

Toepassingen van stereolithografische modellen in nulseries

M. Blik, Materialise N.V., Leuven

Om tegemoet te komen aan de behoefte naar kortere ontwikkeltijden voor produkten zijn technieken ontwikkeld om sneller dan tot nu toe gebruikelijk tot een prototype te komen. Voordat de fabricage van een produkt gestart wordt, dient de assemblagelijijn getest, het marketing materiaal voorhanden en de verpakking gereed te zijn. Stereolithografie is een uitermate geschikte techniek om snel het gewenste prototype te vervaardigen. De principes van stereolithografie zijn inmiddels uitvoerig beschreven [1,2,3,4]; in het bijgaande kader worden deze kort beschreven.

De geschiktheid van stereolithografie voor het vervaardigen van modellen ten behoeve van reeds bestaande reproductietechnieken (giettechnieken) wordt echter nauwelijks onderkend. Dit artikel geeft een beeld van een drietal reproductietechnieken die in het verleden van stereolithografie toegepast kunnen worden voor de fabricage van kleine aantallen in metaal of kunststof.

Uitbreiding van de op stereolithografie aansluitende reproductie technieken is een kwestie van tijd. Dit blijkt bijvoorbeeld uit experimenten met metal-spraytechnieken die het mogelijk moeten maken vanaf een stereolithografisch model (proef)matrijzen te maken.

Materiaaleigenschappen van stereolithografische harsen.

Om de toepassingsmogelijkheden van stereolithografisch vervaardigde produkten te kunnen beoordelen is het van belang een indruk te hebben van de materiaaleigenschappen van de harsen (resins) zoals die nu bekend zijn. Het gaat hier om een indicatie, aangezien in hoog tempo nieuwe harsen voor gebruik in het stereolithografisch procédé op de markt komen. Het overzicht beperkt zich dan ook tot vier bij Materialise vaak toegepaste harsen.

Uit tabel 1 zou opgemaakt kunnen worden dat een stereolithografisch vervaardigd model qua eigenschappen als sterkte en elasticiteit de vergelijking met

Stereolithografie in kort bestek.

De woorden stereo en lithografie staan voor ruimte en steendruk. Iets minder letterlijk kan men stereolithografie vertalen met 'ruimtelijk afdrukken'.

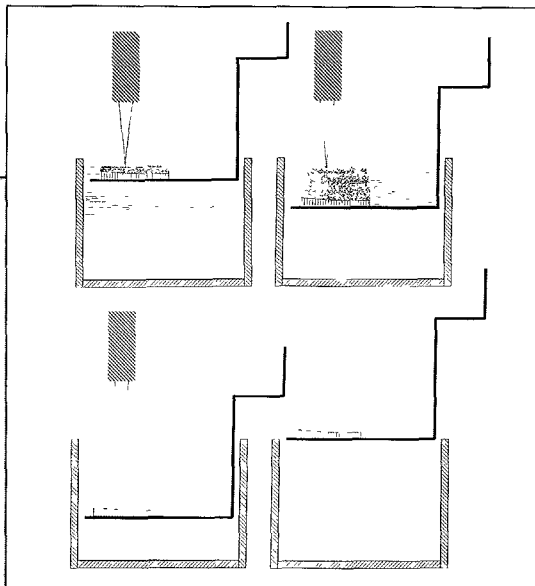
Die vertaling suggereert terecht een zeker gemak waarmee modellen gemaakt kunnen worden.

Het stereolithografisch procédé is niet nieuw. Al in de jaren zeventig werd het beschreven. Desondanks heeft het tot het eind van de jaren tachtig geduurd totdat de eerste machines op de markt kwamen. Dat pas nu op grotere schaal van stereolithografie gebruik wordt gemaakt is niet zo verwonderlijk als men de afzonderlijke ingrediënten van het proces er uitligt: CAD-modellering, lasers en onder UV-licht uithardende polymeren. Het ter beschikking komen van steeds betere CAD-programmatuur en krachtiger computerapparatuur is één deel van het succes van stereolithografie. Voor het maken van een prototype door stereolithografie is een CAD-model noodzaak. De diverse vervolgstappen in het proces vragen om rekenkracht om de CAD-gegevens om te zetten in vectorgegevens voor de stereolithografiemachine.

De prijzen van lasers dalen en verscheidene chemieconcerns hebben zich gericht op de ontwikkeling van polymeren geschikt voor het procédé, hetgeen de toepassingsmogelijkheden van de modellen ten goede is gekomen.

Stereolithografie is een vervaardigingsmethode met een karakteristieke eigenschap: het proces gaat uit van laagsgewijze materiaalgroei.

Gebruik wordt gemaakt van een bak met daarin een vloeibaar polymeer. In deze bak bevindt zich een plateau waarop het model gebouwd zal worden. Het plateau kan alleen in de hoogte verplaatst worden.



Boven de bak bevindt zich de laser, waarvan de straal door spiegels gestuurd wordt en die gefocuseerd is op het vloeistofoppervlak. De spiegels sturen de laserstraal volgens banen die vanuit het CAD-model

gegenereerd zijn en die een doorsnede van dat CAD-model beschrijven. Onder invloed van het ultraviolette laserlicht vindt een polymerisatiereactie plaats, lange molecuulketens worden gevormd: het materiaal hardt uit. Op het moment dat de laserstraal gepasseerd is moet de reactie ook stoppen, hetgeen met remmende additieven in de hars bewerkstelligd wordt.

