

Eerste deel van de serie over een nieuwe manier van produceren

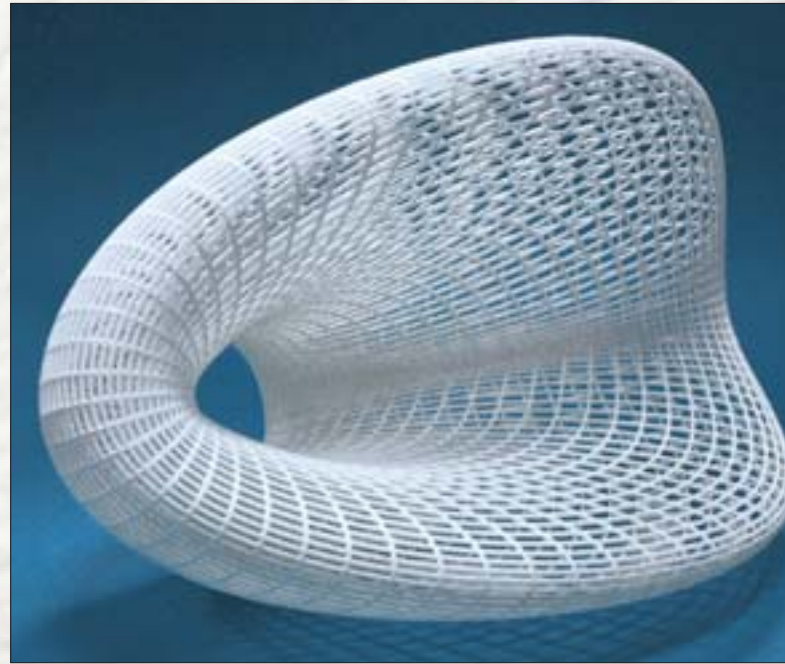
De evolutie van Rapid Prototyping naar Rapid Manufacturing

Rapid Prototyping, Rapid Manufacturing, personalised manufacturing, SLA, SLS, FDM... Het houdt allemaal verband met elkaar en naar de rotsvaste overtuiging van diegenen die zich ermee bezighouden zijn we ermee onderweg naar een geheel nieuwe manier van produceren. Technieken die — ondanks hun naam — niet uitblinken in ongeëvenaard snelle cyclustijden, maar die op een andere manier hun economisch nut bewijzen. In dit eerste deel van deze driedelige serie over de nieuwe manier van produceren kijken we naar de bestaande 'Rapid Prototyping'-technieken en maken we kennis met Rapid Manufacturing. Het tweede deel laat zien hoe het grijze gebied tussen Rapid Prototyping en Rapid Manufacturing ingevuld gaat worden, wat we onder personalised manufacturing verstaan en hoe het Europese Custom-Fit project daarin een belangrijke rol speelt. Het laatste deel gaat over ontwerpers: Hoe kijken zij aan tegen deze ontwikkelingen en welke omslag moeten zij maken?

Rapid Prototyping is inmiddels een tamelijk bekend fenomeen. Middels een aantal voor dat doel ontwikkelde technieken is het mogelijk al dan niet functionele prototypen te vervaardigen, soms zelfs zodanig dat ze ook als eindproduct bruikbaar zijn. De term 'rapid' heeft overigens geen betrekking op de snelheid van de gebruikte technieken zelf: Rapid Proto-

typing technieken als SLA, SLS en FDM, kunnen absoluut niet concurreren met bijvoorbeeld de cyclustijden zoals we die bij het spuitgieten kennen. In tegendeel, één enkel tandwiel maken met een techniek als Fused Deposition Modeling (FDM) kan zomaar enkele uren duren. De snelheidswinst zit in de keten, maar daarover straks meer. Daarnaast is het met deze technieken mogelijk producten te maken die anders niet — of in ieder geval niet zonder assemblage — gemaakt zouden kunnen worden. Dat kan grote gevolgen hebben, want het wordt nu mogelijk producten te maken die tot voor kort ondenkbaar waren.

Eerst maar eens een overzicht van de gangbare 'Rapid Prototyping'-technieken en dan met name de zogenaamde additieve technieken, omdat zij aan de wieg staan van het uiteindelijke doel: deze technieken te laten evolueren tot



Objecten zoals deze van Ron Arad Design, zijn voor de SLS-techniek geen probleem.

