Snelle 3D-prototypetechnieken

M. Breuning

Aansluitend aan het ontwerpen met CAD zijn in het afgelopen decennium nieuwe technieken ontwikkeld voor de snelle realisatie van produktmodellen en prototypen: Rapid Modelling. Drie veelbelovende worden nader besproken.

Inleiding

Vooral in het laatste decennium is de druk op produktontwikkelingsafdelingen sterk toegenomen om nieuwe produkten in veel kortere tijd te ontwikkelen. En om ze aansluitend ook sneller in produktie te brengen en daarmee eerder op de markt.
De invoering van computer ondersteund ontwerpen (Computer Aided Design, CAD) heeft het verfijnen en wijzigen van het ontwerp aanzienlijk vergemakkelijkt vergeleken met het traditionele werk op tekenbord en papier.
Het ter beschikking komen van numerieke besturing (CNC) van bewerkingscentra, veelassige freesmachines met gemechaniseerde gereedschapwisseling, en de voeding van de besturingscomputer met eventueel bewerkte gegevens uit het CAD ontwerpbestand heeft de realisering van produktmodellen of eindprodukten versneld (de zogenaamde Computer Integrated Manufacturing, CIM).
Niettemin blijft het materialiseren door "beeldhouwen" uit massief materiaal van produktmodellen toch nog altijd tijdrovend.
Met veel inventiviteit zijn dan ook in het afgelopen decennium andere technieken ontwikkeld en in de laatste helft tot toepassing gekomen om produktmodellen, bij voorkeur op ware grootte, te materialiseren.
In dit artikel worden drie van deze zogenaamde Rapid Modelling technieken kort behandeld.

Systeemleveranciers

- LOM: Helisys Inc., Torrance, California USA. In Europa vertegenwoordigd door Umak ltd, BSA Business Park, Armory Road, Birmingham B11 2RQ England (UK)
- Stereolitography: 3D-Systems Inc. Valencia, California USA. In Europa vertegenwoordigd door 3D-Systems GmbH, Röntgenstrasse 86, D-6100 Darmstadt Arheitgen

Opmerking
3D heeft in Japan vijf concurrenten die ook laser-fotopolymerisatie machines aanbieden.

- Cubital: De Israelische fabrikant (Raanana, Israel) wordt in Europa vertegenwoordigd door Cubital Europa GmbH, Liebicstrasse 3, D-6369 Nidderau/Heldenbergen (nabij Frankfurt)

Leveranciers van UV-hardende kunstharsen.
- Ciba - Geigy
- Allied Signal

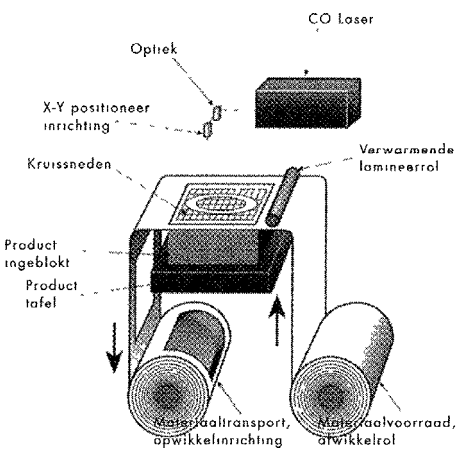
Principe

Alle drie methoden hebben als gemeenschappelijk kenmerk dat het produktmodel wordt opgebouwd, gemateriaiiseerd, door stapeling van dunne lagen. Dat kan zowel door uit geschikt materiaal de doorsneden van het produkt te "snijden", als door het in dunne lagen doen uitharden van een polymeer tot doorsneden van het produkt.
Deze werkwijzen hebben enige gelijkenis met die van de amateur bouwer van waterlijnscheepsmodellen op relatief kleine schaal. Daarbij wordt de romp opgebouwd uit lagen hout van enkele millimeters dik, ieder met toegift gezaagd in de contouren van de romp op die betreffende hoogte. De enigszins getrapte ruwe vorm wordt dan verder glad in vorm gebracht door bijvoorbeeld schuren.
De recent ontwikkelde technieken maken gebruik van een omreken computerprogramma dat uit een CAD-databestand van een ontwerp de doorsneden berekent van zeer dunne lagen. Het omrekenprogramma zet een oppervlakken model (Surface Model) of eventueel een volume model (Solid Model) om in een oppervlakbeschrijving met behulp van kleine driehoeken. Vervolgens worden daaruit de contouren van de doorsneden berekend. Deze contour gegevens worden gebruikt voor de besturing van de machine waarmee de dunne lagen worden gematerialiseerd.
Dit materialiseren kan op verschillende manieren worden gerealiseerd.
Voor het Laminated Object Manufacturing, LOM, van Helisys Inc. wordt een soort papier gebruikt waarmee houtachtige produkten worden verkregen. De papierlagen worden op elkaar gelijmd; de doorsnede van het produkt in elke laag wordt met behulp van een laser gesneden.
Zowel stereolithografie, SL, als Cubital gebruiken UV-gevoelige kunstharsen die door middel van een UV-laser of met behulp van UV-licht laag voor laag worden uitgehard.

