

**Gieten van metalen
(not) safe for designers? - XI**

Tempelman, Erik

Publication date
2021

Document Version
Final published version

Published in
De Constructeur

Citation (APA)

Tempelman, E. (2021). Gieten van metalen: (not) safe for designers? - XI. *De Constructeur*, 61(2), 18-21.

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.

Gieten van metalen

(NOT) SAFE FOR DESIGNERS (?) – XI

Voor het maken van complex gevormde metalen onderdelen is het gieten, dat meerdere millennia teruggaat, nog steeds één van de efficiëntste oplossingen¹. Als productieprincipe doorloopt het altijd dezelfde stappen: metaal wordt verwarmd tot het smelt en wordt dan in ofwel een *zandvorm*, ofwel in een *matrijs* gegoten, waarna het stolt en verder afkoelt tot het wordt uitgenomen.

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

Het *gietstuk* komt vervolgens in aanmerking voor verdere productiestappen, zoals afwerken, verspanen, warmtebehandelen, coaten en zo meer. Zandvormen zijn éénmalig bruikbaar, matrijzen zijn geschikt voor hergebruik. Er is verder altijd sprake van een gietsysteem, dat wil zeggen een stelsel van kanalen en vormen dat zorgt voor optimale vulling en stolling. Dit gietsysteem wordt in de regel gerecycleerd.

Gieten biedt een verbluffend bereik van afmetingen: de kleinste gietstukken wegen nog geen gram, de grootste honderden tonnen. Qua seriegroottes varieert het proces van enkelstuks en klein-serieproductie (soms met ge3Dprinte mallen, als hybride proces) tot massafabricage met honderdduizenden stuks per jaar. De ‘look & feel’ van gietwerk is ook zeer divers: vergelijk u maar eens een *high-tech* motorblok (afbeelding 1) met een elegante metro-ingang in Parijs (afbeelding 2). En dan zijn er nog de diverse methoden, zoals zandgieten, zwaartekrachtgieten, verloren-was-gieten etc. – zo’n twintig in totaal, elk weer beschikbaar in tal van uitvoeringsvormen.

Overigens... dat woord ‘motorblok’ verhuult de verfi-jning die het gieten inmiddels bereikt heeft. Met een lengte van pakweg één meter en een wanddikte van lokaal slechts 6 mm (!) is bijvoorbeeld zo’n MX-motor feitelijk niet een blok maar een doos. En wist u dat ook de Tesla Model Y een gigantisch dunwandig gietstuk in zijn constructie heeft? Of dat inspectie met röntgen-

1 We spreken hier over het ‘vormgieten’ (Engels: shape casting) van onderdelen, dus niet over het gieten van platen, staven en blokken metaal als halfabrikaten.

2 Er zijn uitzonderingen: roestvast staal is bijvoorbeeld ook ‘hooggelegerd’. Opnieuw geldt echter dat roestvast gietijzer een wezenlijk andere samenstelling heeft.

3 Slink = het volumeverlies dat ontstaat bij het stollen, niet te verwarren met krimp, het volumeverlies als gevolg van thermische contractie.

straling storende gietfouten kan uitsluiten, zodat de techniek ook in veiligheidskritische toepassingen welkom is? Werkelijk, het is een maakproces voor de 21-ste eeuw.

In theorie kunnen we haast elk metaal, in elke samenstelling, verwerken. De praktijk kent echter bepaalde preferenties. Bij aluminium bijvoorbeeld is legeren met 6-12 procent silicium de regel, en ijzer mengen we bij tot gietijzer met 2-4 procent koolstof, plus 1-2 procent silicium. Dit is anders dan bij de aluminium kneedlegeringen en bij staal, waar minder grote hoeveelheden legeringselementen aan worden toegevoegd². Dankzij dit legeren daalt de smelttemperatuur aanzienlijk en dat is wenselijk. Bovendien vermindert het de viscositeit van het gesmolten metaal, zodat dit de matrijs makkelijker vult. Het helpt vaak ook nog om de slink³ te verminderen – een wezenlijk voordeel, zeker bij complex gietwerk.

