



Delft University of Technology

Spuitgieten

(not) safe for designers - XVI

Tempelman, Erik

Publication date

2022

Document Version

Final published version

Published in

De Constructeur

Citation (APA)

Tempelman, E. (2022). Spuitgieten: (not) safe for designers - XVI. *De Constructeur*, 62(2), 44-47.

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable).
Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights.
We will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Spuitgieten

(NOT) SAFE FOR DESIGNERS – XVI

Geen productietechniek is zó sterk verbonden met de opkomst van de massaconsumptie als spuitgieten. Vrijwel elk complex kunststof onderdeel dat in enige aantallen wordt vervaardigd dankt er namelijk zijn bestaan aan. Het proces is ongekend veelzijdig, met inmiddels ruim honderd methoden, zoals 2K spuitgieten, *insert moulding*, spuitgieten met gasinjectie en *in-mould decoration* (IMD).

ERIK TEMPELMAN, ADVIESBUREAU ERIKTEMPELMAN.COM, UNIVERSITAIR HOOFDDOCENT TU DELFT – INDUSTRIEEL ONTWERPEN

De materialen variëren van *commodity plastics* (zoals PS en PP) via *engineering plastics* (bijvoorbeeld PA, PC, PBT) tot aan *high performance plastics* (bijvoorbeeld PEEK, PEI), allemaal met of zonder vezels of andere toevoegingen. Zelfs rubbers en thermoharders (!) laten zich, met de juiste kennis en middelen, spuitgieten. En wat dacht u van vormvrijheid: ja, de stalen matrijzen die we gebruiken impliceren dat uw product lossend moet zijn, maar dankzij schuiven, roterende kernen, meerdelige matrijzen en ander vernuft is die beperking onderhandelbaar gebleken. Sterker nog: het potentieel voor functionele integratie is haast ongekend. Wat denkt u van de Velosione e-bike (afbeelding 1), waarvan het koolstofcomposiet frame met een machtig complexe matrijs wordt gemaakt... in 1.000 stuks per dag? En dan hebben we het nog niet eens over formaten, toleranties, kleur, textuur en decoratie. Maar, zoals altijd vraagt dit moois zijn prijs, en ook hier is kwaliteit niet 1-2-3 gegarandeerd. Spuitgieten is de kunst van het compromis! Dit artikel beoogt u een nieuwe waardering te geven van dit soort compromissen. Daartoe bespreken we eerst de processtappen extruderen-aanspuiten-koelen-uitstoten. Zeggen deze termen u niet direct iets, dan wordt u aangeraden eerst een on-

1 www.youtube.com/watch?v=RMjtmrs3C-qA&t=301s

2 Respectievelijk 2-4 maal hoger en 400-800 maal lager dan die van metalen.

line video¹ te bekijken die het proces in beeld brengt. Tot slot komen de matrijzen nog kort aan bod.

Extruderen

Een spuitgietmachine heeft aan een zijde een grote schroef: de *extruder*. Dit is waar de plastic in de vorm van korreltjes ingaat. Het is prima mogelijk om hier tot zo'n 20 procent eerder gebruikt materiaal, zoals productieafval, bij te mengen. De extruder transporteert deze korrels – ook wel pellets genaamd – naar de andere kant, richting matrijs. Dat wekt wrijvingswarmte op, waardoor het materiaal smelt. Bedenk dat kunststoffen een hoge warmtecapaciteit en een zeer lage warmtegeleidbaarheid hebben²: zo'n extruder is dan een prima oplossing. Externe elektrische verwarmingselementen zorgen intussen voor de fijnregeling van de temperatuur. Let op: de viscositeit van de gesmolten plastic is nog steeds extreem. Viscositeitswaarden van zo'n $\mu \approx 1600$ Pa·s zijn niet ongebruikelijk (ter vergelijking: water heeft 0,001 Pa·s), al herkent de industrie dit beter onder de term *melt flow index* (MFI). Deze industrieterm is, simpel gezegd, de reciproke van de viscositeit. Is er een voldoende groot *shot* gesmolten plastic beschikbaar, dan stoot de extruder met kracht naar voren, tegen de matrijs aan. Het injecteren dat wil zeggen aanspuiten kan beginnen.

