

SPUITGIETEN, KUNST OF WETENSCHAP

Prof. Ir. J. F. Ingen Housz

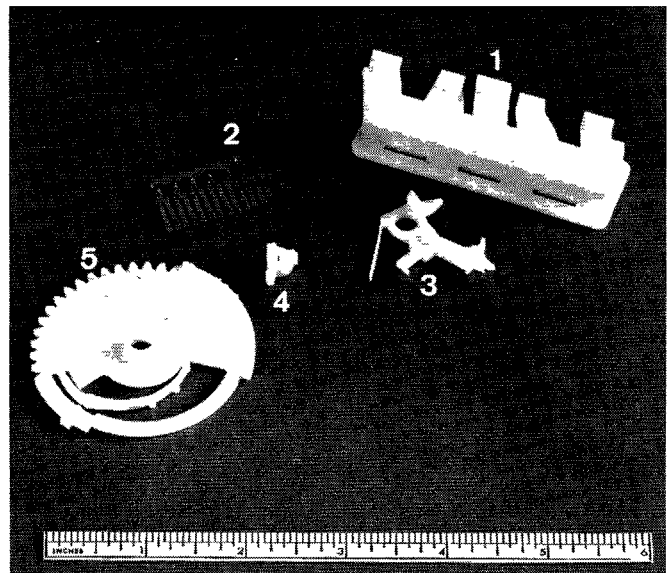
Op 30 november '78 werd in de Twentse TH onder het motto 'Optimalisering in het spuitgietsbedrijf' een aantal lezingen gehouden. Hier volgt een verkorte samenvatting van de lezing van Prof. Ir. J. F. Ingen Housz

1. Inleiding.

Het spuitgieten van producten uit thermoplastische kunststof is een van de meest gecompliceerde processen uit het hele gebied van kunststofverwerkingstechnieken. In feite mogen we stellen dat ieder nieuw product uniek is en een nieuw probleem vormt. Dit komt door de grote verscheidenheid qua vorm, afmetingen, vereiste nauwkeurigheid, gebruikt materiaal etc. Deze problemen betreffen zaken als stromingspatroon tijdens het vullen van de vorm, temperatuurverloop in de stromingsdoorsneden, invloed van inhomogene massa temperaturen, etc. en moeten worden opgelost door juiste keuze van spuitsnelheid, massa temperatuur, nadruk, koelsysteem e.d. Doordat het praktisch niet mogelijk is ieder product zowel qua gedrag van het gereede product in de toepassing alsook ten aanzien van het productieproces, geheel door te rekenen speelt de ervaring hier een uitzonderlijk belangrijke rol. Deze ervaring betreft drie gebieden:

- Productonderwerp – het ontwerp bepaalt hoe kritisch het productieproces en hoe duur het product wordt. Iedere fout, zowel ten aanzien van een te zware specificatie als door onjuiste constructie wordt gestraft door te hoge productiekosten, hetzij door te lange cycli, teveel uitschot, te dure matrijs, teveel nabewerking, hetzij door niet goed functioneren van het product.
- Matrijsontwerp – de interactie met het productontwerp is duidelijk. Ervaring van spuitgieter en van matrijs ontwerper spelen hier een rol. Een goede matrijs kan dikwijls fouten in het productontwerp of 'onmogelijke' eisen enigszins compenseren maar nooit geheel opheffen.
- Machinekeuze – deze bepaalt mede de kwaliteit van het product, d.w.z. de mate waarin de ontwerpspecificatie 'gehaald' wordt.
 - keuze en juiste instelling van de machine hebben grote invloed op de kostprijs, mede door de mogelijkheid fouten in product- en matrijsontwerp te compenseren of althans te camoufleren.

Zodra product, materiaal en matrijs vaststaande gegevens zijn heeft de fabrikant slechts de machinekeuze en -instelling als variabelen ter beschikking om zijn werk zo goed mogelijk te doen. Het is vooral zijn ervaring die hem in staat stelt de mogelijkheden van zijn machines zo goed mogelijk uit te buiten. Bruikbare, toepasbare ervaring is meestal het grootst bij die bedrijven die op bepaalde productgroepen zijn gespecialiseerd, eenvoudig omdat elk nieuw product zoveel dichter ligt bij reeds eerder gemaakte artikelen en de bestaande ervaring daardoor zoveel meer relevant is. (N.B. onder fabrikant versta ik hier niet alleen de directeur of bedrijfsleider maar ook alle bij de productie en het onderhoud betrokkenen, vooral – en dat zeer nadrukkelijk – de mensen aan de machines die als eerste elk produkt in handen krijgen en de eerste zijn die afwijkingen kunnen signaleren en moeten corrigeren).