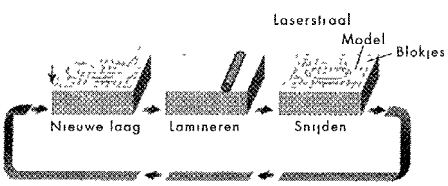
LOM

Laminated Object Manufacturing is eind van de jaren tachtig in de Verenigde Staten bedacht en ontwikkeld door Helisys Inc. gevestigd in Californië; zie kader 1.
Bij dit systeem wordt voor de dunne lagen papier gebruikt. Met behulp van een laser, waarvan de bundel de contour van de te genereren doorsnede beschrijft, wordt de laag gesneden. Het materiaal is eenzijdig van een dunne laag smeltlijm (zogenaamd polyethyleen Heiszschmelzkleber) voorzien en wordt vanaf een rol over een produkttafel gevoerd.
Nadat een rechthoekig grondvlak, dat de projectie van het te vormen produkt met flinke toegift omhult, op de tafel is aangebracht kan met de opbouw worden begonnen. Iedere nieuw te snijden laag wordt met behulp van een verwarmde rol eerst op de voorgaande gelijmd. Vervolgens worden met de laser de contour en daaromheen (en eventu-

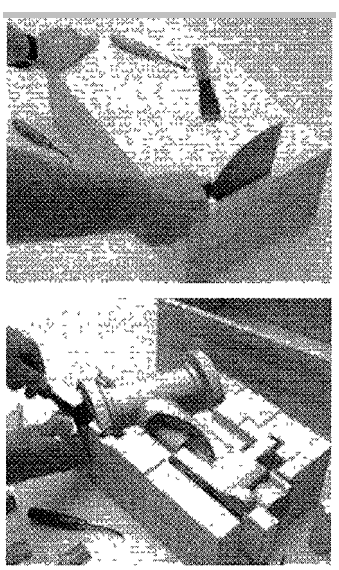
Snelle 3D-prototypetechnieken

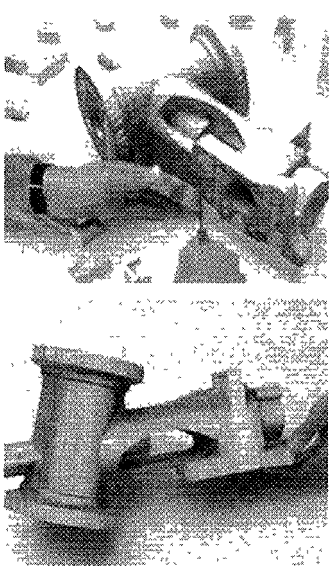


Figuur 1 1 Principieele opbouw van de installatie voor L O M



Figuur 1.2 Principe van het proces





Figuur 1 3 'Uitpakken' van het produkt

a het blok wordt van de produkttafel genomen en het ontstane kader verwijderd,

b het omhullende overtollige materiaal wordt verwijderd,

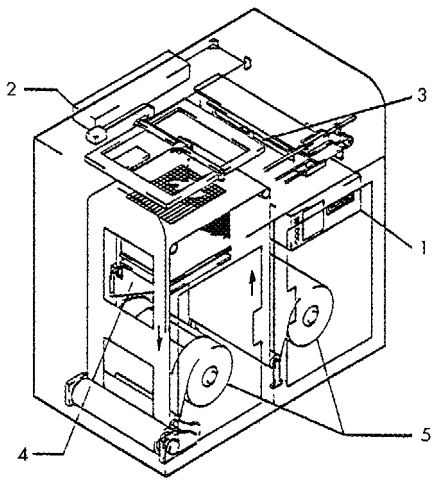
c het overige overtollig materiaal wordt verwijderd,

d het produkt kan nabewrkt worden

eel ook in te vormen holten) een blokjespatroon gesneden. De papierstrook wordt vervolgens doorgewikkeld en het reeds gevormde deel van het produkt tegen een aanslag omhoog bewogen ter controle van de reeds gerealiseerde hoogte en daarmee van het aantal lagen. Vervolgens zakt de tafel één laagdikte om de volgende laag te kunnen maken; zie figuur 1. De laserbundel wordt door de besturingscomputer bestuurd en beschrijft de contour van de doorsnede, die met behulp van een omrekenprogramma uit het CAD-bestand is verkregen. Deze besturing is te vergelijken met een CNC-besturing van een bewerkingsmachine. Na gereedkomen van het gelamelleerde produkt, dat ingebed is in het materiaalblok, wordt het overtollige materiaal verwijderd. Dit gaat dankzij het blokjespatroon gemakkelijk.