Aanspuiten

Ruwweg zijn er wat het aanspuiten aangaat twee basisvormen: ons product is ofwel een 'plaatje', ofwel een 'schijfje' (afbeelding 2). Een plaatje vullen we vanaf de rand, waarna de gesmolten plastic er van de ene kant naar de andere doorheen stroomt. Vanwege de genoemde hoge viscositeit vraagt dit zeer veel druk. In eerste benadering volgt deze druk, c.q. het drukverschil Δp tussen begin en eind van het plaatje, uit $\Delta p = 12 \cdot \mu \cdot (l/d)^2 / t_{inj}$. Bij een gegeven injectietijd t_{inj} zien we dat de Δp kwadratisch schaalt met de verhouding tussen lengte en dikte van het plaatje, l/d . Vanuit dit perspectief gezien willen we dus graag een dik product, want druk

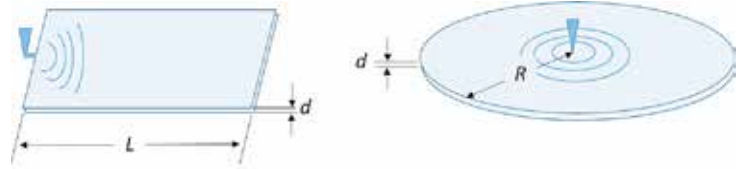


Afbeelding 1 De V Frames e-bike – uitzonderlijke spuitgietkunst (V Frames / Michael Müller)

vergt een zware machine en dito matrijzen – allemaal dure dingen dus. Bedenk overigens dat we aan het eind van het kanaal nog extra druk willen overhouden zodat de kunststof de details van de matrijs ook daar goed overneemt.

Bij een ‘schijfje’ spuiten we vanuit het midden aan. De gesmolten kunststof stroomt nu van binnen naar buiten, een beetje alsof we pannenkoekbeslag in een koekenpan gieten. Hierbij geldt uiteraard een andere formule, maar wel met dezelfde afhankelijkheid tussen Δp en $(R/d)^2$. Een product zoals een emmer is in feite een schijf met een cilinder eronder: in dat cilindrische deel stroomt de kunststof verder als was het een ‘plaatje’. Computers hebben er uiteraard geen moeite mee de benodigde druk uit te rekenen voor complexere vormen. Gesmolten kunststoffen zijn overigens ‘niet-Newtonse vloeistoffen’, waarvan de viscositeit niet constant is maar afhangt van de precieze afschuifsnellheid (Engels: *shear strain rate*) die ze ondergaan. Afbeelding 3 toont dit gedrag voor polystyreen (PS), een *commodity plastic*. Merk op dat de viscositeit ook nog van de temperatuur afhangt. Al dit complexe gedrag is echter goed te modelleren en in simulaties mee te nemen.

Doorgaans hanteert men injectiedrukken van wel 1.000 bar, hetgeen gelijk staat aan 1 ton/cm² geprojecteerd oppervlak. Om de matrijshelften bij elkaar te houden, hebben we zelfs voor relatief kleine producten dus een sluitkracht nodig van vele tonnen.



Afbeelding 2 Basisvormen qua aansluiting.

3 Het shotgewicht is ook een maat voor het machineformaat, maar is gekoppeld aan de sluitkracht.

De maximaal leverbare sluitkracht van de machine³ wordt daardoor ook gelijk een natuurlijke ‘maat’ voor de machinegrootte. Wordt die krachtlimiet bereikt, dan kunnen we bijvoorbeeld op meerdere punten injecteren: zo wordt de stromingslengte kleiner en daalt de term l/d . Een andere optie is om dikker te construeren – maar zoals we nu zullen zien is dat niet ideaal.

$$t_{\text{cool}} = \frac{d^2}{\pi^2 a} \ln \left(\frac{\pi T_p - T_d}{4 T_c - T_d} \right)$$