Spuitgieten, kunst of wetenschap

Ervaring wordt, bewust of onbewust, vastgelegd in vuistregels die in het algemeen het hele scala van waardevolle know-how tot folklore bestrijken. Vooral voor die folklore moeten we oppassen, fabeltjes hebben wel eens een grond van waarheid maar zijn niet altijd waar. In een zich ontwikkelende technologie kan het bestaan van een mening, zonder duidelijk inzicht, verstarrend werken.

2. De machine.

De functionele delen van de machine zijn het sluitmechanisme en de inspuut eenheid.

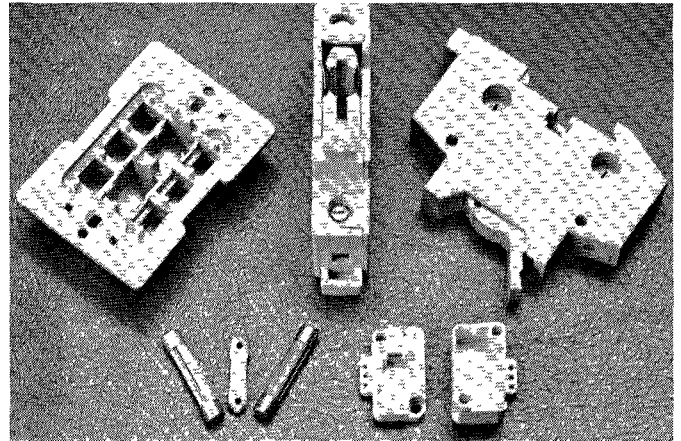
- De *sluitzijde* bestaat uit een in principe vrij eenvoudige pers, in het algemeen hydraulisch bewogen, hetzij direct, hetzij via een hefboomstelsel. Naast afmeting, sluitkracht en snelheid is de gemakkelijke en exacte instelbaarheid van belang. Vooral het instellen van de sluitkracht is van belang.

Alle hier toegepaste constructieprincipes zijn in de werktuigbouwkunde reeds vrij lang bekend. Stijfheid, parallelgeleiding, e.d. zijn uit de persenbouw bekende begrippen. De relatief langdurige stilstand, onder belasting, in wat de persenconstructeur het 'onderste dode punt' zou noemen is bij persen in het algemeen niet gebruikelijk en kan speciale oplossingen vereisen van smeringsproblemen.

- De *inspuitzijde* bestaat tegenwoordig vrijwel steeds uit een extruder die tevens als plunjerpomp fungeert.

De extruder is een goed onderzocht en voor berekening goed toegankelijke procesmachine. De toepassing in de spuitgietmachine wijkt af van de gebruikelijke door intermitterende in plaats van continue werking, door de tijdens het plastificeren variabele schroeflengte en door het feit dat we tamelijk vrij zijn in de keuze van de tegendruk. Een bij continue extrusie van product belangrijke eis is dat de opbrengst van de machine zeer goed constant moet zijn in de tijd. Deze eis speelt bij spuitgieten vrijwel niet mee, alle geproduceerde smelt wordt in het spuitkussen opgeborgen en wordt pas 'geëxtrudeerd' wanneer de vorm gevuld moet worden. De plunjerpomp is een al zeer lang bekend werktuig. Op zich zelf geen enkel probleem. De combinatie met een extruderschroef vereist echter een afdichting die dicht is wanneer de pomp werk en geopend is wanneer de extruder smelt produceert. Deze afdichting, de klep voorop de schroef, geeft nog wel eens problemen. Hierop kom ik later nog even terug.

c. Aandrijving, meet- en regelapparatuur, verwarming, beveiliging etc. zijn alle op zichzelf bekende zaken waaruit uiteraard wel een verstandige keus gemaakt moet worden.



