



Delft University of Technology

Thermovormen

(not) safe for designers - XVII

Tempelman, Erik

Publication date

2022

Document Version

Final published version

Published in

De Constructeur

Citation (APA)

Tempelman, E. (2022). Thermovormen: (not) safe for designers - XVII. *De Constructeur*, 62(3), 31-35.

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.

Thermovormen

(NOT) SAFE FOR DESIGNERS – XVII

Bij het thermovormen gebruiken we, zoals de naam doet vermoeden, temperatuur om een product vorm te geven. Het ingaande halffabricaat is een plastic plaat of folie, die we relatief goedkoop, per strekkende meter, kunnen produceren. We gebruiken een bescheiden luchtdruk voor het eigenlijke vormgeven en geen tonnen hydraulisch geweld.

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

De matrijzen zijn daarom aanmerkelijk goedkoper dan die bij het spuitgieten; ook komen er nu productformaten in beeld die bij het spuitgieten zeer grote sluitkrachten, en dus zeer grote en dure machines, zouden vragen. De vormvrijheid is gelimiteerd, maar net als bij extrusie van metalen weet een vaardig ontwerper hier goed omheen te werken. En het thermovormen heeft nog een troef op zak: het ingaande materiaal kan namelijk ook een laminaat zijn, een combinatie van verschillende lagen, of een blend, twee of meer materialen op elkaar. Dit maakt weer tal van nieuwe toepassingen mogelijk.

Het proces kent een verbazende spreiding in de mogelijke productieaantallen. Thermovormen kan voor enkelstuksproductie worden ingezet, maar ook voor zeer grote series: wat denkt u van koffiebeker-tjes die in 64-voudige matrijzen worden gevormd, met een cyclustijd van amper meer dan een seconde? In volcontinue productie gaat dit richting 2 miljard stuks per jaar! Uiteraard zijn de voorzieningen en investeringen navenant. De typische constructeur en ontwerper mijden doorgaans deze extremen, en voor hen is thermovormen een proces voor honderden tot tienduizenden stuks, mede af-

hankelijk van het productformaat. Een fraai voorbeeld ziet u in afbeelding 1 – de kap van een couveuse voor Draeger, ontworpen door MMID in Delft, en vervaardigd door VDL Wientjes Roden.

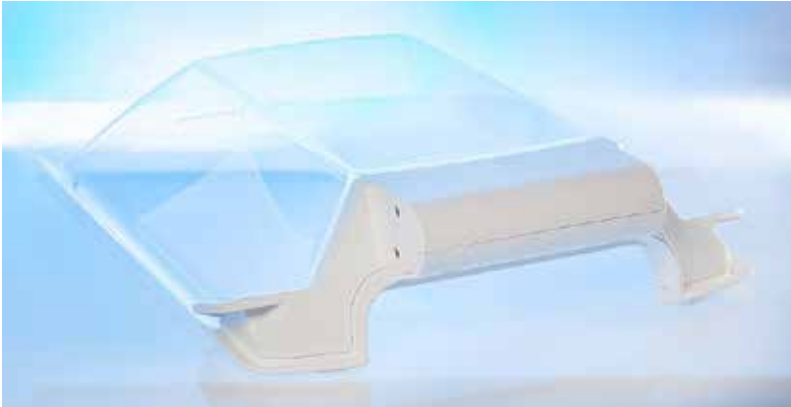
Dit artikel belicht het principe van het thermovormen. In successie kijken we naar het basisproces en enkele varianten daarvan, en belichten we de thermische component. In een apart kader gaan in op bijzondere toepassingen in de wereld van de *high tech*. Maar eerst bespreken we het gedrag van plastics bij verhoogde temperatuur.

Plastics: het T-E diagram

Een plastic dankt zijn stijfheid voornamelijk aan de Van der Waals-krachten tussen de molecuulketens. Wanneer we een plastic verwarmen, gaan deze ketens harder trillen. Hierdoor verwijderen ze zich iets van elkaar vandaan: u kent dit fenomeen als thermische expansie. Nu zijn de genoemde krachten uiterst gevoelig voor deze onderlinge afstand – meer dan dat bij b.v. de metaalbinding het geval is. We zien dan ook dat de stijfheid al bij een relatief bescheiden toename van de temperatuur duidelijk daalt (afbeelding 2). De plastic blijft nog wel een vaste stof, want de genoemde krachten zijn nog wel sterk genoeg om het langs elkaar glijden van de lange molecuulketens te verhinderen¹.