Het resultaat is een houtachtig produktmodel dat zich zonodig laat nabewerken als hout, bijvoorbeeld door schuren. Tenslotte wordt het model met een laklaag tegen vochtopname verzegeld.

Bij de opbouw van het produkt treedt geen krimp op van het materiaal. Ook een nabehandeling is niet nodig. De nauwkeurigheid waarmee de contour gerealiseerd kan worden bedraagt circa 0,2 mm. De papierdikte kan worden gekozen van 0,05 tot 0,5 mm; gewoonlijk



Figuur 2 Schets van een LOM-installatie 1) 486 PC, 2) CO2- laser met optiek, 3) verwarmde lamineerrol, 4) verticaal beweegbare produkttafel, 5) materiaaltransportinrichting

0,2 mm. De maximale produktafmetingen bedragen 810 x 560 x 510 mm voor de grootste beschikbare machine, en 380 x 254 x 355 voor de kleinere uit het programma. Figuur 2 toont schetsmatig de opbouw van een LOM-machine.

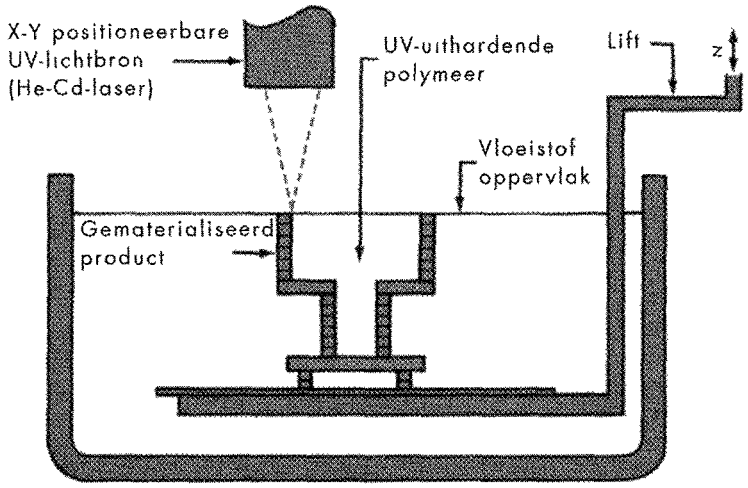
Het duitse bedrijf Invanio claimt dat LOM ten opzichte van CNC-frezen uit massief materiaal een factor 3 sneller is, alle voorbereidingen inbegrepen. De totale investeringstijd is uiteraard afhankelijk van de afmetingen van de geprojecteerde grootste doorsnede en van de hoogte van het model, de ingewikkeldheid van de doorsneden (met andere woorden de lengte van de laserbundelbaan), de gekozen papierdikte en de noodzakelijke mate van nabewerking. Als vuistregel valt aan te houden dat voor een produkt met bruto grondvlak van 150 x 150 mm voor een opbouw van 1 mm circa 10 minuten nodig is en bij een grondvlak van 200 x 200 mm circa 20 minuten/per mm.

De benodigde investering is van dezelfde orde van grootte als die voor een CNC-freesstation van gelijke volume capaciteit.

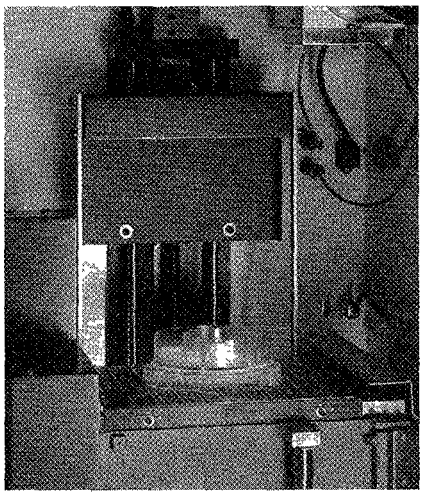
Stereolithografie SL

Dit systeem is ontwikkeld en wordt geleverd door 3D-systems Inc., een amerikaans bedrijf gesticht in 1986 en gevestigd in Californie.