Spuitgieten, kunst of wetenschap

3. Kwaliteit van het product.

Naarmate de kwaliteitseisen hoger zijn zullen ook aan de machine hogere eisen gesteld worden teneinde de verlangde kwaliteit te realiseren. Hogere kwaliteitseisen betekent meer kans op uitschot. Vooral als we terwille van een korte cyclus met matrijstemperatuur, nadruktijd e.d. gaan knoeien kan er veel bedorven worden zonder dat dit direkt merkbaar is. Te hoge inwendige spanningen in een product kunnen, soms pas na verloop van tijd, leiden tot ontoelaatbare vervormingen of zelfs tot scheuren die dan alsnog tot afkeur leiden.

De belangrijkste eisen t.a.v. kwaliteit hebben betrekking op

- reproduceerbaarheid van afmetingen en gewicht
- vormvastheid - dus géén kromtrekken e.d. - d.w.z. de inwendige spanningen moeten begrensd worden.
- vrij van oppervlakte-defecten maar ook van niet uitwendig zichtbare defecten als krimpholtes, porositeit.
- bereiken van de vereiste mechanische eigenschappen.

3.1 Dosering.

Maat- en gewichtnauwkeurigheid vereisen een juiste dosering van de hoeveelheid ingespoten materiaal. Er moet precies *zoveel* materiaal in de vorm komen als overeenkomt met het volume van het gerede product vermenigvuldigt met het soortelijke gewicht van het afgekoelde materiaal. Overdosering vereist terugvloeiën van het teveel naar de spuitcilinder gedurende het eerste deel van de koelcyclus. Een veel te hoge dosering kan, als ook de spuitdruk hoog is, leiden tot openspuiten van de vorm - dit geeft niet alleen veel nabewerking en extra materiaalgebruik, bij de kritische maateisen van vele technische producten zal dit onveranderlijk tot afkeur leiden. Onderdosering vereist aanvullen tijdens de koelfase. Naarmate het materiaal in de vorm afkoelt en daardoor krimpt moet er materiaal nagedrukt worden. Het is dan echter helemaal niet zeker dat het lukt dit materiaal naar die plaats te sturen waar het nodig is.

Dosering geschiedt veelal plaatsafhankelijk, dit stelt eisen aan de sluitklep die niet waargemaakt kunnen worden. De klep moet dan bij iedere injectie precies even snel en even goed sluiten op straffe van variaties in de dosering. De fouten worden meestal wel goed gemaakt, althans ten dele tijdens de nadrukfase maar de daardoor veroorzaakte materiaalbeweging in de omgeving van de aanspuiting veroorzaakt oriëntatie en daardoor latente spanningen die in het algemeen ongewenst zijn. Bij tijdsafhankelijke dosering blijven deze problemen bestaan en zullen bovendien verschillen in de hydraulische werking, bijv. door schommelingen van de olietemperatuur, afwijkingen van de gewenste dosering veroorzaken. Drukafhankelijk doseren kan deze problemen oplossen. De reprodu-

ceerbare werking van de klep is dan minder belangrijk. De vorm wordt gevuld totdat een ingestelde druk bereikt is. Er zit dan precies genoeg materiaal in. Tijdens het afkoelen neemt door het krimpen van het materiaal de druk af. Houden we de nadruk nu constant en gelijk aan de inspuitedruk dan zouden we toch nog navullen totdat de aanspuiting dichtvriest en zouden we dan toch weer de bezwaren van het plaatsafhankelijk doseren binnenhalen. Daarom moeten we of de nadruk precies goed programmeren of, wat minder gebruikelijk is, de vorm afsluiten zodat er niets in of uit kan en in die situatie laten afkoelen. De hamvraag is nu: 'bij welke spuit-einddruk moet de vorm worden afgesloten?'

Bij de beantwoording hebt u de vrije keus tussen kunst en wetenschap en voorlopig adviseer ik u op uw kunst te vertrouwen, m.a.w. probeer maar tot de juiste instelling gevonden is en zorg dat u deze handhaaft.

Voor dat handhaven kunt u de oliedruk in de spuitcilinder als maat nemen. Dit kan in veel gevallen genoeg zijn. Is dit te grof dan moet de druk in de matrijs als signaal gebruikt worden.

De vraag *wáár* de druk dan gemeten moet worden is vooral een kwestie van ervaring, dus nog meer kunst.