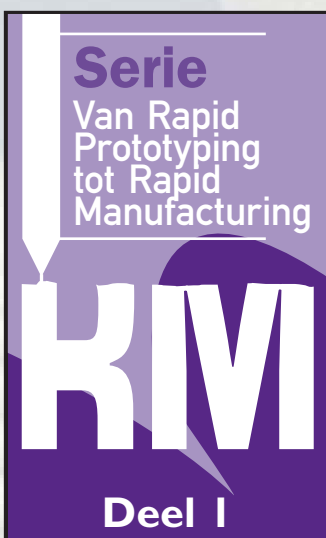
'Rapid Manufacturing'-technieken.

Additieve en subtractieve technieken

'Rapid Prototyping'-technieken laten zich onderscheiden in een tweetal hoofdgroepen. Onder de hoofdgroep 'subtractieve technieken' vallen technieken die te maken hebben met het weghalen van materiaal. Uitgangspunt is een blok materiaal, waarna door middel van verspanende bewerkingen, boren, zinkvanken en dergelijke, materiaal wordt verwijderd. Veel metalen matrijzen worden op die manier gemaakt. Omdat de mogelijkheden van subtractieve technieken met name op het gebied van vormvrijheid beperkt zijn, wordt deze manier van produceren niet als kandidaat voor Rapid Manu-

facturing gezien. We zullen de subtractieve technieken in deze serie dan ook verder buiten beschouwing laten en inzoomen op de zogeheten 'additieve technieken'. De meest gebruikelijke additieve technieken zijn Fused Deposition Modeling (FDM), Selective Laser Sintering (SLS) en SLA: Stereolithografie.

Bij additieve technieken is er dus sprake van toevoeging van materiaal, om op die manier tot een product — of in ieder geval een prototype — te komen. Uitgangspunt is dus niet een blok materiaal dat bewerkt wordt, maar in feite een leeg werkplateau waaraan materiaal toegevoegd wordt. Meestal gaat het dan om Layer Manufacturing Technologieën (LMT): het laagsgewijs opbouwen van een mo-



otyping

Dashboard vervaardigd met FDM.



Met stereolithografie kunnen ook heel grote delen gebouwd worden.

del. Een mooi voorbeeld hiervan is Fused Deposition Modeling, ofwel FDM.

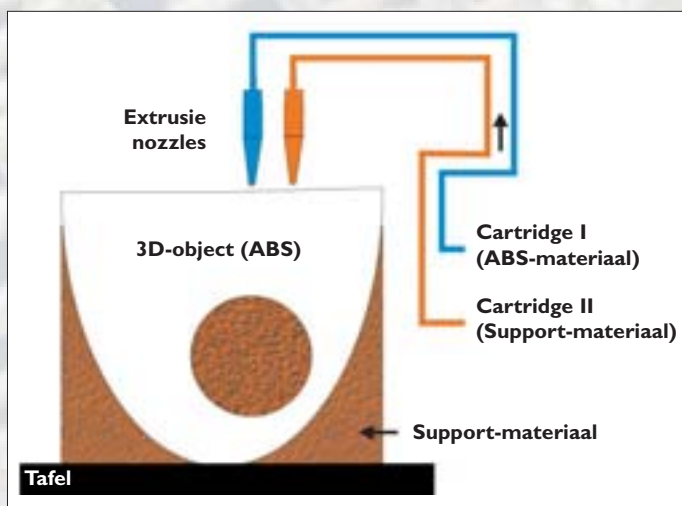
Fysieke modellen printen met FDM

Fused Deposition Modeling wordt ook wel 3D-printen genoemd. Deze techniek is heel goed vergelijkbaar met de werking van een inkjetprinter. Wanneer we bijvoorbeeld een foto op een inkjetprinter willen afdrucken, wordt eerst de afbeelding door een stukje software — in dit geval de printerdriver — vertaald naar een instructie voor de printkoppen. De afbeelding wordt dan eigenlijk in plakjes (lijnen) verdeeld. Vervolgens gaat de printer de afbeelding lijn voor lijn opbouwen. De printkoppen deponeren inkt daar waar nodig en doen dit met grote precisie. De gelei-

ding van de printkop ten opzichte van het papier is in twee richtingen: de kop kan over de breedte van het papier bewegen en het papier zelf wordt in verticale richting bewogen.