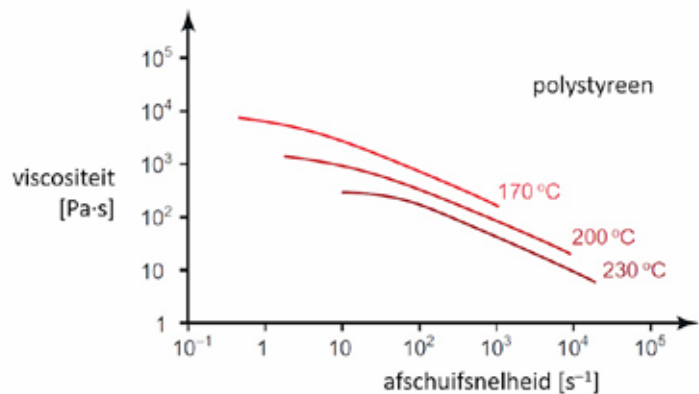
Koelen

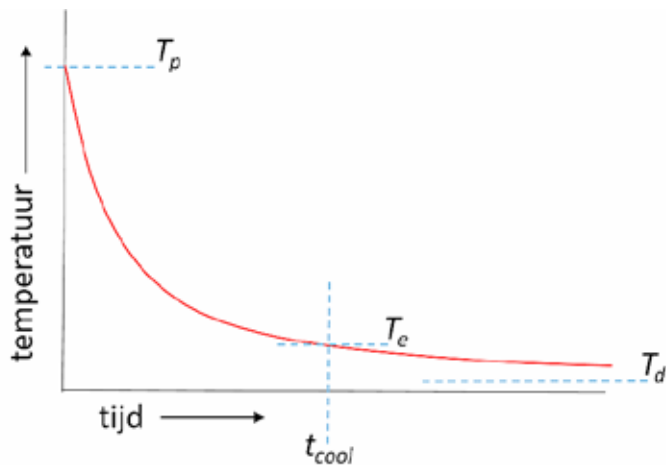
Vergeleken met bijvoorbeeld metalen, koelen kunststoffen tergend langzaam af: typisch vraagt dit deel van het spuiten zo’n 50 procent of meer van de totale cyclustijd. Dit vormt tegelijk een groot verschil met het ‘spuitgieten’ – beter: hogedrukspuiten – van bijvoorbeeld aluminium, waar het koelen juist zeer snel gaat⁴. Voor het schatten van de koeltijd bestaan diverse formules, zowel empirische als analytische. Eén die voor relatief dunne producten goed werkt is deze:

Hierin figureren de dikte van ons product d , de zogeheten warmtevereffeningscoëfficiënt a van de plastic in kwestie, en de temperaturen van de gesmolten kunststof bij injectie T_p , de matrijs T_d en de temperatuur waarop wordt uitgestoten T_c . We zien waarom een ‘dik’ product geen goed idee is: >

4 De viscositeit vormt een ander verschil: gesmolten metaal is dunvloeibaar, gesmolten kunststof beslist niet.

Afbeelding 3 Viscositeit versus afschuifsnellheid voor PS voor diverse temperaturen.





Afbeelding 4 Temperatuur-tijd curve bij het spuitgieten.

dat vult weliswaar makkelijk, maar de koeltijd schaalt met d^2 en wordt zeer lang. Spuitgieten is dus een compromis tussen aanspuiten en koelen! In de praktijk hebben vrijwel alle spuitgietproducten een min of meer constante wanddikte d .

De genoemde formules kunnen we handig visualiseren middels een plot van de temperatuur van de kunststof tegen de tijd (afbeelding 4). We zien een asymptotisch aflopende curve: het duurt oneindig lang voordat de gesmolten kunststof de temperatuur van de koude matrijs bereikt. En, we zien direct dat de uitstoottemperatuur liefst hoog moet zijn ten opzicht van die van de matrijs – maar (nieuw probleem!) ook weer niet zo hoog dat de kunststof nog te zacht is. Een lagere injectietemperatuur verkort op zich de koeltijd en dus ook de cyclustijd, maar (denk aan afbeelding 3) verhoogt de viscositeit en derhalve de benodigde druk. Weer een afweging... Computers kunnen de koeltijd nauwkeurig voorspellen, rekening houdend met de geometrie, diverse materiaalparameters, en allerlei details van de matrijs, zoals de precieze koeling. Het sommetje blijft echter zeer nuttig om de belangrijkste variabelen in hun samenhang aan het werk te zien.