De wetenschap hebben we nu nodig om te verklaren waarom dit systeem werkt. Daartoe beginnen we, en dat is in de wetenschap een oud gebruik, de zaken wat eenvoudiger voor te stellen.

We veronderstellen dat de matrijs een constante temperatuur heeft en zéér stijf is zodat het volume van de vormholte onder alle omstandigheden onveranderlijk is.

Polystyreen heeft een soortelijke dichtheid van 1.04 kg/dm^3 , we noteren liever in S.I.-eenheden $\rho = 1050 \text{ kg/m}^3$. Het soortelijk volume is dan

$$V = \frac{1}{\rho} \cdot 0.952 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}. \text{ Deze waarde geldt bij omge-}$$

vingstemperatuur $T = 20^\circ\text{C}$ en atmosferische druk $P \approx 1 \text{ kg/cm}^2 \approx 100.000 \text{ N/m}^2$.

Volgens Spencer en Gilmore geldt nu (bij benadering) de toestandsvergelijking:

$$(P + \pi)(V - \omega) = \frac{RT}{M}$$

waarin P , V en T resp. de druk, soortelijk volume en temperatuur zijn. R is de universele gasconstante, $R = 8315 \text{ Nm/kmol}^\circ\text{K}$.

M is het molgewicht van een monomeer eenheid (dit gaat niet steeds strikt op, S en G spreken over een 'interaction unit' waarmee ze overigens wel ongeveer hetzelfde bedoelen), voor PS: $M = 104$ (nl. $-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{C}_6\text{H}_5$).

π en ω zijn experimenteel bepaald; $\pi = 1840 \text{ bar} \approx 1.804 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$ is de inwendige druk bij $T = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

ω is het soortel. volume bij 0°K , de waarde is $\omega = 0.822 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$.

Ter controle, bij $P = 10^5 \text{ N/m}^2$ en $T = 293 \text{ }^\circ\text{K}$:

$$(10^5 + 1.804 \cdot 10^8) (V - 0.822 \cdot 10^{-3}) = \frac{8315.293}{104}$$

$$\text{waaruit } V = 0.822 \cdot 10^{-3} + \frac{8315.293}{104 \cdot 1.805 \cdot 10^8} =$$

$$= (0.822 + 0.130)10^{-3} = 0.952 \cdot 10^{-3}$$

De vorm moet nu zodanig gevuld worden dat bij de vuldruk en (gemiddelde!) temperatuur, de dichtheid juist 1050 kg/m^3 is, resp. het soortelijk volume $V = 0.952 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$ is.

Daartoe moeten we nu eerst de temp. kennen. Deze hangt uiteraard sterk af van de vorm, de snelheid waarmee deze gevuld is en van vormtemperatuur en massatemperatuur. Nemen we de vormtemp. op $20 \text{ }^\circ\text{C}$ en de massatemp. op $220 \text{ }^\circ\text{C}$ aan dan zal een gemiddelde materiaaltmp. van $190 \text{ }^\circ\text{C}$ bij een wanddikte van gemiddeld 2 mm vrij waarschijnlijk zijn, dus $T = 190 \text{ }^\circ\text{C} = 463 \text{ }^\circ\text{K}$.

We vinden nu de nodige druk uit:

$$P = \left(\frac{463}{293} - 1\right) \pi = \frac{170}{293} \cdot \pi = 0,58 \pi$$

ofwel $P \approx 1.05 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2 \approx 1050 \text{ atm}$.

In de praktijk zullen we al willen ontvormen, voordat de werkstuktemp. tot de temp. van de vorm is gedaald. Stel dat we bij een gemiddelde temp. van $50 \text{ }^\circ\text{C}$ willen ontvormen, dan zou in ons voorbeeld de druk in de vorm nog

$$P_{50} = \left(\frac{323}{293} - 1\right) \cdot \pi = \frac{30}{293} \cdot 1.805 \cdot 10^8 \approx 185 \text{ atm. bedragen.}$$

Bij het openen van de vorm en het uitwerpen van het product kan dit gemakkelijk beschadigen, daarom willen we liever bij $P = 1 \text{ atm}$ ontvormen.