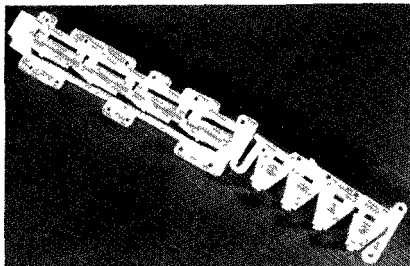
Zo wordt de eerst laag op het plateau aangebracht dat daarvoor vlak onder het vloeistofoppervlak is gebracht. Na het aanbrengen van deze doorsnede van het model, zakt het plateau verder in de vloeistof waarbij de zojuist gevormde uitgeharde laag geheel ondergedompeld wordt. Daarna komt het plateau weer omhoog waarbij een schraper de vloeistof op de uitgeharde laag tot op een laagdikte van 0,05 tot 0,7 mm terugbrengt. Er wordt vervolgens gewacht tot de vloeistof tot rust gekomen is waarna de volgende doorsnede aangebracht wordt. Dit proces herhaalt zich totdat het model klaar is. Het plateau met daaraan gehecht het model wordt dan uit de machine genomen. Het model wordt losgesneden van het plateau en ultrasonoor gereinigd van alle restvloeistof. Steunstructuren die nodig zijn voor de ondersteuning van het model tijdens het bouwen worden nu verwijderd en het model wordt nagehard in een ultravioletoven om het te ontdoen van enige plakkerigheid.

Eventuele nabewerkingen kunnen zijn schuren en lakken om het model verder te verfraaien en/of een betere oppervlaktegesteldheid te geven.

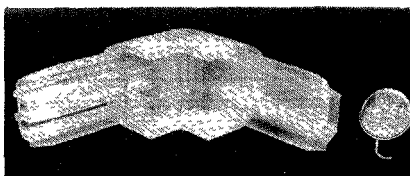
Hars	XB-5081	XB-5134/1	SLR805	SLR806
σ_{\max} (N/mm ²)	60	25	25	62
E (N/mm ²)	2500	1200	600	600

Tabel 1. Materiaaleigenschappen van stereolithografische harsen.

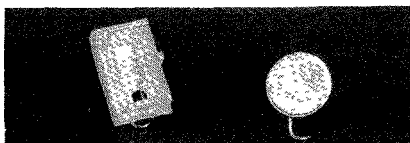
een spuitgegoten produkt uit bijvoorbeeld ABS zou kunnen doorstaan. Dit is niet het geval. De waarden voor de harsen zijn gemeten met proefstaven, gemaakt onder optimale condities. De condities waaronder een produkt in de praktijk gemaakt wordt wijken hiervan af. Eigen metingen bevestigen dit. Fluctuaties in laservermogen, fluctuaties in de temperatuur van het vloeibare hars, krimp en bijgevolg inwendige spanningen, het zijn voorbeelden van factoren die de homogeniteit, en daarmee de mechanische eigenschappen van de produkten negatief beïnvloeden. Het aanhouden van ruime veiligheidsmarges is geboden.



Figuur 1. Stereolithografisch vervaardigde toetseneenheid voor een infrarood afstandbediening die als prototype een geometrische controle en functionele beoordeling mogelijk maakt.



Figuur 2. Hoekstuk [Ahrend].



Figuur 3. Connectoren, in kleine serie vervaardigd [Siemens].

Hoewel een vergelijking met het uiteindelijke materiaal waaruit zij vervaardigd zullen worden dan ook zeer waarschijnlijk mank gaat, blijft het toch mogelijk om functionele zaken te testen. Het onderdeel, zie figuur 1, maakt deel uit van een toetseneenheid van een infrarood afstandbediening, waarbij de vereigenschappen van de stereolithografisch hars (SLR805) die van het uiteindelijke produktmateriaal goed blijken te benaderen. Behalve een geometrische controle kunnen met dit prototype ook de functionele eigenschappen getest worden.

Functie van stereolithografie bij de produktontwikkeling

Wanneer is het zinvol om stereolithografie in te zetten, teneinde een gedetailleerd prototype te verkrijgen?

Een belangrijke factor is de tijd waarbinnen men in een bepaald stadium van ontwikkeling over een model wenst te beschikken. Levertijden van enkele dagen zijn haalbaar, zelfs al moet de informatie nog van tekening in CAD gezet worden.

Kijkt men naar de kosten bij het maken van een prototype, dan worden deze bij conventionele technieken bepaald door de gewenste nauwkeurigheid, de complexiteit van de te bewerken vlakken en het aantal opspanningen en gereedschapwisselingen.

Hoge complexiteit van een produkt zal een behoefte aan een techniek als stereolithografie creëren. De complexiteit van een model heeft bij het gebruik van stereolithografie als prototype-gereedschap op de kostprijs veel minder effect dan dit het geval is bij conventionele methoden, zoals frezen, al of niet NC gestuurd. Een produkt wordt in één gang gemaakt, zonder ingrijpen van een operator voor bijvoorbeeld gereedschapwisselingen, of hernieuwd opspannen.

Om het bovenstaande in het extreme te illustreren: een kubus met een holte erin zal stereolithografisch geproduceerd goedkoper zijn dan in het geval dat deze massief is. Een holte zal de machinetijd bij stereolithografische vervaardiging verkorten, er is immers sprake van een

materiaal toevoegende techniek, en niet van een materiaalverwijderende!

Het is alleen de nauwkeurigheid die, net als bij conventionele technieken prijsverhogend werkt. Bij toleranties beter dan 0,5% van de nominale maat, zal eerst een proefprodukt gemaakt moeten worden om de juiste krimpfactoren in hoogte, breedte en lengte te bepalen. Toleranties tot ca. $\pm 0,02$ mm kunnen op dit moment bereikt worden.