Gaan we door met verwarmen dan gaan, rond een zekere temperatuur, de ketens onder externe belasting wél onderling glijden. Dit gebeurt bij de zogeheten glasovergangstemperatuur, afgekort als T_g. In de grafiek van stijfheid E tegen temperatuur T zien we vanaf hier dan ook een sterke daling. Onze plastic is nu rubberachtig geworden, maar houdt zijn 'stijfheid' bij verdere temperatuurstijging min of meer vast. De grafiek vlakkt dus af en vertoont een zgh. rubberplateau. Elke plastic heeft zijn eigen T_g, onafhankelijk van de gemiddelde ketenlengte. De lengte van het rubberplateau hangt, anders dan de T_g, wél af van de gemiddelde ketenlengte: hoe lan-

¹ We kijken hier naar de korte termijn. Op de lange duur glijden de ketens wel: dit zien we dan terug als "kruip".



Afbeelding 1 De BabyLeo TN500-couveuse van Dräger Medical, ontworpen in samenwerking met MMID uit Delft en met gethermolvormde kap, geproduceerd door VDL Wientjes.

ger de ketens, hoe langer het plateau. Verhogen we de temperatuur nog verder, dan stort de stijfheid uiteindelijk geheel in: de vaste stof wordt een vloeistof, en stijfheid wordt viscositeit², en wel bij de T_s (van 'softening').

NB: we spraken net van de 'stijfheid' op het rubberplateau, dus tussen aanhalingstekens. Dit is omdat het een momentopname betreft. De plastic is in dit temperatuurbereik namelijk deegachtig van substantie, en vervormt bij aanhoudende belasting relatief snel verder. Naast temperatuur is dus ook tijd een factor in het vervormingsgedrag.

Amorfe plastics

Dit alles betreft amorfe plastics, zoals PVC, PS en ABS. Bij semi-kristallijne plastics, zoals PE en PP, is de afname in stijfheid bij de T_g (veel) minder geproforceerd. Dit komt doordat deze plastics voorbij deze temperatuur nog bij elkaar worden gehouden door de kristallijne gebieden. Hierin zitten de molecuulketens dichter op elkaar gepakt dan in de amorfe delen ertussen. Dit verhoogt de Van der Waalskrachten, en daarmee de stijfheid en temperatuurbestendigheid. Zulke plastics worden pas vloeibaar als ook de kristallen smelten. Een afgetekend rubberplateau hebben deze plastics dan ook niet; de grafiek van stijfheid tegen temperatuur daalt continu. Afbeelding 2 toont u deze effecten. Het is alles bij elkaar een complex plaatje – maar kunststoffen zijn dan ook bepaald niet simpel!

'Poly problem'

Nu is het thermovormen een deels open proces, waarbij de warme plaat of folie altijd in aanraking komt met de omgevingslucht. Dit verklaart de voorkeur van thermovormers voor amorfe plastics. Het rubberplateau impliceert immers een zekere ongevoeligheid voor de precieze temperatuur. Ook begrijpen we de preferentie voor plastics met lange ketens: dan is dit rubberplateau immers langer, wat de procesvoering nog verder vergemakkelijkt³. Bij

2 Let op: de figuur heeft een logaritmische schaal en de "stijfheid" wordt dus nooit nul, laat staan negatief.

4 Nog een voorkeur: thermovormers werken het liefste met plastics die weinig tot geen water uit de lucht opnemen. Het is immers een open proces. Plastics zoals nylons (PA) zijn dan ook niet gewenst – al kan ook hier een vaardig thermovormer omheen werken middels extra droogstappen en goede klimaatcontrole.

5 De matrijst temperatuur ligt tussen de 60 – 140 °C, afhankelijk van het te vormen materiaal. Koud is dus relatief!

3 spuitgieten preferiert juist korte ketens, zodat de viscositeit relatief laag is en men dunner kan construeren.

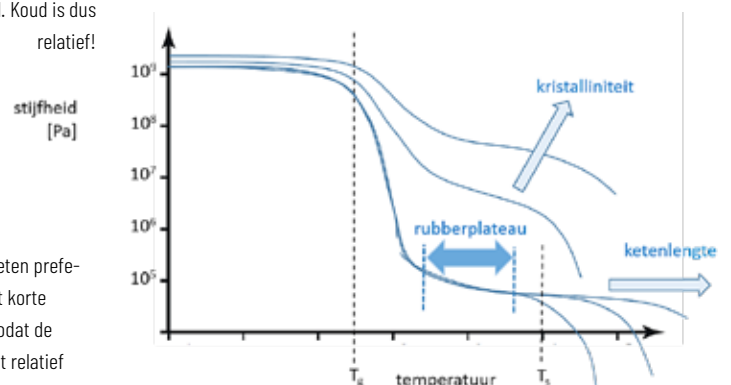
semi-kristallijne plastics zien we dit niet terug. Niet voor niets heet PP onder thermovormers ook wel 'poly problem'! Toch kan een vaardige producent ook met materialen als PP en PE uit de voeten, dus het onderscheid is niet zwart-wit⁴.