Tot besluit van deze sectie staan we even stil bij de productvorm. Deze is vaak organisch en vloeïend, niet alleen om te voldoen aan gebruikswensen, maar ook omdat zo'n vorm zich goed laat vullen én beter bestand is tegen de onvermijdelijke krimp van kunststoffen tijdens het koelen dan bijvoorbeeld een strakke, rechthoekige doos.

Maar, de koelkanalen die de matrijs doorkruisen zijn recht. Er ontstaan dus makkelijk warmtegradiënten in ons product, met kromtrekken en/of interne spanningen tot gevolg. Tegenwoordig kan dit euvel dankzij het zogeheten contourvolgend koelen worden verholpen. We plaatsen dan gekromde kanalen die het organische product volgen. Deze maken we met een 3D-printer in een fraai staaltje hybride technologie. Tegen meerprijs, wel te verstaan – en zo hebben we er weer een afweging bij.

Uitstoten en afwerken

Het uitstoten completeert het proces. De matrijs opent zich en een stelsel van stalen pennen duwt het zojuist afgekoelde product naar buiten. Dit uitstoten laat zichtbare markeringen achter op het product, en daarom wordt de zogeheten *uitstootzijde* van het product in de regel niet voor zichtbare toepassing angewend. (Merk op dat we aan de andere zijde, dat wil zeggen de *aanspuitzijde*, haast altijd een markering van het injecteren terug kunnen zien: u wordt in visueel opzicht dus door de hond of de kat gebeten.) Langer koelen biedt weinig soelaas: het product is dan harder, maar de uitstootpennen hebben noodzakelijkerwijze hun toleranties, en de randen tussen pennen en matrijs zal daarom altijd enige aftekening opleveren – zeker bij extra hoge injectiedrukken. Bovendien: waar een uitstootpen zit, kan geen koelkanaal lopen. Dit simpele mechanische gegeven maakt dat matrijsontwerp ook weer een compromis is en wel tussen goed koelen en goed uitstoten.

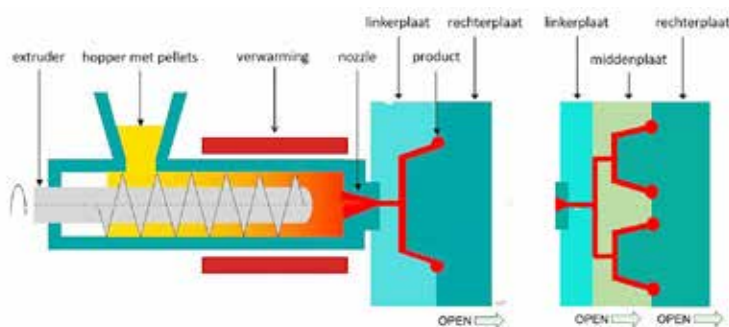
Het uitgestoten product moet in de regel nog worden afgewerkt. Er zit namelijk vaak een 'tak' aan, het zogeheten *aanspuitsysteem*, waarmee de gesmolten kunststof vanuit de extruder wordt verdeeld over diverse punten van het product (bij meervoudige injectie) dan wel over diverse producten (bij meervoudige matrijsen). Die tak wordt handmatig of machinaal verwijderd en vindt uiteindelijk zijn weg terug, als productieafval, naar nieuwe producten. Bij gebruik van *hot runners*, dat wil zeggen van een verwarmd aanspuitsysteem, is dit afwerken niet nodig, en wordt spuitgieten een *zero waste process*. Ook voor de automatisering zijn dergelijke runners uiteraard aan te bevelen.