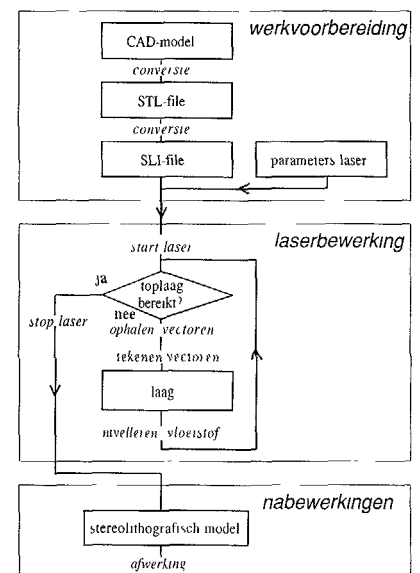
Stereolithografie als afdruk-apparaat

Voor evaluatie van ontwerpen op het gebied van esthetica, functionaliteit en geometrische controle volstaat het veelal om één of twee exemplaren te vervaardigen, zie figuur 2

Of men een serie prototypes stereolithografisch vervaardigt, is veelal een prijsafweging. De assemblagemachines voor de connector uit figuur 3 zijn door middel van stereolithografisch vervaardigde modellen getest.

Bij deze connectoren is de prijs van stereolithografische vervaardiging acceptabel om deze in series van enkele tientallen te maken. Bij grotere voorwerpen kunnen andere technieken worden ingezet om deze tegen lage kosten te dupliceren

Om een indruk van de kostenbepalende factoren te krijgen is het nodig het vervaardigingsproces in drie fasen te verdelen, namelijk werkvoorbereiding, machinetijd en nabewerking, zie figuur 4.



Figuur 4. Schematische voorstelling van instant prototyping door middel van stereolithografie.

Toepassingen van stereolithografische modellen in nulseries

Werkvoorbereiding

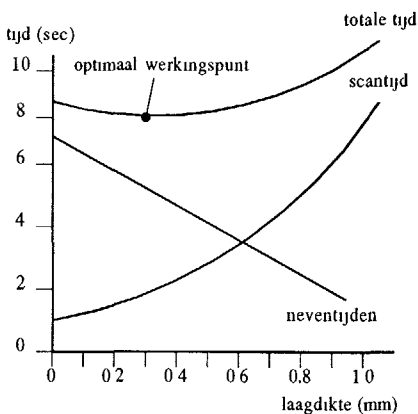
- aanmaken van een driedimensionaal CAD-model, surfaces of solids; Veelal gebeurt dit bij de opdrachtgever.
- verwerken van het CAD-model tot een 3D beschrijving van de 'huid' van het model in driehoeken; Voor bijna ieder CAD-programma (mits surface- of solidmodeller) is een conversie naar een dergelijke vormbeschrijving, het zogenaamde STL-formaat, mogelijk.
- slicing, het opdelen van het STL-invoerbestand in plakken en vervolgens het genereren van vectoren ten behoeve van de laserbesturing (SLI-formaat);
- eventueel wisselen van hars, instellen van de machineparameters (afhankelijk van de uithardingstijd van het hars, de viscositeit, etc.).

Voor een kopie van een model behoeft de werkvoorbereiding uiteraard niet herhaald te worden.

Laserbewerking

Hoe groter het aantal lagen, des te langer de machinetijd. Het is echter niet zo, dat een grote laagdikte automatisch de kortste machinetijden te zien zal geven. Grotere laagdikten betekenen ook dat de laser langzamer moet scannen om uitharding over de volledige laagdiepte te verkrijgen, zie figuur 5.

Tussen twee lagen moet gewacht worden tot het vloeistofoppervlak, na het nivelleren, tot rust is gekomen. Deze wachttijden zijn vooral bij kleinere onderdelen, met een doorsnedeoppervlak van enkele cm², vaak langer dan de eigenlijke scantijd van de laser. Een aanzienlijke kostenbesparing kan behaald worden wanneer een aantal kopieën naast elkaar op



Figuur 5. Bepaling van de optimale laagdikte van een hars voor minimale verwerkingstijd.

Proces	Procestijd [min] per stuk	Procestijd [min] per 10 stuks
CAD	240	240
STL-conversie	15	15
SLI-conversie	60	60
instelling laserparameters	10	10
laserbewerking per laag		
nivelleringsstijd	0,75	0,75
scantijd	0,25	2,5
laserbewerking 80 lagen	80	260
afwerking	20	200
totaal	425	785
totaal per produkt	425	78,5

Tabel 2. Voorbeeld van de procestijd van een stereolithografische produkt.

het machineplateau passen en gelijktijdig vervaardigd kunnen worden. De wachttijd tussen het scannen van de verschillende lagen, is onafhankelijk van de hoeveelheid stukken die op het plateau staat, echter wel afhankelijk van de viscositeit van de gebruikte hars. Uit figuur 5 is de optimale laagdikte voor de minimale verwerkingstijd van een hars te bepalen.

Afwerking

De afwerking van de produkten behelst het verwijderen van de overtollige vloeistof door ultrasonoor reinigen met isopropylalcohol. Daarna worden de steunstructuren weggesneden die bij het opbouwen nodig waren. Het model wordt vervolgens zonnodig geschuurd en voorzien van een laklaag.