Het basisproces

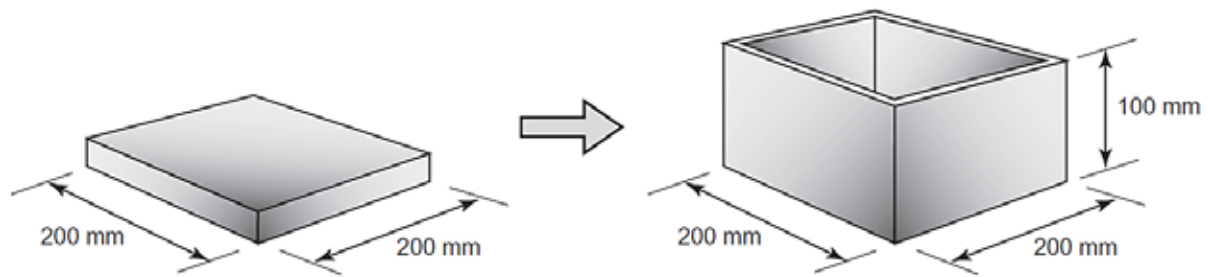
In de basis gaat het thermovormen als volgt. Een plaat of folie wordt verwarmd, eventueel gestrekt, en met luchtdruk tegen een (relatief) koude matrijs⁵ geforceerd. Om dit te kunnen doen is er altijd een flens om het product nodig, die tijdens het proces niet vervormt. Na afkoelen en uitnemen is het product klaar en kan de cyclus zich herhalen. De onvervormde flens wordt verwijderd en is een bron van productieafval, dat extern wordt gerecycled. Extern, want de gemiddelde thermovormer⁶ beschikt helaas niet over de dure extruder die nodig is om een nieuwe plaat of folie te maken – allemaal anders dus dan bij het spuitgieten, waar minder productieafval bij vrijkomt en waar interne recycling van dit afval wel standaard is. Dit verklaart de voorkeur van het thermovormen voor relatief goedkope plastics, zoals PVC, PS en ABS.

Standaardformaten

Een complicerende factor is dat het ingangsmateriaal in een beperkt bereik van standaardformaten >



Afbeelding 2 Het T-E diagram van stijfheid tegen temperatuur.



Afbeelding 3 Het thermovormen van een vierkant bakje

wordt aangeboden. Hoe belangrijk dit is, leert ons een simpel sommetje. Stel, we vormen een vierkante bak van 200 x 200 mm (afbeelding 3). Als ons ingangsmateriaal 300 x 300 mm meet, hebben we een flens van 50 mm breed en liefst 56 procent afval! Zou de flens slechts 20 mm breed zijn, dan daalt dit percentage naar 31 procent, maar dan moeten we wel een plaat van 240 x 240 mm weten te vinden. Ervaren ontwerpers maken hier slim gebruik van en weten zo het productieafval, en daarmee de kosten, bij het thermovormen te minimaliseren. Bij ditzelfde voorbeeld kunnen we met een tweede simpele rekensom de dikte van in- en uitgaand materiaal aan elkaar koppelen. Immers, er geldt behoud van volume. In het geschetste geval neemt het totale oppervlak met een factor drie toe, en neemt dus de gemiddelde productdikte met een factor drie af ten opzicht van het ingaande materiaal. Opnieuw geldt dat de makkelijk verkrijgbare plaatdiktes indirect hun voorkeuren afgeven voor de te realiseren productdiktes – weer iets om rekening mee te houden.

Procesvarianten

Het thermovormen kent diverse varianten. Allereerst

6 Bij zeer grote series (bijvoorbeeld koffiebekers, verpakkingen voor voeding en dergelijke) is interne recycling van productieafval wel de norm. Extruder en thermovormer zijn dan geïntegreerd in één complex productiesysteem.

valt er een onderscheid te maken tussen vormen met onderdruk, dat wil zeggen partieel vacuüm, en vormen met overdruk. In het eerste geval, ook wel vacuümvormen genaamd, zuigen we de warme plaat of folie tegen de matrijs aan, in het tweede geval wordt tot 6 bar overdruk gebruikt. Een tweede onderscheid is gelegen in de matrijsvorm, die negatief dan wel positief kan zijn. Met andere woorden: we vormen ons product in of over een matrijs. Afbeelding 4 toont het positief vormen. Een voldoende lossingshoek is hier gewenst, want ons product krimpt zich om de matrijs vast (bij negatief vormen is dit uiteraard anders).