De 3D-printer voegt daar nog een dimensie aan toe. Het te printen (lees: te bouwen) object wordt op een plateau gebouwd, waar overheen een extrusieus (de 'printkop') zich in twee richtingen (x- en y-as) beweegt. Na het printen van een laag worden de spuitkoppen van de FDM-machine een fractie hoger gezet, waarna weer een nieuwe laag wordt geprint. Hiermee is dan de derde dimensie — hoogte — toegevoegd. Als bouw materiaal wordt natuurlijk geen inkt gebruikt, maar een polymeer, meestal ABS. Om te voorkomen dat het nog zachte ABS inzakt, wordt op plaatsen waar dat nodig is ondersteuningsmateriaal meegeprint. Dit ondersteuningsmateriaal wordt naderhand weer opgelost. De basis is een 3D-CAD-file, dat door een stukje software in plakjes wordt gesneden, om van daaruit de bewegingen van de printkop en de materiaaltoevoer te sturen. Ook hier zijn de overeenkomsten met een (inkjet)printerdriver groot!

De 3D-printers zijn nu zelfs al als 'desktopversie' leverbaar, zoals de Dimension SST van Stratasys, die in het aprilnummer van Kunststof Magazine werd besproken. Een mooi voorbeeld van Rapid Prototyping, want hoewel het print-



Het werkingsprincipe van een 3D (FDM) printer.

proces zelf langzaam verloopt, heb je toch vanaf een 3D-CAD-tekening binnen een paar uur een heus functioneel prototype in handen! In geometrisch opzicht zijn er vrijwel geen beperkingen: bedenk het maar en de machine bouwt het. Een ander sterk punt van deze techniek is dat FDM-machines materialen als ABS, polycarbonaat en PPSU (Polyfenylsulfon) kunnen verwerken. De materiaaleigenschappen komen dicht in de buurt van gespuitsgiete eindproducten. Een met FDM gemaakt prototype uit ABS heeft ongeveer tachtig procent van de sterkte van een gespuitsgiet ABS-deel (dit verschil in sterkte wordt vooral veroorzaakt door de laagsgewijze opbouw van het FDM-model). PPSU bijvoorbeeld is goed bestand tegen chemicaliën, zodat tests met bijvoorbeeld remvloeistof en benzine al op het prototype kunnen worden losgelaten. De mechanische stabiliteit — ook op de lange duur — is eveneens goed te noemen. Nadeel

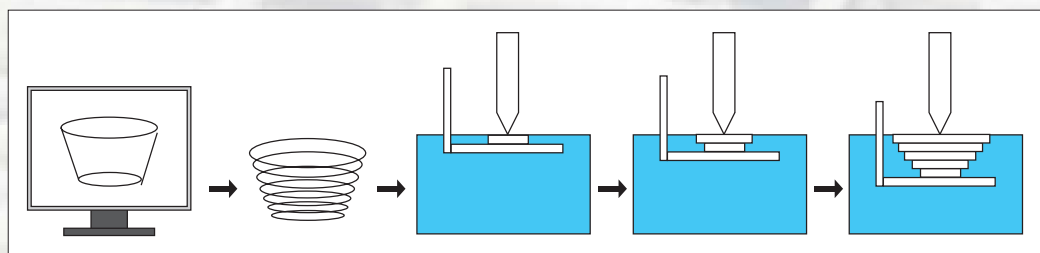
is wel dat de laagjesopbouw terug te zien is in het oppervlak. Om een echt glad resultaat te verkrijgen is enige vorm van nabewerking dan soms noodzakelijk.

Printen met ThermoJet-techniek

De ThermoJet-techniek lijkt op die van FDM. De ThermoJet-machine 'print' fysieke modellen door laagjes van kleine druppels was op een platform te deponeren. Ook hier wordt het model laag voor laag opgebouwd, met een laagdikte van 0,042 mm. Door de hoge resolutie (300 x 400 x 600 dpi) worden met deze techniek hoog gedetailleerde modellen vervaardigd, met een hoogwaardig oppervlak.