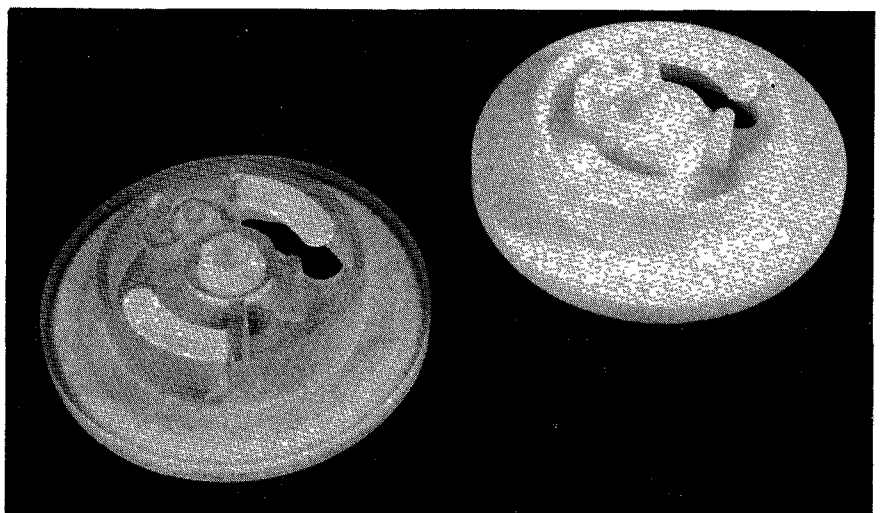
Om een indruk te krijgen van de invloed van de diverse stappen op de totale pro-

duktietijd, zijn deze in tabel 2 voor het model uit figuur 6 weergegeven.

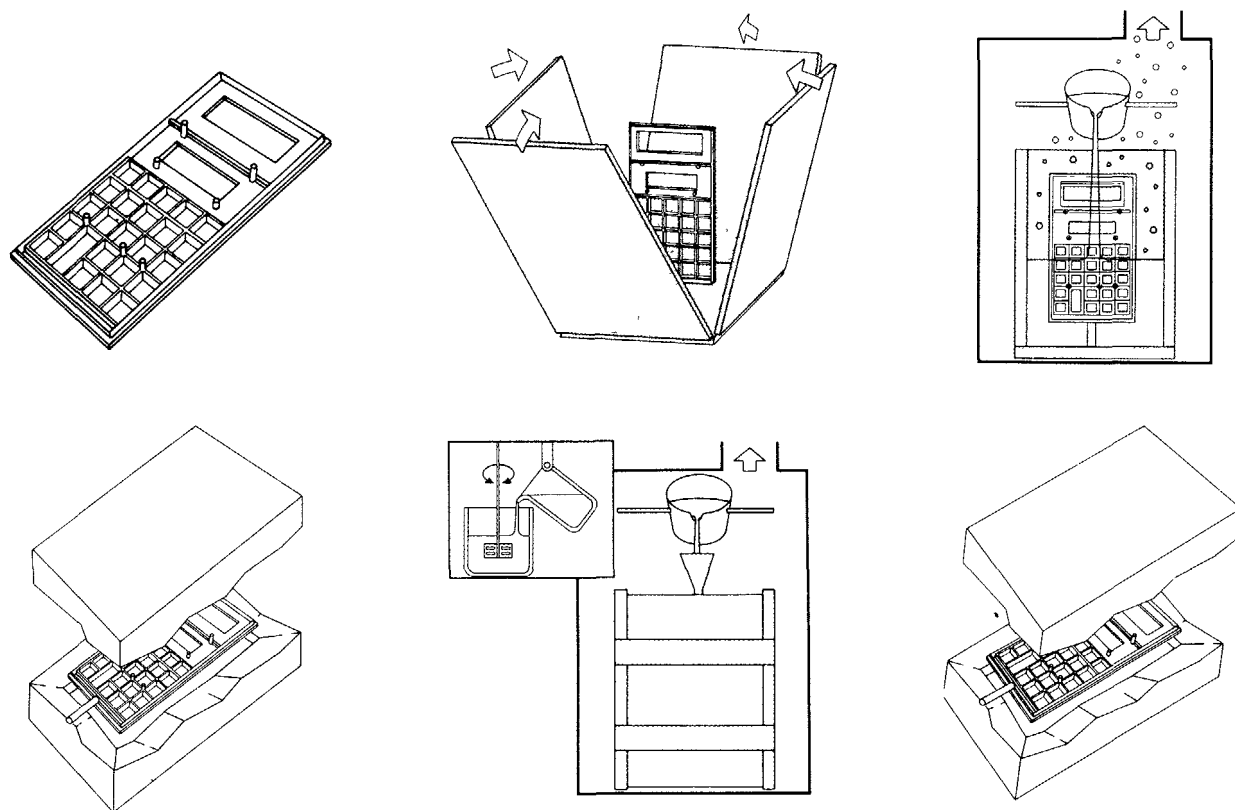
Gezien de hoeveelheid factoren die meespeelt bij de produktietijd, is het moeilijk om de prijsbepaling te vatten in regels waarmee bijvoorbeeld een prijs per volume gegeven kan worden. Voor produkten waaraan hoge esthetische eisen worden gesteld kan de afwerking in de totale vervaardigingstijd de grootste factor zijn.

Er zal altijd getracht worden een optimum te vinden tussen oppervlakterutheid, nauwkeurigheid en machinetijd. In de praktijk is het de nauwkeurigheid die het aantal lagen bepaalt, en daarmee de prijs.

Om de kostprijs bij grotere series te drukken kan toevlucht genomen worden tot bijvoorbeeld vacuümgieten, om vanaf één stereolithografisch model afgietsels te maken.



Figuur 6. Onderdeel uit machine voor het vervaardigen van compact-discs.



Figuur 7. Vervaardiging van een siliconenmatrijs en het afgieten van produkten hierin (documentatie HEK).

Kunsthars duplicaten: vacuümgieten

Eén van de duplicertechnieken voor stereolithografische modellen is gebruik te maken van siliconenmatrijsen, waarbij een stereolithografisch vervaardigd positief wordt ingezet. Deze methode zal vooral bij grotere modellen al snel goedkoper zijn dan vervaardiging van vervolgkopieën met uitsluitend stereolithografie.

