbuigmachines en strijkbuigmachines wordt door de geometrie en de afmetingen van de producten bepaald. De economische keuze voor producten, die op zowel de kantpers als op één van de andere twee methoden kunnen worden gemaakt, zullen voor de kleine series (< 100 á 200) in het geval van de behandelde voorbeelden op de kantpers goedkoper worden gemaakt.

#### 4.3.2 Conclusies van de behandelde voorbeelden

De behandelde voorbeelden geven een goed beeld van de technologische en economische mogelijkheden en beperkingen van veel voorkomende bewerkingen. Toch zal voor ieder ander product de werkwijze van de technologische vergelijkingsmatrix moeten worden gevolgd. De productvoorbeelden in hoofdstuk 5 kunnen daarbij ondersteunend werken.



## 5 Productvoorbeelden

De figuren 92 t/m 97 geven voorbeelden van producten gemaakt met behulp van hydrovormen uit plaat en buis door Expansor Nederland BV.



figuur 92 De hagedis uit het voorbeeld van § 4.3  
figuur 93 en 94 Getrapte buizen  
figuren 95, 96 en 97 Diverse balgen

De figuren 98 t/m 102 geven voorbeelden van producten gemaakt met behulp van explosief omvormen door Exploform BV:

- Alle denkbare vormen en afmetingen vanuit diverse beginvormen (bijvoorbeeld plaat, buis en conus) zijn mogelijk;
- Materialen: alle plastisch te vervormen materialen van zeer dun tot heel dik.



figuur 98 Eurosterren, 130 cm hoog, 3 mm aluminium, 24 stuks  
figuur 99 Paneel Rolls-Royce Exhaust Collector, 2,5 meter lang, 6 + 4 mm RVS, 5 prototypes  
figuur 100 Gevelpaneel met reliëfpatroon, 1600 stuks 1,5 x 0,8 m, 0,7 mm voorgelakt aluminium  
figuur 101 Hoekpaneel, 2,5 m breed, 2 mm aluminium, 44 stuks  
figuur 102 Model voor een mixer van een vliegtuigmotor van 1 meter diameter, 1 mm nikkel, 100/jaar



De figuren 103 t/m 108 geven voorbeelden van producten gemaakt met behulp van hydromechanisch dieptrekken door Geerts Metaalwaren BV:

Vormen en afmetingen:

Materialen: staal, RVS, aluminium en messing



- figuur 103 Asymmetrisch product  
 figuur 104 Cilindrisch product met vlakke kant  
 figuur 105 Complex klokvormig product  
 figuur 106 Kegelvormig product met rekverdeling  
 figuur 107 Zeskantig product  
 figuur 108 Asymmetrisch gerild product

De figuren 109 t/m 114 geven voorbeelden van producten gemaakt met behulp van hydrovormen door Hydroform Beheer BV:

Alle denkbare vormen en afmetingen vanuit diverse beginvormen (bijvoorbeeld plaat, buis en conus) zijn mogelijk. Materialen: alle plastisch te vervormen materialen van zeer dun tot heel dik.



- figuur 109 Straatmeubilair, paaltjes rvs; 1,5 mm wand; ontwikkeld i.s.m. T. Kooymans  
 figuur 110 Bosal, buisjes t.b.v. tubular manifold; 1,4 liter motor van Opel; Materiaal 1.48.28; 1mm wand  
 figuur 111 Collector buis t.b.v. tubular manifold voor Ford Mondeo; Materiaal 1.48.28; wand 2 mm  
 figuur 112 Voet voor bureautafel gemaakt uit st 34 modified; wand 3 mm  
 figuur 113 Jaguar, protodeel voor uitlaatdeel; radius binnenzijde praktisch nihil  
 figuur 114 Tubular manifold t.b.v. Ford Mondeo; Material 1.48.28; wand 1,5 mm