Dit laatste heeft belangrijke gevolgen voor de dikteverdeling over ons product. Bij het positief vormen treedt het eerste contact tussen de (warme) plaat en de (koude) matrijs op aan de bovenkant van ons product. Hier begint het materiaal dus ook het eerst af te koelen en verliest zo aan vervormbaarheid, waardoor verdere vervorming uit het materiaal moet komen dat nog geen matrijscontact heeft ondergaan. Zo krijgt het product een ongelijkmatige dikteverdeling. Bij het negatief vormen is het eerste contact tussen plaat en matrijs aan de rand. Daar wordt ons product dus het dikst, en het wordt

Up to the challenge

BKL is specialized in engineering, production and inspection of hoisting- and lifting tools, modules and machines. Thanks to the combination of outstanding production facilities, experience and creativity we are able to build high-quality customized machines.

Collbe Heide 1, 5674 VM Nuenen, The Netherlands | T: +31 (0)40 295 1444 | info@bkl.nl | www.bkl.nl

Member of Anvil Industries

het dunst daar waar de vervorming het laatste gebeurt.

Is een meer constante wanddikte gewenst, dan biedt het thermovormen met voorblazen vaak de oplossing. Afbeelding 5 toont dit schematisch in enkele stappen. Het ingangsmateriaal wordt eerst als een 'bel' weg van de matrijs geblazen, zodat het uniform voorvormt. Daarna wordt het de matrijs ingezogen, met eventueel nog extra druk vanuit de andere kant als daar reden voor is.

Nóg weer een andere variant gebruikt niet één maar twee vaste matrijzen, waardoor een aanmerkelijk betere definitie van het product wordt verkregen – 'spuitgietskwaliteit in een thermovormproduct'. De eerder getoonde couveusekap is op deze bijzondere wijze door VDL vervaardigd: hierbij wordt luchtdruk alleen nog gebruikt om het materiaal voor te vormen. Uiteraard heeft de benodigde technologie wel zijn prijskaartje. U herkent de afweging tussen functie, kosten en kwaliteit!

Verwarmen en koelen

Wie snel wil produceren, moet snel kunnen verwarmen en koelen. De eigenlijke vormgevende stap duurt immers relatief kort. Wat verwarmen aangaat, hangt de snelheid uiteraard af van de gebruikte machines: zo kan er eenzijdig of tweezijdig verwarmd worden en kan de verwarming desgewenst met geforceerde convectie worden versneld. Maar ook de materiaaldikte is van belang. Deze parameter zien we in modellen voor de opwarmtijd doorgaans in het kwadraat terug. Verder speelt het materiaal een rol: over het algemeen vragen semi-kristallijne plastics meer tijd om op te warmen dan amorfe plastics – nog een reden voor hun slechte reputatie.

Bij het koelen is de machine opnieuw een factor: is deze bijvoorbeeld wel of niet voorzien van

koelventilatoren? Maar ook de procesvariant is mede bepalend! Bij positief vormen is er, als gevolg van de materiaalkrimp, beter contact tussen materiaal en matrijs dan bij het negatief vormen, waar het product als het ware van de matrijs los krimpt. De hoeveelheid druk is nog een factor, want ook deze beïnvloedt het matrijscontact. Dan is er weer de dikte (opnieuw kwadratisch van invloed) en de materiaalsoort: warmte die erin is gegaan, moet er immers ook weer uit.

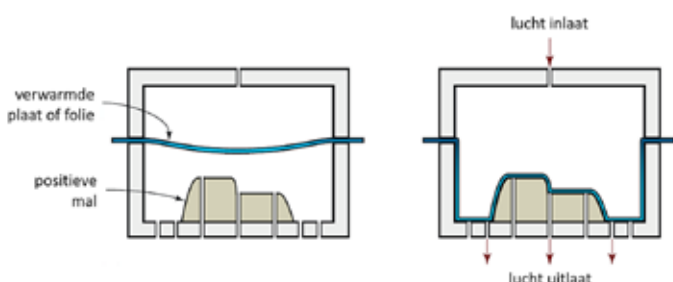
Kalm aan

Maar.. is sneller wel altijd beter? Nee, Niet zonder meer. Zeker bij het koelen zijn er diverse redenen het juist kalm aan te doen, om bijvoorbeeld thermische spanningen te vermijden. Bij dikkere producten speelt dit vaak een rol. De temperatuur waarop het product wordt uitgenomen is ook variabel: wilt u beschadigingen, vervormen onder het eigen gewicht of andere ongemakken vermijden, dan zult u een product verder laten afkoelen dan wanneer deze kwaliteitsgebreken wel acceptabel zijn, ook als het materiaal verder exact hetzelfde zou zijn. Zoals thermovormspecialist Throne het samenvat: "thermovormen is niet simpel – het lijkt alleen maar zo". Vertrouw dus op de vakman m/v!