Bijkomend voordeel van een siliconenmatrijs is dat de keuzevrijheid in materiaalsoorten voor het produkt groter is dan het geval is bij de stereolithografische harsen, omdat gebruik gemaakt wordt van tweecomponenten polyurethanen.

De techniek van het maken van een siliconenmatrijs is enkele tientallen jaren oud. Van recentere datum is het werken onder vacuüm bij zowel het maken van de matrijs als het afgieten van het produkt hierin. De werkwijze is als volgt, zie figuur 7:

(1,2) Het stereolithografisch model, met de hulpstukken eraan bevestigd die het gietkanaal zullen vormen, wordt zwe-

vend opgehangen in een bak die iets groter is dan het te vormen produkt. Met plakband wordt een deellijn gemarkeerd waarlangs de matrijs na uitharding opengesneden zal worden.

(3) Siliconenrubber wordt onder vacuüm in de bak gegoten; verwijdering van de lucht geeft een scherpe afdruk van het stereolithografische model in de matrijs. Na een periode van ongeveer 15 minuten is de siliconenmatrijs voldoende uitgehard om in een oven geplaatst te worden waar ze uithardt bij een temperatuur van 70°C.

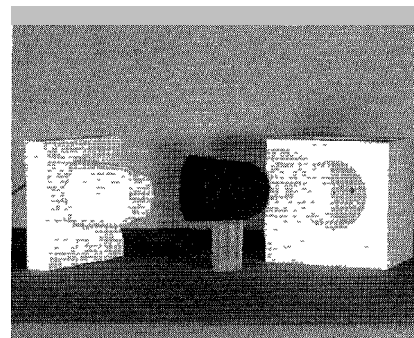
(4) De volgende stap is het verwijderen van het positief door de matrijs langs de deellijn open te snijden. Na het uitnemen van het stereolithografisch positief is de matrijs klaar.

Onder vacuüm worden de twee componenten gemengd voor het gieten van het produkt. Voor gebruik wordt nu de matrijs samengelijmd en licht opgewarmd. Dan wordt deze samen met een gietkan met de juiste hoeveelheid van iedere component van het polyurethaan in de vacuüminstallatie geplaatst. (5) De hars kan nu in de matrijs worden gegoten. Deze kan na 15 minuten uit de vacuüminstallatie worden genomen en worden

uitgehard bij ca. 70°C in een oven. (6) Na het uitnemen van het gietstuk kan dit worden afgewerkt.

De levensduur van een siliconenmatrijs kan enkele tientallen produkten bedragen. Ondersnijdingen zijn toegestaan, al loopt de levensduur echter door slijtage sterk terug; zie figuur 8.

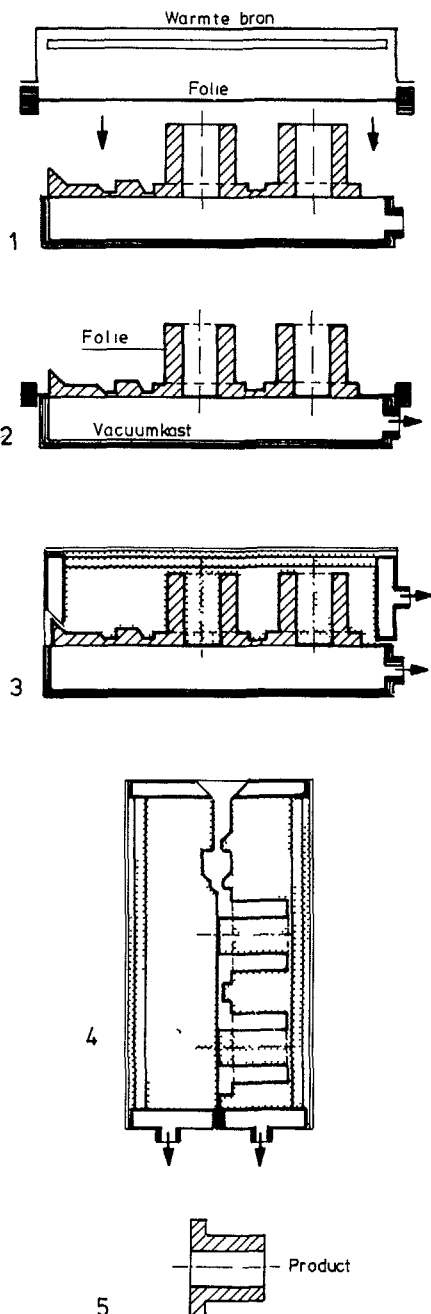
De combinatie stereolithografie/siliconenmatrijs blijkt een krachtige methode voor het produceren van nulseries te



Figuur 8. Afgegoten produkt uit siliconenmatrijs, met daarnaast het stereolithografisch vervaardigd positief.

Toepassingen van stereolithografische modellen in nulseries

zijn, omdat de vormingstijden in dezelfde orde grootte liggen, namelijk uren. Hiermee wordt voldaan aan één van de voordelen van stereolithografie, namelijk de snelle verwezenlijking van een prototype, geen afbreuk gedaan. Bovendien laat vacuümgieten door middel van een siliconenmatrijs ondersnijding toe, zonder dat hiervoor de bij matrijzen toegepaste schuiven noodzakelijk zijn.

**Aluminium gietwerk: vacuüm-vormproces in folie**

Het vacuüm-vormproces in folie (VPF) is een methode voor het maken van aluminium gietstukken waarbij stereolithografie ingezet kan worden voor de vervaardiging van het model.