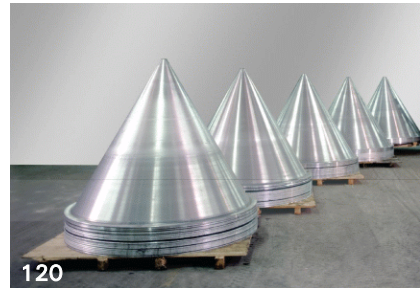
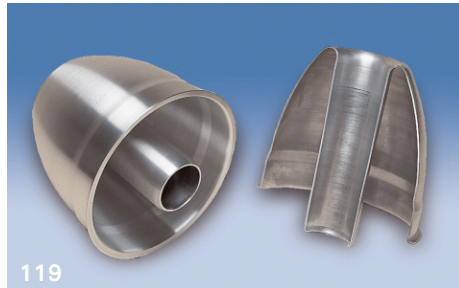
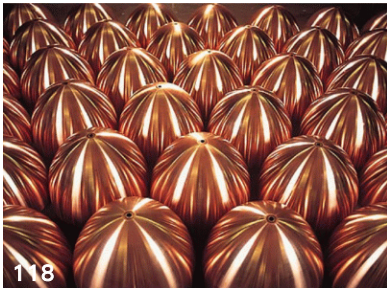
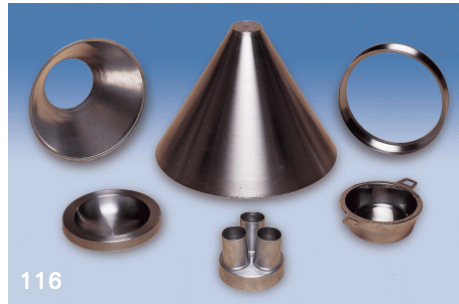


De figuren 115 t/m 120 geven voorbeelden van producten gemaakt met behulp van forceren en flenzen door Orfa - Visser Metaalbewerking BV:

Vormen en afmetingen: Cilinder-, kegel- of bolvorm, vlakke vormen met rand. Diameters: 10 tot 3000 mm.

Materiaaldikte: Handforceren > 0,8 - 2 mm, hydraulisch: 2 - 10 mm.

Materialen: Koper, messing, aluminium, staal, roestvaststaal, titanium, lood, zink.



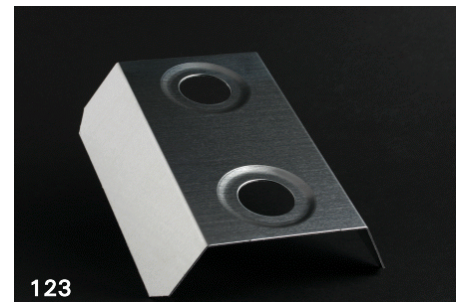
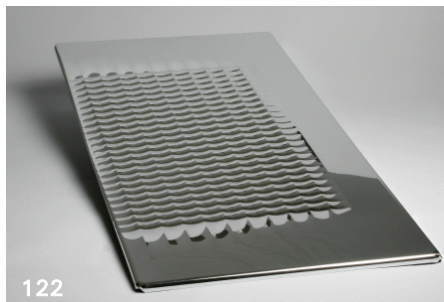
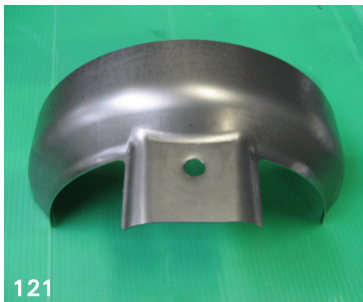
figuur 115 Reflector  
figuur 116 Divers klein forceerwerk  
figuur 117 Diverse flenswalsproducten  
figuur 118 Muziekpauken  
figuur 119 Hoogspanningsscherm  
figuur 120 Silotrechters

De figuren 121 t/m 126 geven voorbeelden van producten gemaakt met behulp van rubberpersen door Metaalwarenfabriek Phoenix BV:

Vormen en afmetingen: Dubbelgekromde vormen tot max 150 mm diep zowel positief als negatief geperst