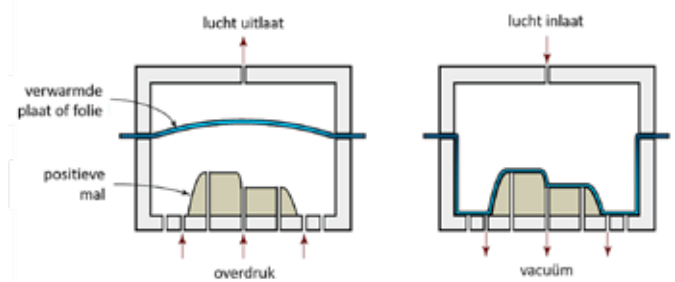
Verder onderzoek

Beurzen, vakbladen, websites en boeken over plastics bieden doorgaans ook informatie over het thermovormen. Specifiek over het thermovormen is er het standaardwerk 'Technology of Thermoforming' van J.L. Throne (1996). Niet te missen voor iedereen die zich echt in het proces wil verdiepen. ●

*Volgende keer in (Not) Safe For Designers:
resin transfer moulding*



Afbeelding 4 Positief thermovormen



Afbeelding 5 Thermovormen met voorblazen

HIGHTECH' TOEPASSINGEN VAN HET THERMOVORMEN

De eerder genoemde couveusekap is al een sterk staaltje thermovormvernuft, maar er is meer moois onder deze zon. Zo is het Holst Center in staat om folies met een 'roll-to-roll'-proces te bedrukken met flexibele elektronica. Denk hierbij aan sensoren, antennes, lichtelementen of zelfs beeldschermen en "touch pads". De resulterende slimme folie is prima geschikt voor thermovormen, waarna het onderdeel kan dienen als 'insert' bij het spuitgieten. Het resultaat is vergelijkbaar met het spuitgieten met 'in-mould decoration' (IMD), maar dan niet alleen decoratief maar ook functioneel (afbeelding 6). Het Holst Center werkt onder andere aan toepassingen in de witgoedsector, zoals koffiezetapparaten, en aan instrumentenpanelen voor auto's.

Dan zijn er de 'advanced thermoplastic composites' (ATCs). Deze materialen verliezen eind jaren '80 de researchlaboratoria en maken sindsdien hun gestage opmars in de markt (afbeelding 7). Het betreft hier composieten met continue glas- of koolstofvezels en een hoog vezelvolumegehalte, ingebed in plastics zoals PEEK en PEI. Oorspronkelijk was hun 'unique selling point' de superieure impactbestendigheid vergeleken met bijvoorbeeld koolstofvezel-epoxy, maar per kilogram waren ze flink duurder. We zagen ATCs dan ook het eerst verschijnen in de voorranden van vliegtuigvleugels en andere lichtgewicht toepassingen waar impactsterkte een grote rol speelt.

Echter, nu de industrie vertrouwd raakt met de beschikbare oplossingen voor vormgeving en integratie van functies, worden er steeds meer applicaties mogelijk. En u raadt het al: één van de vormgevende technieken is het thermovormen. Hierbij wordt dan geen luchtdruk gebruikt, maar ondervindt het verwarmde materiaal direct contact met een onder- en bovenmatrijs. De hoge materialenprijs wordt ruimschoots gecompenseerd door de snellere productie; de betere recycleerbaarheid van deze materialen is nog een extra voordeel. Zo neemt het thermovormen letterlijk een hoge vlucht!

WWW.HOLSTCENTER.COM.

WWW.THERMOPLASTICCOMPOSITES.NL



Afbeelding 6 Thermovormen met voorblazen



Afbeelding 7 Een toepassing van ATC's

Klik. Klik. Klaar.

Kabelinvoer met snelle montage

Het kabeldoorvoerframe KEL-FA (Fast Assembly) biedt een snelle montage zonder gereedschap. Trekbelasting conform EN62444 en hoge flexibiliteit door gebruik van verschillende doorvoertules en adapters.



www.icotek.com | www.ocnied.nl



icotek
met de juiste oplossing