VPF-gieten werd omstreeks 1971 voor het eerst toegepast in Japan. De werkwijze is als volgt, zie figuur 9 [5]:

(1) De modelplaat-helft met stereolithografisch positief wordt op een vlakke draagkast bevestigd. De draagkast staat in verbinding met de modelplaat door een groot aantal kleine gaatjes. (2) Een kunststoffolie, 0,05 - 0,1 mm dik, wordt bij een onderdruk van 0,5 bar en onder verwarming, nauwkeurig over het stereolithografisch model gesloten. (3) Een vormkast wordt over het met kunststoffolie bedekte model gezet. De vormkast wordt gevuld met droog zilverzand zonder bindmiddel. Door kort vibreren vindt verdichting plaats. Na het verdichten van het zand wordt vacuüm getrokken (onderdruk 0,5 bar) via een zuigbuis in het zand, zodat de vorm stabiel blijft.

(4) Deze stabiele vorm lost zodra de onderdruk uit de draagkast is weggenomen. Aluminium wordt in de ontstane vorm gegoten. Tijdens het gieten en stollen blijft de kast onder vacuüm. De folie wordt door de sterke opwarming het zand ingezogen en verkoolt. Asresten komen door het vacuüm niet in het gietstuk terecht. Na voldoende afkoeling wordt het vacuüm opgeheven en het gietstuk en het zand uit de kast verwijderd.

Toepassingsgebieden

De eigenschappen van de gietstukken benaderen die van spuit- of coquilletgietwerk meer dan andere technieken. In veel gevallen zullen deze eigenschappen ruim voldoende zijn om het prototype verantwoord te beproeven op toepassingseigenschappen en montagevoorwaarden.

Deze techniek kan gebruikt worden voor alle gangbare aluminiumlegeringen. Seriegroottes liggen tussen tien- en duizendtallen.

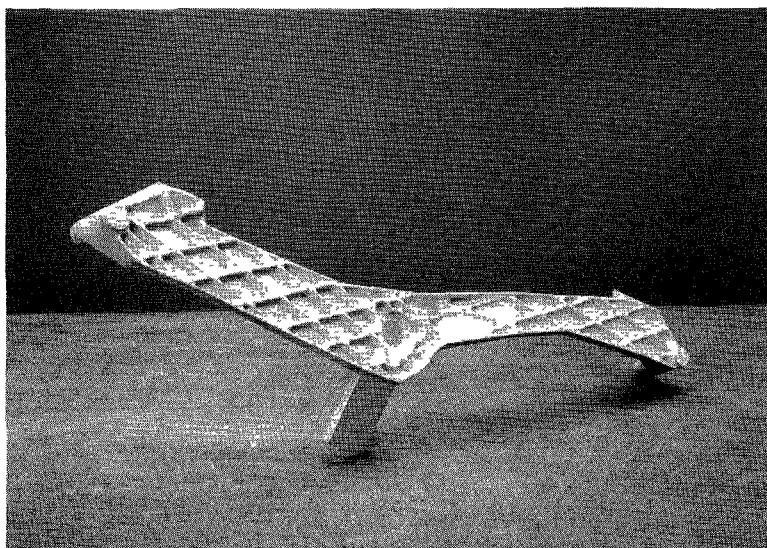
Gieterijen die met het procédé werken claimen een voorspelbaarheid van de nominale maat van ca. 0,9% en een reproduceerbaarheid van 0,4%. Deze waarden liggen gunstig ten opzichte van zandgietwerk omdat het aantal procesparameters geringer is. Zo ontbreekt bijvoorbeeld een bindmiddel bij het vormen.

Het werken met vacuüm en folie staat het toe lossingen achterwege te laten.

Gezien de snelle realisering van een produkt en gezien de oppervlaktekwaliteit is vacuümfoliegietwerk interessant voor:

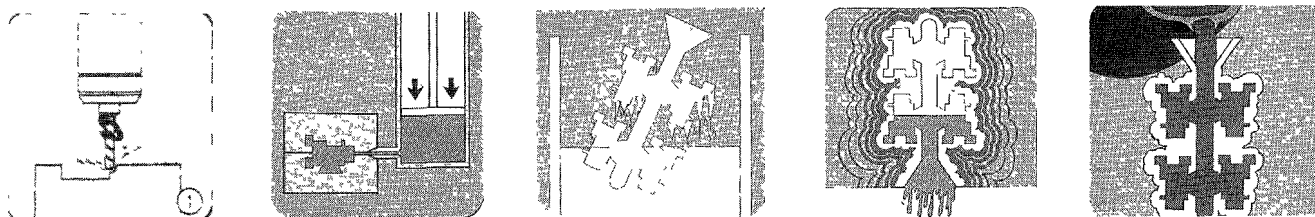
- dunwandig gietwerk (kleiner dan 2,5 mm is mogelijk),
- gasdicht gietwerk,
- stukken met een speciale geometrische vorm die een slechte vormvulling kan veroorzaken.

Een beperking van de techniek is de onmogelijkheid om de folie bij grote diepte/oppervlakverhoudingen goed aan te



Figuur 10. Door VPF-gieten vervaardigde ruitwiserarm.

Figuur 9. Vacuüm-vormproces in folie (documentatie VPF-gieterij Weert).



Figuur 11 a-e. Wasmodelgietmethode (documentatie Preciometal).

laten sluiten, in analogie met dieptrekken. Er dient rekening gehouden te worden met een eventuele deling om het positief uit de vorm te kunnen halen. Omdat uitgegaan is van een stereolithografisch positief en dus ook een CAD-model, kan de deling in de CAD-fase worden uitgevoerd.

De combinatie stereolithografie/vacuümfolie vindt zijn kracht enerzijds in de snelheid van produceren (geen matrijs) en de te behalen complexiteit anderzijds, zie figuur 10. Naast produktiegietwerk, kunnen VPF-produkten dienst doen als nulseries voor hogedrukspuitgietwerk.