Selective Laser Sintering (SLS)

Een andere populaire 'Rapid Prototyping'-techniek is Selective Laser Sintering, ofwel SLS. Ook dit is een laagjes-techniek, waarbij opeenvolgende laagjes poeder door

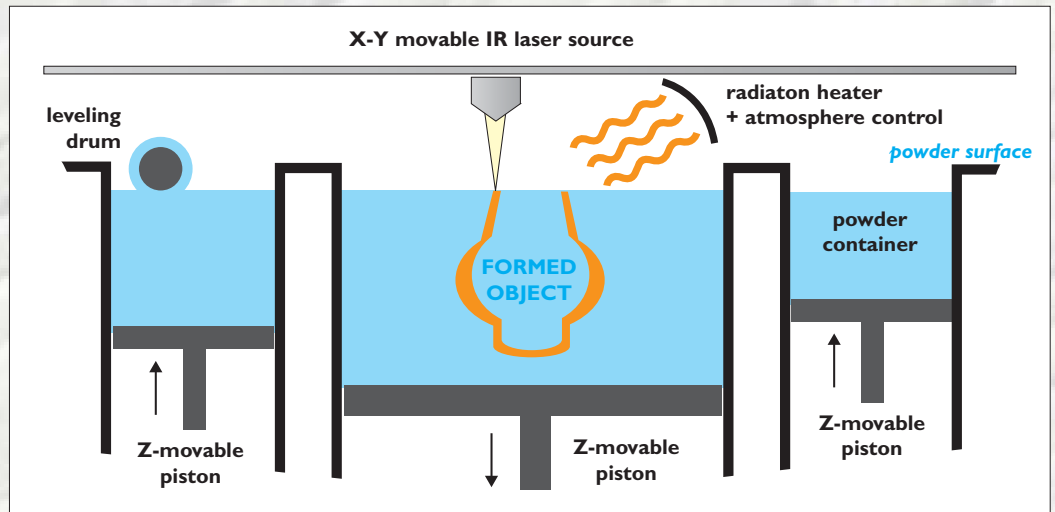


Het principe van laagsgewijs modellen bouwen.

een laserstraal aan elkaar worden verbonden. De poederdeeltjes zijn niet groter dan ongeveer 50 µm. De machine plaatst de opeenvolgende poederlaagjes bovenop elkaar. Vervolgens scant een CO₂-laser het poederoppervlak af en verbindt de poederdeeltjes, daar waar nodig, om een product te vormen. Gedurende de blootstelling aan de laserstraal, stijgt de poedertemperatuur tot boven de glasovergangtemperatuur, waarna de tegen elkaar gelegen poederdeeltjes samenvloeien. Dit proces wordt sintering genoemd.

De aansturing van het proces is vergelijkbaar met die van FDM: een 3D-CAD tekening wordt in plakjes verdeeld en door de 'driver' omgezet naar bewegingen van, in dit geval, de laser. Ook het leggen van de poederlaagjes wordt daarmee aangestuurd.

Selective Laser Sintering is een geschikte methode om volledig functionele prototypes te fabriceren, ook in series. Wanddiktes van 1 mm zijn mogelijk; voor scharnieren zelfs 0,3 mm. Het materiaal is Polyamide (PA) waardoor producten een hoge mechanische sterkte kennen en over een goede thermische weerstand beschikken. Ook glasgevuld Polyamide (PA-GF) kan worden toegepast. Door het te impregneren kan het product waterdicht ge-



Schematische weergave van het SLS-proces.

maakt worden. Het materiaal is ook op lange termijn stabiel en bestand tegen de meeste chemicaliën. Ook Alumide — een mix van aluminiumpoeders en PA-poeder — is voor deze techniek beschikbaar. Hiermee



Met Selective Laser Sintering kunnen complexe delen worden gebouwd, zoals deze motorbehuizing. (Foto: Materialise)