Matrijsen

Qua lay-out kunnen we een onderscheid maken tussen de tweepatenmatrijs en de driepatenmatrijs (afbeelding 5). In het eerste geval ligt het product tussen twee platen. Bij het openen van de matrijs zal dan, in het geschetste geval, de rechterplaat naar rechts bewegen. Dat kan niet anders, want links staat de zware extruder in de weg. Het is dan de bedoeling dat het product naar rechts meebeweegt, omdat (i) anders de uitstootpennen hun werk niet kunnen doen en (ii) het product dan in de weg

blijft zitten van het volgende 'shot'. Een product als een emmer oriënteren we dan ook zoals aangegeven: de krimp van de kunststof tijdens het koelen garandeert dat de emmer aan de rechterplaat vastklemt. We spuiten dan dus *de facto* aan de onderkant van de emmer aan: kijkt u maar eens naar wat u zelf in huis hebt, dan ziet u de tekenen hiervan doorgaans⁵ snel terug.

Wilt u meerdere 'emmertjes' tegelijk aanspuiten, dan kunt u een aanspuitstelsel gebruiken dat de gesmolten kunststof vanuit het midden verdeelt over de diverse emmers. Dat aanspuitstelsel ligt dan zelf tussen de twee matrijsplaten, zodat het makkelijk lost. Maar, bij een rotatiesymmetrisch product als een echte emmer is dit vragen om problemen, omdat u nu een asymmetrische drukverdeling krijgt én een verschil in temperatuur rondom. Uw product zal daardoor kromtrekken. Beter is om centraal aan te spuiten, en de zogeheten drieplatenmatrijs maakt dat mogelijk. Het aanspuitstelsel ligt dan tussen de linker- en de middenplaat en de emmers zelf tussen de middelste en de rechterplaat (afbeelding 5). U krijgt dan een betere kwaliteit product, ten koste van een iets complexere en dus iets duurder matrijs. Of, u kiest voor de (eveneens iets duurder) *hot runner* optie. Er is dus wat te kiezen, en dit is nog maar een simpele emmer! Functie, kosten en kwaliteit moeten goed in samenhang worden afgewogen. En om eens te laten zien waar dat in de praktijk toe kan leiden, hebben we afbeel-



Afbeelding 5 Matrijs lay-out.



Afbeelding 6 De matrijs van de V Frames Velosione e-bikefiets - uitzonderlijke spuitgietkunde (V Frames / Michael Müller)

5 Niet altijd: bij LEGO-steentjes is de aanspuiting bijvoorbeeld vernuftig verborgen - zie de genoemde video.

ding 6 - en kijk dan ook even hier naar: <https://tinyurl.com/NSFD-XVI>.

Er is nog zoveel te zeggen over spuitgietmatrijzen, van 'soft tooling' tot 2K-matrijzen tot 'printed injection molding' (PRIM) tot extra geharde matrijzen voor het verwerken van glasgevulde materialen... maar omwille van de tijd houdt uw correspondent het hierbij. Wilt u meer weten, ga dan vooral eens te rade bij een spuitgietbedrijf: ze helpen u graag verder! En zoals haast altijd: communicatie is uiteindelijk het echte toverwoord voor succesvol DFMA (Design For Manufacturing & Assembly) - communicatie tussen productontwerper, matrijzenmaker, spuitgieter, simulator, en materiaalleverancier.

Bronnen voor verder onderzoek

Het vakblad Kunststof en Rubber is al jarenlang dé referentie voor spuitgieters, en wordt ook ontwerpers van harte aanbevolen. Leest u ook Duits, pak dan ook Kunststoffe en/of Plastverarbeiter gelijk mee. En over Duitsland gesproken, dé beurs is vanzelfsprekend de K, dat wil zeggen Kunststoffe (www.k-online.com) - dit jaar van 19 t/m 26 oktober. In Nederland hebben we jaarlijks de Kunststoffenbeurs in Veldhoven - op 15 en 16 september dit jaar. Beide evenementen verdienen een vaste plek op de agenda van elke ontwerper die bij wil blijven in de wereld van het spuitgieten en van kunststoffen in het algemeen. Ook Euromold is als beurs zeker aanbevelenswaardig. Hebt u een meer Engelstalige focus, wendt u dan eens tot de Society of Plastics Engineers, die zowel bladen, websites, en beurzen in hun portfolio hebben. Aanrader!👍

Volgende keer in (Not) Safe For Designers: *thermovormen*