Metaalgieten, wasmodelgietmethode

Het basisprincipe van het gieten volgens de wasmodelgietmethode werd al in de oudheid toegepast. Momenteel kunnen onderdelen van 0,0005 tot 25 kg in praktisch alle legeringen gegoten worden.

Deze gietmethode omvat normaal de volgende fasen, zie figuur 11; a) Aanmaken van een matrijs waarmee een exact wassen model van het uiteindelijke gietstuk wordt verkregen, rekening houdend met de krimp.

b) Injecteren van de was in de matrijs. Samenbouwen van de wasmodellen tot "boompjes" van stukken die gelijktijdig gegoten kunnen worden.

c) Aanbrengen van de vuurvaste schaal door onderdompeling in een keramische brij (bindmiddel met poederkeramiek) en door bestrooiing met vuurvaste korrels. Deze operatie wordt 7 tot 10 maal herhaald, waarbij steeds grovere korrels worden aangebracht. Deze fase is uiterst belangrijk omdat de vuurvaste schaal aan hoge eisen moet voldoen. De schaal bepaalt immers de oppervlakterutheid en moet voldoende hittevast zijn om de temperatuur van het vloeibaar metaal zonder vervorming te weerstaan. De porositeit moet voldoende zijn om gassen te laten ontwijken en daarmee een goede vulling mogelijk te maken. Daarnaast

moet de schaal makkelijk na stolling van het gietstuk te verwijderen zijn.

d) Uitsmelten van de was in een autoclaaf en vervolgens bakken van de schaal bij temperaturen boven de 900°.

e) Gieten van het metaal. Verwijderen van de schaal, afzagen en wegslijpen van het aangietkanaal. Eventueel nabewerken.

Bij het werken met stereolithografische modellen vervallen de stappen 1 en 2. Het stereolithografisch model vervangt rechtstreeks het wasmodel. De overige stappen blijven gelijk, maar het verwijderen van het model uit de schaal kan een probleem vormen om diverse redenen. Bij het verwijderen een wasmodel door verwarming in een autoclaaf zal eerst de was aan de buitenzijde wegsmelten. Dit proces gaat zo snel dat er geen gevaar bestaat dat de schaal door opwarming en uitzetting van het model gekraakt wordt.

Bij een stereolithografisch vervaardigd

model ligt dit beduidend moeilijker omdat het materiaal nu niet smelt. Dit betekent dat het moet verbranden waarvoor een veel grotere en langduriger temperatuursverhoging noodzakelijk is. De mechanische sterkte is lange tijd nog zo groot dat zonder ingrepen de schaal door de uitzetting van het model beschadigd wordt.

Er is in een aantal richtingen gezocht naar een oplossing:

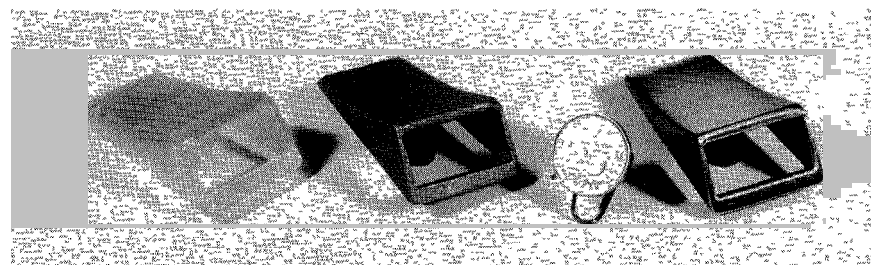
1 Het oplossen van het stereolithografie-model met een zuur. Er zijn modellen volgens deze methode gemaakt en afgegoten.

Door het zuur kan het bindmiddel van de keramiek aangetast worden, waarmee de eigenschappen van de schaal veranderen. Een nog groter bezwaar is de lange oplostijd van het model.

2. Het aanbrengen van een honingraatstructuur in het stereolithografisch model. De honingraat wordt gevuld met was. Na de vorming van de schaal

Proces	Procestijden [uur]	Temperatuur [C]
vergassen	20	20 - 100
vergassen	20	100
vergassen	6	100 - 150
vergassen	15	150
uitbranden	1	1000

Tabel 3. Fasering in het verwijderen van een stereolithografisch model uit de keramische schaal bij het wasmodelgieten



Figuur 12. Schuif van koper, gemaakt volgens wasmodelgietmethode. Het stereolithografiemodel vervangt een exemplaar gemaakt van was.

Toepassingen van stereolithografische modellen in nulseries

wordt eerst de was in een autoclaaf verwijderd. Daarmee ontstaat ruimte die de uitzetting van het model opvangt als het op de veel hogere verbrandingstemperatuur wordt gebracht. Het wijzigen van het CAD-model voor het aanbrengen van de honinggraat is een complicerende factor en daardoor feitelijk ongewenst, zodat deze methode maar gedeeltelijk voldoet.

3 Gefaseerd uitbranden

De gietstukken uit figuur 12 zijn op deze wijze vervaardigd.

Het uitbranden van het model wordt in stappen uitgevoerd, zie tabel 3. In de eerste fasen wordt ruimte gecreëerd in de schaal door sublimatie van de stereolithografische hars. Hierna wordt de temperatuur zover verhoogd dat het materiaal verbrandt.

Dit geleidelijk en gefaseerd verwijderen kan een bezwaar zijn bij gietstukken van enkele kilo's omdat de verschillende fasen dagen in beslag nemen. Hierbij zal dan ook in het CAD-model ingegrepen moeten worden om dikkere wanden (> 6 mm) hol uit te voeren, teneinde de pro-

cestijd bij het uitbranden te verkorten.