Dan zal het product bij verdere afkoeling nog krimpen. Om nu uiteindelijk op dezelfde dichtheid uit te komen (nl. $V = 0.952 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$) zullen we bij $50 \text{ }^\circ\text{C}$ een hoger specifiek volume moeten aanhouden (en dus een lagere dichtheid) nl. ca. $V = 0.965 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$.

De vormholte moet dus naar rato (d.w.z. lineair ca. 0,4%) groter gemaakt worden om op de uiteindelijk gewenste maten uit te komen.

Nu moet echter met een lagere druk gevuld worden anders zou het werkstuk te zwaar worden.

$$\text{Met } P_{\text{vul}} = \left(\frac{463}{323} - 1\right) \pi \approx 782 \text{ atm.}$$

zal de dichtheid bij $190 \text{ }^\circ\text{C}$ overeenkomen met de dichtheid bij $50 \text{ }^\circ\text{C}$ en atmosferische druk, nl. $V = 0.965 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$. Na afkoelen tot $20 \text{ }^\circ\text{C}$ wordt dan $V = 0.952 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$.

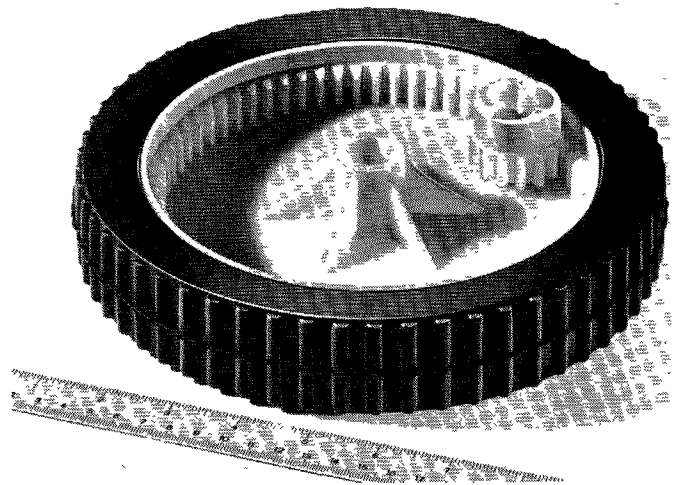
Deze berekening gaat strikt genomen alleen op als overal in de vorm dezelfde temperatuur en druk zou heersen hetgeen uiteraard niet het geval is. Daar bovendien de gegeven waarden voor π en ω nogal onbetrouwbaar zijn is de praktische betekenis van de rekenarij als zodanig gering. Deze beschouwing maakt echter duidelijk dat een drukafhankelijke dosering (c.q. omschakeling op nadruk) waarbij de druk in de matrijs wordt gemeten tot goede reproduceerbaarheid van het resultaat kan leiden. Blijkbaar kunnen we de kunst voorlopig nog niet ontberen maar is de wetenschap wel in staat het vertrouwen in de kunst te verhogen.

Ter vergelijking geven we hieronder enkele cijfers voor diverse materialen.

Tabel (ontleend aan Torner/Reher: Grundprozesse der Verarbeitung von Polymeren, Leipzig 1973).

Materiaal	M	π N/m ²	ω m ³ /kg
PS	104	$1804 \cdot 10^5$	$0,822 \cdot 10^{-3}$
PMMA	100	$2088 \cdot 10^5$	$0,734 \cdot 10^{-3}$
EL	60,5	$2323 \cdot 10^5$	$0,72 \cdot 10^{-3}$
CAB	54,4	$2754 \cdot 10^5$	$0,688 \cdot 10^{-3}$
LDPE	28,1	$3176 \cdot 10^5$	$0,875 \cdot 10^{-3}$
HDPE	28,1	$6624 \cdot 10^5$	$1,11 \cdot 10^{-3}$
PA (t en 10)	2,7	$10570 \cdot 10^5$	$0,738 \cdot 10^{-3}$

De cijfers voor met name HDPE en voor PA zien er onbetrouwbaar uit. Daar de theorie van Spencer en Gilmore slechts voor amorphe materialen geldt mag deze t.a.v. PE en PA slechts voor de smelt worden gebruikt en niet voor de vaste stof daar deze gedeeltelijk kristallijn is.