Dit legeren heeft echter wel een nadeel: sterkte. In de praktijk zijn smeedstukken, extrusiedelen en andere onderdelen die we met kneedlegeringen kunnen maken doorgaans sterker en taaier dan de vergelijkbare gietdelen. Ook is het lassen aan gietwerk bijzonder uitdagend. Dit leidt tot het soort afwegingen die het construeren zo uitdagend maken, want gieten biedt wél meer vormvrijheid. En dat brengt ons op het hart van *DFMA (Design for Manufacturing and Assembly)* voor gieten: de kunst en kunde van het afwegen. Kennis helpt altijd, dus laten we de belangrijkste punten samen eens nalopen. Volg mij, lezer!

Vullen: stijgend of dalend, traag of snel

Niet elke gietmethode laat ons de keuze, maar als het even kan willen we onze zandvorm of matrijs ‘stijgend’ gieten (afbeelding 3). Zo komt het gesmolten metaal rustig van onder naar boven de vorm in en kan de daarin aanwezige lucht, plus de gassen die vrijkomen tijdens het proces, makkelijk ontwijken. Het alternatief van ‘dalend’ gieten is wat dit aangaat veel minder geschikt. Voorts willen we voorkomen dat het gesmolten metaal in spetters opspat – u ziet dit probleem bij een te enthousiast volgeschonken koffiekopje, maar dan letterlijk honderden graden erger. Uiteraard valt het metaal in de ‘giettrechter’ (in afbeelding 3 (b) links van



Afbeelding 1 Een MX-13-motor van DAF Trucks. Een 'doos' met gietwerk met lokaal een wanddikte van niet meer dan een paar millimeter (Foto: DAF Trucks N.V.)

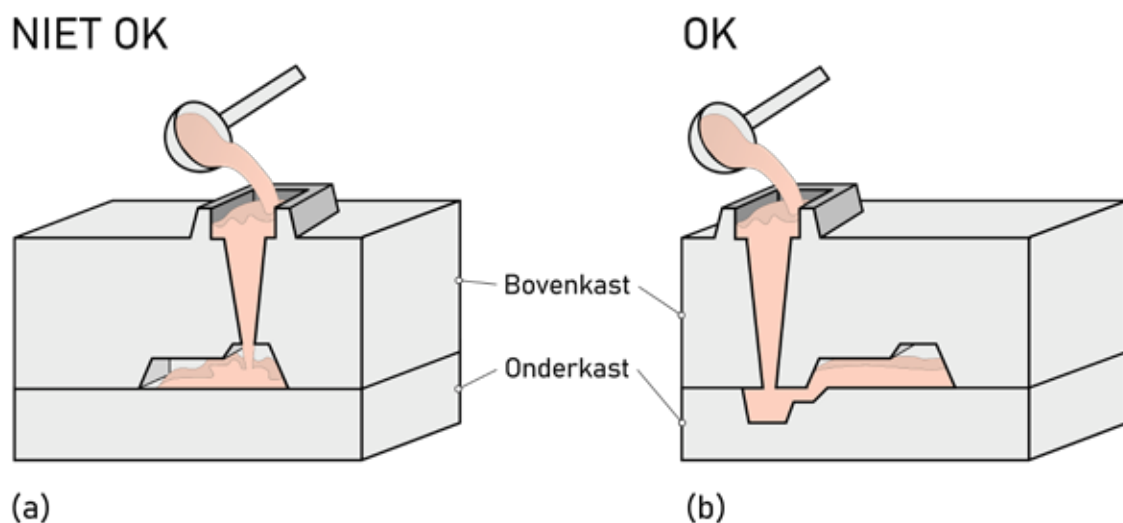


Afbeelding 2 Een andere kant van gietwerk: de Art Nouveau 'bouches de métro' in Parijs, ontworpen door Hector Guimard.