Conclusie

Toepassing van stereolithografie en andere nul-serie produktietechnieken is in veel projecten een verzekering op de uiteindelijke kosten van produktiemiddelen zoals matrijzen en kalibers. Bovendien bieden zij mogelijkheden tot kwalitatieve en functionele verbeteringen van het produkt.

Door gebruik te maken van stereolithografie als intermediair kunnen wijzigingen snel doorgevoerd en geëvalueerd worden. Aan het stereolithografische model ligt immers een CAD-model ten grondslag.

Gesteld kan worden dat stereolithografie in een gamma van toepassingen zeer interessant is, maar selectief toegepast moet worden. Namelijk daar waar de specifieke voordelen, zoals de te verkrijgen complexiteit en korte levertijden, uitgebuit kunnen worden. De toepasbaarheid van stereolithografische modellen kan vergroot worden door direct van het model afdrukken te maken voor gietvormen, hetzij voor kunststof, hetzij voor

metalen. Het zal duidelijk zijn dat voor de maatvoering van de modellen rekening moet worden gehouden met de proces- en materiaalvariabelen van het uiteindelijke vormgevingsproces.

Literatuur

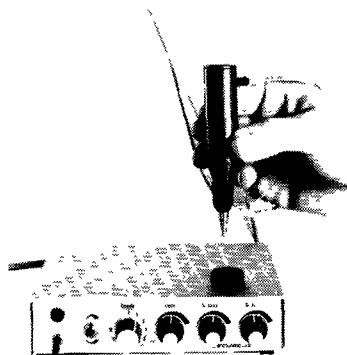
- [1] H J Ott, Laser Stereolithografie, Vom CAD-Modell zum Prototyp, Laser Praxis, (1989)6
- [2] Stephanie J Murasaki, Make it in a minute, Machine Design, (1990) 8 february februari
- [3] Steven Ashley, Rapid Prototyping Systems, Mechanical Engineering, (1991)4
- [4] J P Kruth, B van der Schueren, Stereolithografie, een materiaalgroeiotechniek, MB-Produktietechniek 57(1991)7/8
- [5] J J A Kurstjens, Het vacuüm-vormproces in folie, De Constructeur, (1991)6

M Bliet is als adviseur werkzaam bij Materialise N V te Leuven

Materialise is een modelmakerij die haar activiteiten afgestemd heeft op het gebruik van zogenaamde "instant prototyping" gereedschappen als stereolithografie

Met steun van de Universiteit van Leuven, Departement Werktuigkunde en enkele grote in België gevestigde firma's werd Materialise in 1990 opgericht. Naast vervaardiging van prototypes vinden ook eigen ontwikkelingen plaats op het gebied van "prototyping"

LECUREUX



Elektronische schroefdraaiers en schroefautomaten voor kleine schroeven van M0,35 tot M3.

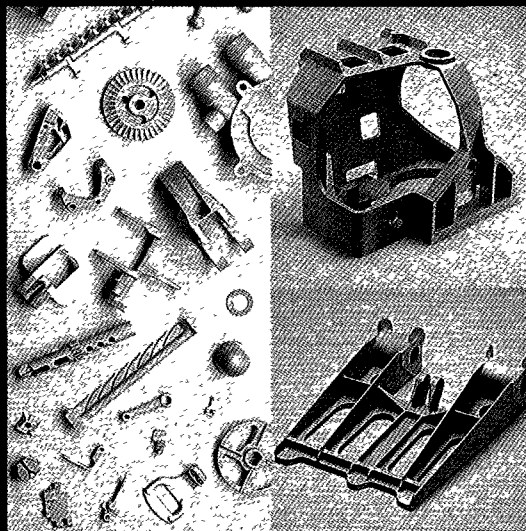
micro  montage

Postbus 3108 3760 DC Soest
Tel. 02155-26400 Fax 27200



PRECIMETAL

Precisiegieterwerk



PARTNERSHIP - TOTAL QUALITY

PRECIMETAL, toeleveringsbedrijf gespecialiseerd in verloren was gietwerk, vervaardigt stukken van 1 gr tot 10 kg in praktisch alle staalsoorten en in de voorname koper-, nikkel- en kobaltlegeringen.

Parc Industriel - B - 7180 Seneffe - België
Tel.: (32) (0) 64.54.05.00 - Telex: 57243 - Fax: (32) (0) 64.54.05.07

De NVFT

Leden van de NVFT zijn technici die op professionele en bedrijfsmatige wijze hoogwaardige apparatuur ontwerpen, ontwikkelen en fabriceren, zowel consumenten- als kapitaalgoederen. Zij zijn van alle opleidingsniveaus en hebben gemeen dat ze gefascineerd zijn door de fijnmechanische techniek, waarbij door integratie van technieken als mechanica, optica, elektronica en glastechniek, zeer geavanceerde produkten ontwikkeld worden. Specifieke kennis uit het vakgebied wordt uitgedragen door leden die werkzaam zijn in het technisch onderwijs.

- De NVFT informeert haar leden over ontwikkelingen in het vakgebied door regionale bijeenkomsten, cursussen, symposia en publikaties in Mikroniek.
- Een speciale service is de **Mikropool**. Door onderlinge dienstverlening heeft men de beschikking over bijzondere, moeilijk in kleine hoeveelheden verkrijgbare materialen en specialistische bewerkings-technologieën.
- NVFT-leden krijgen korting op de door de NVFT georganiseerde activiteiten, evenals op de activiteiten van andere verenigingen waarmee de NVFT een samenwerkingsovereenkomst heeft.
- De NVFT kent bedrijfs- en persoonlijke lidmaatschappen. Voor studenten en gepensioneerden geldt een bijzonder tarief.

Inlichtingen:

Secretariaat NVFT, Postbus 6367, 5600 HJ Eindhoven, tel.: 040 - 473659 fax.: 040 - 460645.