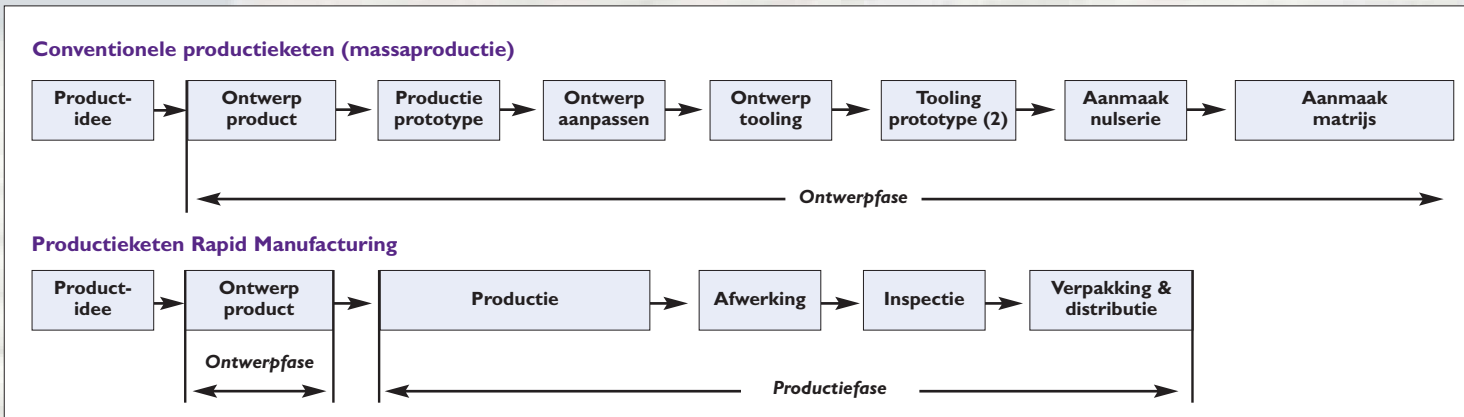
wordt een metaal-achtig aanzien gerealiseerd en het maakt het materiaal bovendien bestand tegen hoge temperatu-

ren. Het oppervlak van een met SLS gefabriceerd stuk is enigszins ruw. Nabewerking kan plaatsvinden door middel van zandstralen, (kleur-) impregneren, schilderen, coaten, enzovoort.

Stereolithografie

Een van de meest gebruikte 'Rapid Prototyping'-technieken voor het maken van

kunststof modellen is Stereolithografie (SLA). Een 3D-afbeelding (STL-bestand) wordt van onder tot boven in plakjes verdeeld. Net als bij FDM wordt in de software ook de ondersteuning bepaald voor overhangende delen en voor caviteiten. Deze data wordt gebruikt om een laser aan te sturen die zich in x- en y-richting kan bewegen. De laser is gericht op een bad met vloeibaar polymeer, dat uithardt wanneer het in contact komt met een UV-laserstraal. Nadat de laser een dwarsdoorsnede van het model heeft bewerkt en dus heeft laten uitharden, wordt een nieuw laagje vloeibaar polymeer aangebracht. Hierna kan de laser de volgende dwarsdoorsnede gaan uitharden. Dit gaat zo door tot het hele model is opgebouwd. Nadat het model klaar is, kan het uit de machine worden genomen en

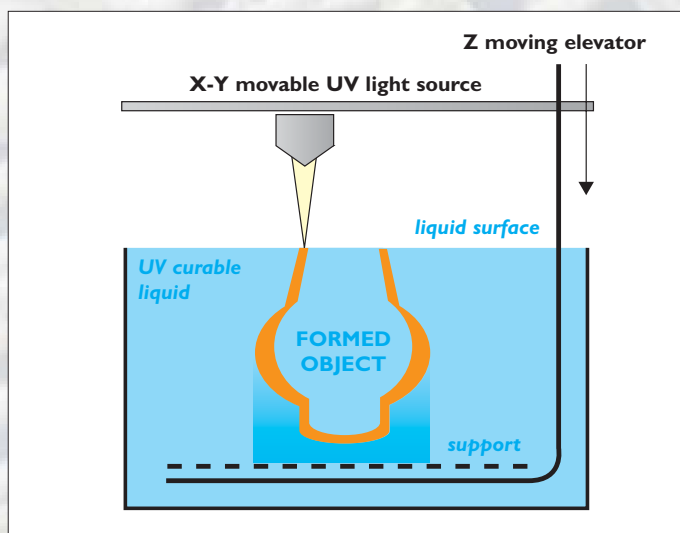


kan het ondersteuningsmateriaal (handmatig) worden verwijderd.