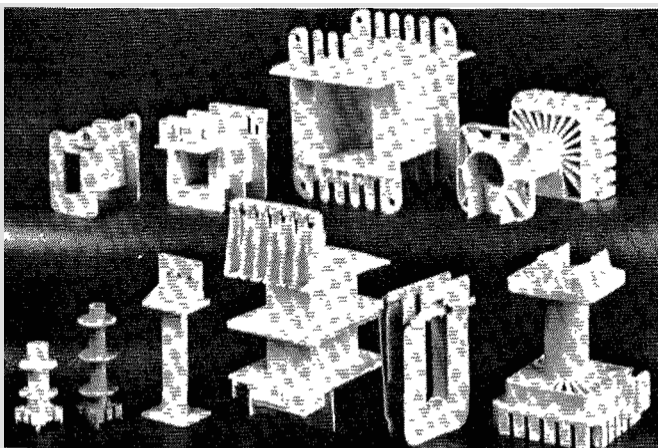
Spuitsieten, kunst of wetenschap

3.2 Temperatuurbeheersing

Wanneer we de juiste einddruk experimenteel bepalen doet het er niet toe welke de gemiddelde materiaalt temperatuur is in de matrijs want die hadden we nodig voor de berekening, niet bij het experiment. Het is duidelijk dat, eenmaal een einddruk vastgesteld hebbende, de temperatuur verder bij elk shot gelijk moet zijn. Het werkelijk redelijk constant houden van deze temperatuur is echter niet eens zo eenvoudig. Het is mogelijk om vrij grote temperatuur verschillen (om de gedachten te bepalen, $\pm 15 \text{ }^\circ\text{C}$ om de gewenste standaard temp.) te compenseren door de einddruk aan te passen. D.w.z. hogere druk bij hogere temp. Behalve de druk moet dan ook de temp. in de matrijs op een daartoe geschikte plaats worden gemeten.

Een microprocessor (bijvoorbeeld) geprogrammeerd met de juiste overdrachtsfunctie kan dan bij de gemeten temperatuur de bijbehorende druk bepalen en er voor zorgen dat tot deze druk gevuld wordt. Deze overdrachtsfunctie kan voldoende nauwkeurig berekend worden omdat de gegevens van Spencer en Gilmore gebaseerd zijn op metingen in de buurt van 185 °C en dus juist in het gebied dat van belang is redelijk betrouwbaar zullen zijn. De temperatuurmeting moet dan echter wel zeer snel reageren op kleine veranderingen en desondanks betrouwbaar zijn. In de matrijs is dit moeilijk te realiseren. Als we de temperatuur in de massa vóór de spuitneus meten en deze massa steeds met dezelfde snelheid inspuiten dan is deze meting ook wel voldoende representatief voor de regeling, echter op voorwaarde dat de viscositeit van de massa eveneens redelijk constant is. Nu is de viscositeit in eerste instantie een functie van de temperatuur. Variëert deze temperatuur dan is de viscositeitsverandering te berekenen. De microprocessor krijgt een moeilijker som te maken maar in principe kan het systeem goed werken.

Totdat een nieuwe partij materiaal aangesproken wordt waarvan de eigenschappen wat anders zijn dan die van de vorige. Dan is het misschien nodig om toch óók de viscositeit te meten, met de verkregen waarde kan dan de massatemperatuur zo bijgeregeld worden dat de temperatuur in de matrijs dezelfde wordt als deze met het oude materiaal was. Bijregelen van de massatemperatuur is niet zo eenvoudig als het lijkt. De cylindertemperatuur kan bijgesteld worden maar het duurt dan wel even voordat deze verandering invloed krijgt. In die tussentijd kan de tegendruk, d.i. de druk in de massa waartegen de schroef materiaal levert, worden aangepast. Die aanpassing moet dan geleidelijk worden teruggenomen totdat de invloed van de veranderde cylindertemperatuur gestabiliseerd is. In het algemeen moeten we voorzichtig zijn met te vergaande besturing. Doordat zeer veel, vaak niet erg betrouwbare of niet beschikbare, gegevens nodig zijn voor de programmering is het verstandiger bij in gebruik nemen van een nieuwe partij materiaal, de machine opnieuw af te stellen. Indien de partij voldoende homogeen is zal dan een goede regeling veel verschillen in omgevingstemperatuur, temperatuur van het materiaal en dergelijke invloeden kunnen compenseren. Bij te vergaande automatisering bestaat het gevaar dat defecten aan de machine onzichtbaar gemaakt worden, bijv. uitgevallen verwarmingsband, lekkende pakking van spuitcilinder, versleten sluitklep op de schroef, etc.