Max afmeting 1800x2200 mm

Materialen: Staal t/m 3 mm dik; RVS t/m 2mm; Aluminium t/m 3 mm; Titanium 3 mm; Messing 2 mm; Koper 2 mm



figuur 121 Bevestigingsbeugel 1 mm staal 150x70x80 mm; Geheel met een laser 3D nagesneden  
figuur 122 Reflectorplaat hoogglans gewalst aluminium 0,5 mm dik; 800x400 mm dubbelgekromd  
figuur 123 Aluminium beugel 1 mm dik; 150x100x50 mm  
figuur 124 Bedieningspaneel 200x100x60mm; Materiaal: RVS geslepen; dikte 0,8 mm  
figuur 125 Zijruit plaat voor BMW (oldtimer); 1 mm dik staal; 300x100x20 mm  
figuur 126 Hitteschild staalplaat 1 mm 700x150x80 mm. Na rubberpersen geheel met een laser 3D nagesneden



### Auteur:

Deze voorlichtingspublicatie is opgesteld in opdracht van de Vereniging FME-CWM in het kader van het project 'Proceskeuze voor de fabricage van producten met hoge nauwkeurigheidseisen te vervaardigen in kleine series (PKS)'. Hierbij waren de volgende organisaties betrokken: SenterNovem, FDP, NIL, NIMR, Syntens, TNO, Universiteit Twente, TU Delft en de Vereniging FME-CWM/Industrieel Technologie Centrum (ITC).

De auteur, Jan Borsboom (Federatie Dunne Plaat), met medewerking van Harrie Raaijmakers (Federatie Dunne Plaat) en Pierre Senster (TNO Industrie en Techniek) werden ondersteund door een klankbordgroep bestaande uit: Wim Beekmans (Federatie Dunne Plaat), Hans Greeven (Expansor Nederland BV), Hugo Groeneveld (Exploform BV), Rob de Haas (Geerts Metaalwaren BV), Jan van Hulst (Metaalwarenfabriek Phoenix BV), Henny de Kruijk (TNO Industrie en Techniek), Jo van de Put (Syntens), Math Slangen (Hydroform Beheer BV), Frans Visser (Orfa Visser Metaalbewerking BV), Gerard van Wijngaarden (MCB Nederland BV), Ger Vaessen (GVA) en Peter Boers (FME).

### Bronvermelding:

Voor het samenstellen van deze publicatie is gebruik gemaakt van de volgende bronnen:  
Diverse VM-publicaties en Tech-Info-bladen;  
Publicaties van Corus, de Federatie Dunne Plaat, Orfa Visser, Phoenix en TNO;  
Sheet Steel Forming Handbook, SSAB Tunnplat, Edition 1;  
Fundamentals of Modern Manufacturing, Mikell P. Groover;  
Spaanloos Omvormen van Metalen Deel 2, Ing. J.G. Sligte VDI.

### Technische informatie:

Voor technisch inhoudelijke informatie over de in deze voorlichtingspublicatie behandelde onderwerpen kunt u zich richten tot de auteur J.N. Borsboom (tel.: 030-6000005, e-mail: jan.borsboom@planet.nl).

### Informatie over, en bestelling van VM-publicaties, Praktijkbevelingen en Tech-Info-bladen:

#### Vereniging FME-CWM/Industrieel Technologie Centrum (ITC)

Bezoekadres: Boerhaavelaan 40,  
2713 HX ZOETERMEER  
Correspondentie-adres: Postbus 190,  
2700 AD ZOETERMEER  
Telefoon: (079) 353 11 00/353 13 41  
Fax: (079) 353 13 65  
E-mail: pbo@fme.nl  
Internet: www.fme.nl

© Vereniging FME-CWM/april 2007 - 03

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM  
Afdeling Technologie en Innovatie  
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer  
telefoon 079 - 353 11 00  
telefax 079 - 353 13 65  
e-mail: pbo@fme.nl  
internet: www.fme.nl



Netherlands Institute  
for Metals Research



SenterNovem



Universiteit Twente  
de ondernemende  
universiteit



Federatie  
dunne plaat