De modellen die met deze techniek ontstaan zijn zeer gedetailleerd. In het verleden waren met stereolithografie geproduceerde delen niet erg functioneel, maar daar is inmiddels verbetering in gekomen. Er zijn nu PP-, ABS- en PBT-achtige materialen beschikbaar. Ook is er een nano-variant, die goede chemische bestendigheid en grote hittebestendigheid combineert met een grote stijfheid.

Bij het Belgische Materialise wordt zelfs gewerkt met kleur-stereolithografie. Als hars wordt Stereocol gebruikt, in een verder standaard SLA-machine. Het eerste contact met de laser zorgt voor de uitharding, een tweede aanstraling zal daar waar nodig delen inkleuren. Doordat de modellen verder transparant zijn, blijven de ingekleurde delen binnenin het model zichtbaar. Deze techniek is bijzonder bruikbaar voor medische toepassing, omdat het de locatie van tumoren, bloedvaten, wortelkanalen, getransplanteerd bot, zenuwbanen, caviteiten en dergelijke, zeer gedetailleerd zichtbaar maakt. Deze techniek wordt dan ook ingezet ter voorbereiding op (complexe) medische ingrepen.

Stereolithografie is — door de hoge precisie — zeer geschikt



Schematische weergave van het SLA-proces.

voor kleine gedetailleerde delen, terwijl met deze techniek ook zeer grote componenten gemaakt kunnen worden. De Mammoet-machines van Materialise bijvoorbeeld, kunnen SLA-componenten met afmetingen van 2100 x 650 x 780 mm in één deel maken. Dit maakt stereolithografie zeer geschikt voor het vervaardigen van bijvoorbeeld auto's, voor matrixdelen ten behoeve van vacuümvormen en voor gebruik als Reaction Injection Moulding (RIM) mallen.

Vergelijkbare voor- en nadelen

Tot zover de gangbare 'Rapid Prototyping'-technieken, die dus nu al beschikbaar zijn en ook gebruikt worden. Ze hebben in ieder geval met elkaar gemeen dat ze op een additieve manier — dus door toe-

voeging van materiaal — gebouwd worden, aan de hand van een in plakjes verdeelde 3D-CAD-tekening. Wat ze ook met elkaar gemeen hebben, is dat bij geen van deze technieken van een mal of matrix gebruik wordt gemaakt. Alles komt rechtstreeks vanaf een 3D-tekening. De vormvrijheid is nagenoeg onbeperkt en delen kunnen uit één stuk geproduceerd worden, waar anders op z'n minst assemblage nodig was.

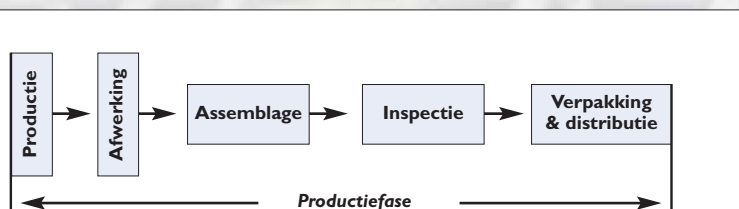
Een gemeenschappelijk nadeel is dat geen van deze technieken uitblinkt in snelheid. Bovendien zijn de materiaalkeuzen ten opzichte van bijvoorbeeld spuitgieten toch beperkt en zijn de modellen vaak minder sterk dan een vergelijkbaar gespuits product. De oppervlaktekwaliteit is — vooral door de laagsgewijze opbouw — niet altijd zonder nabewerking acceptabel en ook de procesbetrouwbaarheid is nog niet op het gewenste niveau. Volgens Bart van der Schueren, directeur Industrial Services bij Materialise is de uitval op dit moment gemiddeld vijf tot tien procent. Overigens wordt hard gewerkt aan het verminderen van deze nadelen: Daarover in het tweede deel van deze serie meer.

Wat is Rapid Manufacturing?