Spuitgieten, kunst of wetenschap

3.3 Nadrukregeling

Het is niet altijd mogelijk de vorm af te sluiten na voltooide inspuiting bij de gewenste inwendige vormdruk. Dan moet de schroef (-plunjer) via het open inspuitskanaal blijven zorgen voor de gewenste druk in de matrijs die zal afnemen naarmate de temperatuur afneemt. Het ideale nadrukverloop is dan volgens een $V = \text{constant}$ lijn. D.w.z. de druk moet lineair met de dalende temp. afnemen.

Wegens de drukval over het inspuitskanaal zal tijdens het vullen de druk in het spuitkussen hoger zijn dan in de matrijs. Op het moment dat de druk in de matrijs de gewenste waarde bereikt behoort nu het vullen op te houden, d.w.z. de druk op de massa moet zeer snel afnemen van inspuitsdruk tot nadruk. Deze overgang, die door de drukopnemer in de matrijs geïnitieerd wordt vereist een snel werkend ventiel.

Van dit moment af zou de nadruk door een meting van een representatieve matrijs temperatuur gestuurd moeten worden. Dit is verre van eenvoudig te realiseren. In de praktijk blijkt het voldoende te zijn het koelverloop van de massa af te schatten en op basis daarvan een stapsgewijs verloop van de nadruk in te stellen.

Zodra de verbinding tussen spuitkussen en het product in de matrijs is dichtgevroren kan deze regeling ophouden en kan de schroef plasticeren voor het volgende shot. Bij een pinpoint aanspuiting, die vrij snel dicht vriest is het daardoor dikwijls niet nodig een nader verloop van nadruk te programmeren.

De laatste ontwikkeling is dat de volgorde besturing uitgevoerd wordt door een *microprocessorsysteem*, een combinatie van een gelijkblijvende gecompliceerde elektronische schakeling, de hardware, en een programma dat aangepast en gewijzigd kan worden al naar gelang de toepassing en behoefte, aangeduid met software.

Zo'n microprocessorsysteem bestaat uit een *Central Processing Unit (CPU)* die het reken- en besturingsorgaan vormt, en een aantal geheugens.

In het *programma geheugen* is het eigenlijke werkprogramma, d.w.z. de logische volgorde besturing, vast opgeslagen. In het *informatiegeheugen* worden de digitaal ingegeven instelwaarden voor de verschillende parameters opgeslagen. Door in microseconden volgens het werkprogramma de informatiegeheugenplaatsen af te vragen wordt het cyclusprogramma doorlopen.

Door tussenkomst van speciale schakeling, de z.g. I/O circuits, kunnen de digitale of analoge signalen van de machine verwerkt worden, kunnen tijdfuncties verwerkt worden en kunnen drukken, snelheden en klepstanden aangestuurd worden.

In het programma kunnen alle nodige voorwaarden en vergrengelingen en bewakingsfuncties worden ondergebracht. Vooral deze laatste zullen om de machines zonder toezicht te bedrijven, steeds meer gevraagd worden, zoals bewaking van cyclustijd, injectietijd, plastificeertijd, uitvalbeveiliging, matrijsbeveiliging, uitwerpen, kerntrekken, aanliggen van spuitneus.

Het werkprogramma bevindt zich op een aantal z.g. EPROMS, kleine bouwstenen die door de spuitgietmachineleverancier geprogrammeerd worden overeenkomstig de wensen van de machinegebruiker.

programmawijzigingen betekenen dus geen bedradingsaanpassingen meer, maar het uitwisselen van één of meer EPROMS. Een verder voordeel is dat door de vergaande minaturisering en microprocessorsysteem slechts zeer weinig plaatsruimte inneemt, niet duurder hoeft te zijn dan voorgaande systemen en snel en reproduceerbaar werkt.

In een toekomstig stadium is het denkbaar dat de instellingen worden ingegeven door middel van bij voorbeeld magneetband-cassettes of andere gegevensdragers.