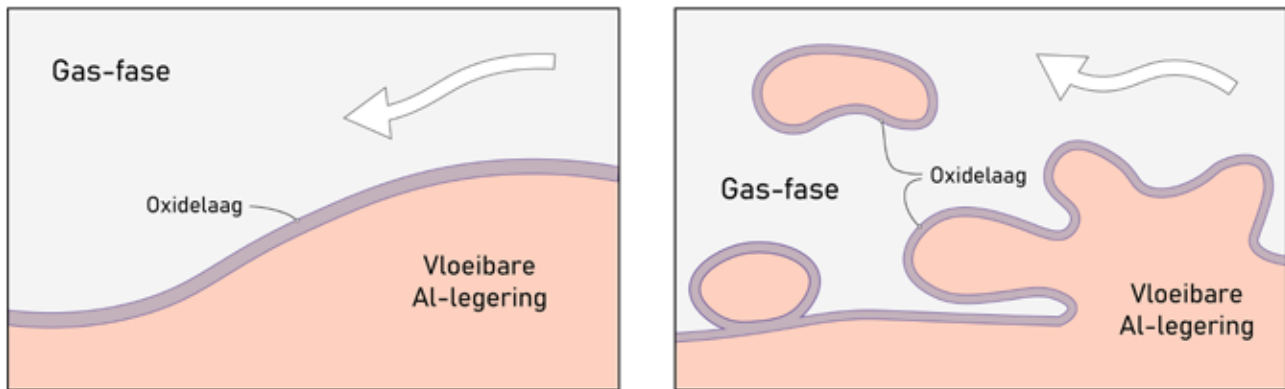
het gietstuk) ook van boven naar beneden, maar we kunnen dit deel van het gietsysteem exact toespitsen op ons doel, ongehinderd door de vorm van het eigenlijke gietstuk.

Verder vullen we het liefste zo langzaam dat het ingaande metaal *laminair* stroomt – zeker bij de lichte metalen. Het vrije oppervlak van de metaalstroom oxideert immers aan de lucht in de vormholte, en deze oxides moeten niet ingesloten raken. Door hun hoge hardheid en brosheid vormen ze namelijk ideale startpunten voor vermoeiingsscheuren, en ook de breukrek van het metaal leidt sterk onder hun aanwezigheid. Zodra de stroming *turbulent* wordt, komt er veel meer vrij oppervlak beschikbaar en treedt er veel meer insluiting op (afbeelding 4). Wat hierbij speelt is dat aluminiumoxide haast dezelfde dichtheid heeft als het gesmolten aluminium zelf. Het komt dus niet bovendrijven, maar blijft in het metaal achter. Bij gietijzer speelt dit probleem beduidend minder. Een laatste punt om hier te noemen – gietrijhandboe-

ken vertellen u er nog meer – is koudloop. Uiteraard willen we de productvorm geheel vullen. Echter, als het metaal voortijdig stolt, dan lukt dat niet en krijgen we te maken met koudloop (Engels: *cold shut*). Dit speelt met name bij de combinatie van relatief dunne gietstukken en stalen matrijzen; bij dikkere delen en/of bij zandvormen treedt het probleem minder snel op. Koudloop kunnen we voorkomen door het gietstuk via meerdere punten aan te gieten. Zo hoeft het gesmolten metaal vanuit elk aangietpunt minder ver te vloeien om toch de gehele matrijsholte te vullen. Nadeel is wel een complexer en zwaarder aangietstelsel; ook laat elk aangietpunt een markering na die nabewerking vraagt. Koudloop kunnen we ook voorkomen door met hoge snelheid te vullen. Dit vraagt echter hoge drukken en zware, dure matrijzen, en is daardoor alleen rendabel bij grote series: dit is het *hogedrukgietsen*, ook wel spuitgietsen genaamd. Dan nog speelt het probleem van de oxides, want snel vullen is turbulent vullen. En wat is daar dan weer de oplossing voor? >



Afbeelding 3 Dalend gieten (a) versus stijgend gieten (b).



Afbeelding 4 Laminair versus turbulent vullen.

Wel, gieten onder vacuüm bijvoorbeeld. Nóg weer duurder, maar inmiddels een gevestigde technologie.