Met de huidige stand van zaken voor wat betreft de meest gebruikelijke 'Rapid Prototyping'-technieken voor ogen, kunnen we een stap verder gaan kijken. Die stap verder heeft een naam: Rapid Manufacturing. We spreken van Rapid Manufacturing (RM) als het prototype meteen het eindproduct is en dit ook nog economisch haalbaar is.

De zojuist geschetste technieken — en dan vooral FDM, SLA en SLS — voldoen aan het eerste deel van die definitie. Producten die op deze manier gefabriceerd zijn kunnen — althans in technisch opzicht — vaak als eindproduct dienen. Helaas voldoen veruit de meeste producten niet aan de tweede voorwaarde: economisch haalbaar zijn. Dat heeft alles te maken met de eigenlijke productiesnelheid. Van het eerder aangehaalde tandwiel kunnen in een meervoudige spuitgiematrix zomaar zestig stuks in een halve minuut worden gespoten. Bovendien gebeurt dat in een betrouwbaar proces, met weinig uitval. Hetzelfde tandwiel produceren maar dan met FDM, is een proces van enkele uren en dan ook nog per stuk. Overigens kunnen dergelijke stukken ook met elkaar gecombineerd worden, zodat in één productiegang meerdere stukken tegelijkertijd kunnen worden geproduceerd. Maar het blijft een uiterst traag proces.

De weinige producten die wel aan beide voorwaarden voldoen — en dus echte 'Rapid Manufacturing'-stukken zijn — zijn vooral die producten die op een andere manier niet gemaakt hadden kunnen worden, of die niet in massa geproduceerd hoeven te worden. Prothesen zijn hier van een goed voorbeeld. Het



Figuur 1: De conventionele productieketen (boven) versus de productieketen voor Rapid Manufacturing. De lengte van een 'processtapblok' geeft de relatieve tijdsduur van de processtap weer.

heeft geen enkele zin om protesen in massa te gaan maken en dus is een functioneel prototype als eindproduct de enige noodzakelijke voorwaarde.

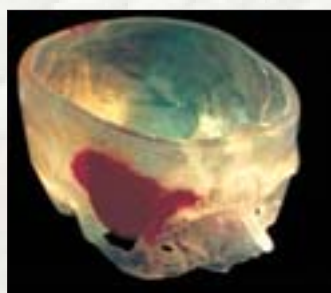
Met de ontwikkeling van Rapid Manufacturing willen we meer producten aan beide voorwaarden laten voldoen. Een voor de hand liggende oplossing zou zijn de procesnelheid dusdanig op te voeren dat deze die van spuitgietsen benadert. Dat is echter een utopie: De verschillen in productiesnelheid zijn veel te groot. Het is zonder meer waarschijnlijk dat de bestaande technieken (of nieuwe varianten) aan snelheid zullen winnen, maar nooit in voldoende mate. Ook partijen die hard aan de ontwikkeling van nieuwe 'Rapid Manufacturing'-machines werken — zoals ons eigen TNO — geloven daar niet in. Anton Gerrits, als Senior Project Manager bij TNO nauw betrokken bij de ontwikkeling van 'Rapid Prototyping'- én 'Rapid Manufacturing'-machines is daar heel stellig in.

'Er zijn weliswaar al echte "Rapid Manufacturing"-producten, maar het is wel goed je te realiseren dat die gemaakt worden met "Rapid Prototyping"-machines. Die worden nu wel verbeterd op aspecten als snelheid, materiaal, enzovoort. Maar door de basisprincipes van die "prototyping"-machines komen ze niet uit de sfeer van prototyping. Het wordt hoogstens RP-plus. Je moet voor Rapid Manufacturing eigenlijk een rigoureuze andere benadering kiezen.'

Snelheidswinst en toenemende procesbetrouwbaarheid zijn dus zonder meer wenselijk, maar echt 'rapid' wordt het voorlopig niet. Die winst moet ergens anders vandaan komen.

Kijken naar de hele keten

Om het 'rapid' in Rapid Manufacturing te begrijpen, moet naar de hele productieketen worden gekeken. Of eigenlijk, naar de hele productontwikkelketen. Want eenmaal in massaproductie, valt van technieken als spuitgietsen in ieder geval op het aspect 'kostprijs per product' moeilijk te winnen. Bij massaproductie zullen technieken als spuitgietsen dan ook een belangrijke rol blijven spelen. Maar er zijn ook productsoorten denkbaar die kunnen pro-



Bijzonder gedetailleerde modellen, bijvoorbeeld voor medische toepassing, worden ook middels Stereolithografie vervaardigd. Hier is kleur-stereolithografie toegepast om de locatie van een hersentumor zichtbaar te maken. (Foto: Materialise)

fiteren van de specifieke mogelijkheden die de (doorontwikkelde) 'Rapid Prototyping'-technieken bieden. Denk in dit verband aan producten die anders niet maakbaar zouden zijn geweest, of waarbij toepassing van een RP-techniek een flink aantal assemblagestappen overbodig maakt. Een vergelijking tussen de productontwikkelketen voor een spuitgietproduct en die voor een 'Rapid Manufacturing'-product is in figuur 1 weergegeven.

Uit die vergelijking blijkt meteen dat de RP-keten een stuk korter is. Eindelijk laat 'rapid' zien waar het voor staat! Maar waar zit de winst? Waarom is de keten zoveel korter?

Processtappen elimineren

Een vluchtige blik op beide

ketenvoorbeelden laat zien dat — ten opzichte van de conventionele productieketen — in de 'Rapid Prototyping'-keten een flink aantal processtappen zijn verdwenen. Bijna al deze stappen bevinden zich overigens in de ontwerpfase. Daar ligt de winst vooral bij het achterwege kunnen laten van het ontwerp en de aanmaak van tooling. In de productiefase is in dit voorbeeld ook de productiestap 'assemblage' geëlimineerd. Daarmee wordt een ander voordeel van de Rapid Proto-



SLA-modellen kunnen fraai afgewerkt worden. (Foto: Materialise)



Volgende aflevering

Een fraai voorbeeld van ketenverkorting. Deze Bahco-sleutel is door middel van FDM in één keer uit kunststof gemaakt. Rechtstreeks vanaf een 3D CAD bestand: Zonder matrijzen en zelfs zonder assemblage!

typing technieken geaccentueerd: deze technieken laten het toe complexe vormen in één keer te fabriceren, zonder de noodzaak van assemblage van losse componenten. Een voordeel dat zich verder uitstrekt, want bij de conventionele productiemethode zijn voor alle

losse componenten ook weer losse matrijzen nodig.

Natuurlijk is de vergelijking niet helemaal eerlijk. De lange conventionele keten maakt immers massaproductie mogelijk, die zich bij grote aantallen uiteindelijk weer terugbetaald. Het kostenplaatje om tot een eerste serie te komen is echter wel weer veel hoger, niet in de laatste plaats door de matrijskosten. Het is dus aanzienlijk goedkoper om een 'Rapid Manufacturing'-product te ontwikkelen en, zolang de serie niet te groot wordt, ook te bouwen. Maar uit dit voorbeeld blijkt vooral ook dat de 'time-to-market' bij de 'Rapid Prototyping'-keten veel korter is. En daarmee wordt weer een heel nieuwe markt aangeboord: de markt voor persoonlijke producten.

In het tweede deel van deze serie maken we kennis met massa-individualisatie, personalised manufacturing, multi material manufacturing en het batchgewijs maken van industriële producten. We kijken naar het grijze gebied tussen Rapid Prototyping en Rapid Manufacturing op grote schaal. Verder komt het Custom-Fit project ter sprake: een groot Europees research project gericht op de ontwikkeling van Rapid Manufacturing, waarin Nederlandse en Belgische bedrijven en instellingen een belangrijke rol vervullen. Ook kijken we naar de ontwikkeling van 'Rapid Manufacturing'-machines en -technieken. ■

Deze serie kwam tot stand dankzij de enthousiaste medewerking van Bart van der Schueren en Griet van Wesemael van 'Rapid Prototyping'-specialist Materialise (Leuven, België), Anton Gerrits en Johan de Kievit (beiden TNO Eindhoven, afdeling Industrie & Techniek) en Alfard Jansen, projectmanager bij het Delftse ingenieursbureau BPO.