Stollen: de Chvorinov-vergelijking

Is de matrijs gevuld, dan kan het gesmolten metaal gaan stollen en verder afkoelen. Hierbij representeert de *stollingswarmte* een verrassend groot deel van de totaal af te voeren warmte. Bij aluminium bijvoorbeeld is dit gelijk aan de warmte waarmee u het metaal ~ 400 °C kunt opwarmen, bij gietijzer zelfs zo'n 540 °C⁴. Als u dan ook nog bedenkt dat we in principe het gietstuk uit de matrijs kunnen halen zodra het gestold is, dan ziet u dat de stollingswarmte welhaast maatgevend wordt voor de productiviteit. Hoe snel kunnen we het metaal laten stollen? Deze vraag is al in 1940 analytisch beantwoord en experimenteel bevestigd. Merk op dat de hoeveelheid af te voeren warmte schaalt met het volume V van het gietstuk plus gietsysteem en dat deze moet worden afgevoerd via het oppervlak ervan A . De stoltijd volgt dan uit $t_{stol} = C \cdot (V/A)^2$. De term V/A heet ook wel de thermische modulus; C is de *Chvorinov-constante*, genoemd naar de ontdekker van de formule, en is afhankelijk van de combinatie van gietmetaal en matrijsmateriaal. Dimensie-analyse leert dat C de eenheden s/m^2 heeft. De formule voorspelt voor een 6-mm dikke plaat gietijzer, gegoten in zand, een stoltijd van zo'n 8 seconden⁵. De bijbehorende ontwerpregel is duidelijk: dun is goed – liefst zo dun dat we nèt geen koudloop krijgen. Het bovenstaande doet voorkomen dat we het metaal altijd zo snel mogelijk willen laten stollen, en zo kort mogelijk daarna het gietstuk willen uitnemen. Immers, dan is de matrijs weer beschikbaar voor een nieuw product ('massa = kassa'). Echter, voor de uiteindelijke kwaliteit kan het gunstiger zijn de warmteafvoer meer tijd te geven. En zoals we nu zullen belichten, is er sowieso al genoeg dat bij het gieten mis kan gaan.

Defecten – en hoe ze te voorkomen

Belangrijke defecten die we bij het metaalgieten kun-

nen verwachten, zijn (i) porositeit, (ii) interne spanningen en/of kromtrekken, en (iii) uitscheidingen. We bespreken ze in deze volgorde.

Porositeit

Porositeit heeft drie verschillende oorzaken. De eerste is de *slink* van het metaal, dat wil zeggen de volumevermindering bij de overgang van de ongeordende vloeibare fase naar de kristallijn geordende vaste fase. Zuiver aluminium bijvoorbeeld slinkt 8 procent. Door toevoeging van silicium, dat bij stollen als één der weinige stoffen uitzet, daalt deze waarde tot 6-7 procent, maar dat is nog steeds een probleem. De oplossing voor slinkporositeit is het tactisch plaatsen van 'opkomers' (Engels: *risers* en *feeders*) die dikker zijn dan het gietstuk, daardoor langer vloeibaar blijven en zo de slink compenseren middels aanvoer van extra metaal. Ze vormen deel van het gietsysteem. Gietijzer heeft beduidend minder last van slink, wat de populariteit van dit soms zo onderschatte materiaal mede verklaart⁶.

De tweede oorzaak van porositeit is *gasvorming*. Tijdens het gieten komen er gassen vrij die prima oplossen in het gesmolten metaal (onder andere H_2), maar niet in het gestolde metaal. Ditzelfde effect maakt water transparant en ijs normaal gesproken niet. Door deugdelijk te ontgassen kan gasporositeit worden voorkomen – elke gieter weet dit. Wie niet goed ontgast, riskeert 'microporositeit' (veel fijn verdeelde belletjes) of zelfs 'macroporositeit'. Dat laatste is bepaald geen goed nieuws: maakt u dus gebruik van een kundig gietbedrijf.

Ingesloten *luchtbellen* zijn de derde oorzaak van porositeit. Bij hogedrukieten (turbulente vulling!) is dit niet te vermijden⁷, maar bij bijvoorbeeld zwaarte-krachtieten wel. Soms kan een luchtbel ontsnappen, soms niet. Dit wordt mede bepaald door het gietsysteem, in het bijzonder door de stroomsnelheid in een gietkanaal, die kan worden verlaagd door het kanaal dikker te maken. Echter, het intern recycleren van het

4 Bij water ziet u dat ook: smelten representeert een temperatuurverschil van 44 °C – vandaar dat enkele ijsblokjes uw drankje zo lang koel weten te houden.

5 Gebruik deze formule niet voor dunne producten (< 4 mm dik)! De stoltijd hangt dan namelijk af van V/A , niet van V/A^2 . De constante drukken we dan uit in s/m , niet s/m^2 .

6 Bij stolling scheidt gietijzer koolstof uit, dat eigen volume inneemt in de vorm van microscopisch kleine bolletjes, plaatjes of andere vormen, en de slink grotendeels of zelfs geheel compenseert.

7 ... tenzij u onder vacuüm giet, tegen forse meerprijs.

Simulatie en werkelijkheid
van een macroporositeit
(Beeld: Design8/Altair)



GIETSIMULATIES

Een enkele ingenieursgeneratie geleden, zo rond 2000, waren gietsimulaties nog voorbehouden aan experts, die met dure software op dito hardware werkten. Hun werk was prijzig en tijdrovend, maar vormde ook toen al een wezenlijke aanvulling op het construeren van gietwerk. Tegenwoordige simulaties zijn haast lichtjaren verder. Vul- en stolgedrag, defecten en zo meer laten zich prima voorspellen en optimaliseren. Vooral de snelheid is imposant: hierdoor vloeien ontwerp en simulatie naadloos in elkaar over. Uiteraard blijft het van belang om simulaties deskundig te interpreteren en om ze degelijk te kalibreren aan de praktijk. Zaken als de precieze warmtevereffeningscoëfficiënt van uw matrix bijvoorbeeld haal je immers niet met een enkel muisklikje boven! Wie daar voor zorgt, kan met *state-of-the-art* gietsimulaties de weg naar marktsucces danig verkorten. Eén van de diverse softwarepakketten is *Inspire* van Altair (afbeelding 5). In ons land is de firma Design8 beschikbaar voor nadere tekst en uitleg.

zwaardere gietsysteem is ook weer een extra kostenpost.

Interne spanningen

Interne spanningen ontstaan doordat dunne delen eerder stollen en afkoelen dan dikke – denk aan de thermische modulus, V/A ! Tijdens slinken en krimpen leidt dit tot spanningen, kromtrekken, of een combinatie van deze ongemakken. Met de juist compromissen, zoals het voorkomen van grote verschillen in dikte en het gebruik van royale afrondingen, is al dat ongemak te beheersen. Sterker nog, als u op platen waar vermoeiing op de loer ligt drukspanningen kunt genereren, dan wordt het nadeel zelfs een voordeel.

Uitscheidingen

Uitscheidingen houden ook verband met oplosbaarheid. Hier is veel over te zeggen – zie de bronnen voor verder onderzoek voor verdere studie – maar de sa-

menvatting is dat legeringselementen, evenals verontreinigingen, zich doorgaans ophopen ('uitscheiden') op de korrelgrenzen van het basismetaal. Eventuele gasporositeit zit daar ook al, met drastisch verlies van eigenschappen tot gevolg: vermoeiingssterkte, geschiktheid voor boren en frezen, corrosiebestendigheid en zo meer gaan fors naar beneden. De vorm van de korrels doet er ook nog toe: klein en rond is beter dan groot en langwerpig.

Dus... hoe zorgen we voor fijne, ronde korrels, en is uitscheiding überhaupt ook geheel te voorkomen? Het antwoord ligt deels in het kiezen van de juiste afkoelsnelheid en in het slim legeren, zoals het toevoegen van korrelverfijners (bijvoorbeeld TiB_2 in aluminium gietwerk). Maar ten principale is het een complex probleem dat niet 1-2-3 op te lossen is, zeker niet voor alle mogelijke vormen, formaten, gietmethoden en matrixmaterialen. Werk u dus vooral nauw samen met uw gieterij – en zeg niet te snel wat de vorm moet zijn, maar focus op de *functies* die uw gietstuk moet vervullen. In samenwerking is zeer veel mogelijk, in isolement juist zeer weinig.

Bronnen voor verder onderzoek

Dit artikel heeft zich gericht op de algemene principes die het metaalgieten bepalen. Methoden, zoals zandgieten, coquillegieten enzovoorts, inclusief gangbare uitvoeringen ervan, zijn onbelicht gebleven. Bewust, want hierover is alleen al online genoeg te vinden. Met het voorgaande in uw achterhoofd zult u dergelijke informatie, inclusief ontwerpregels, beter appreciëren. Wie meer wil weten, kan terecht bij *Castings* van John Campbell (Oxford, 2003) en *ASM Handbook Vol. 15: Casting* (ASM Int., 2008). *Manufacturing and Design* (Elsevier, 2014) biedt u eveneens nadere informatie en theorie, in een handzaam en toegankelijk formaat. In eigen land staat u verder de Nederlandse Vereniging van Gieterij Technici ten dienste. Opgericht in 1927 – maar actueler dan ooit! U vindt hen via www.nvvtg.nl. 

De auteur dankt Roy Kastelein van Lautus Castings B.V. voor feedback op een eerdere versie van dit artikel. Eventueel overgebleven fouten of omissies komen voor rekening van de auteur.