De principiële opzet van het systeem is betrekkelijk eenvoudig. Het te realiseren produkt wordt laag voor laag gevormd



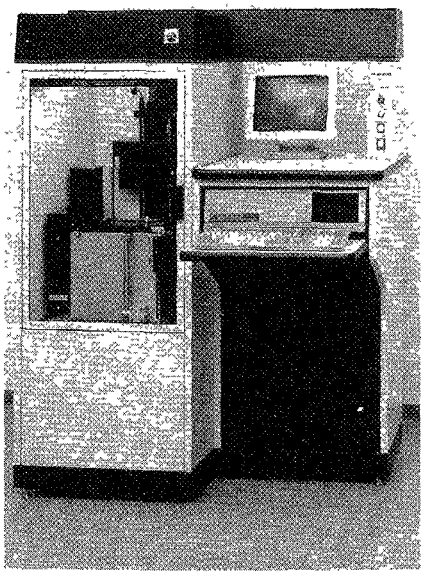
Figuur 3 Principiele opbouw SL installatie



Figuur 5 Een gereed SL produkt uit het vat geheven

door met behulp van een HeCd (heliumcadmium) laser de doorsnede te beschrijven op het oppervlak van een vat gevuld met een vloeibare kunsthars (monomeer) die onder invloed van UV-licht uithardt. Met een focusdiameter van de laserbundel van circa 0,4 mm kan, afhankelijk van de snelheid van bewegen en dus de belichtingstijd, een laag van 0,1 tot 0,7 mm dikte worden uitgehard. De positie van de laserspot reproduceert met een nauwkeurigheid van 0,02 mm. De eerste laag wordt ondersteund door een plaat die na de vorming van die laag, en ook na iedere volgende, in de vloeistof zakt en ondergedompeld wordt. Vervolgens komt die plaat omhoog tot vlak onder het vloeistofoppervlak waarna met een schraper de laag op de gewenste dikte wordt gebracht. Na het tot rust komen van het oppervlak kan de volgende laag met behulp van de laserstraal worden gevormd; zie figuur 3.
Na iedere laag keert de laserstraal terug naar een ijkpunt dat als begin van de baan fungeert, waarbij indien nodig een correctie bij de besturingsinformatie kan worden gegeven.
De reactie van de hars moet na de lokale belichting door de laserstraal tot stilstand komen (om "uitstollen" te voorkomen), waartoe de hars voorzien is van remmende additieven.
Na gereedkomen van het model wordt de plaat uit het vak geheven en kan het model worden losgesneden. Vervolgens wordt het ultrasoon gereinigd van eventuele harsresten en nagehard in een oven.

Uit een CAD-bestand wordt op overeenkomstige wijze als bij de LOM met behulp van een omrekenprogramma de doorsneden berekend die bij de gekozen laagdikte behoren. Deze informatie wordt aan de besturingscomputer van de installatie toegevoerd, die voor de automatische verwerking van laag voor laag zorgdraagt. Het proces van produktvorming verloopt dan zonder verdere tussenkomst van bedienend personeel, zodat het bijvoorbeeld ook 's nachts kan worden afgehandeld. Er kan overigens, indien nodig, wel worden ingegrepen.



Figuur 4 Middelgrote stereolithografie machine van 3D-Systems, type SLA-250.

Bij overkragende delen van het produkt, waarvan de eerste lagen onvoldoende stijf zijn, is ondersteuning nodig. Ook bij doorsneden van later te vormen delen, die in de betreffende doorsnede los zijn van de rest van het reeds gevormde gedeelte en die zouden kunnen gaan zweven, is dat nodig. Daarvoor is vorming van een hulpstuk door het besturingsprogramma noodzakelijk. Dit hulpstuk dient dan later te worden verwijderd, te vergelijken met bijvoorbeeld een aangieting. Een speciaal rekenprogramma is door Materialise N.V. ontwikkeld om deze steunen automatisch te genereren en aan de doorsnede-informatie toe te voegen.
De fabrikant 3D levert de SL-machines in verschillende capaciteiten voor wat betreft de maximum afmetingen van de te vormen produkten. Figuur 4 toont een aanzicht van de middelste uit de reeks. De maximale buitenafmetingen van een op deze machine te materialiseren produkt zijn: 250 x 250 x 250 mm. De inhoud van het vat is ca. 30 l.
Oorspronkelijk werd met acrylaatharsen gewerkt, de meer recente epoxyharsen voldoen beter. Een aantal chemie-concerns ontwikkelen en leveren polymeren die geschikt zijn voor het SL-procédé; zie kader 1. Figuur 5 toont een uit het vat geheven gereed produkt.

Voor een meer gedetailleerde bespreking van het SL-proces en een beschouwing over de mogelijkheden van SL in samenhang met technieken in het vervolgtraject voor prototypefabricage verwijzen wij naar [1].

Snelle 3D-prototypetechnieken

"Tonerpoeder" vormt een "fotonegatief-masker"
De maskerplaat wordt vlak boven het produktie-platform geplaatst.

Een doorsnede-geometrie wordt op elektrostatische wijze op de maskerplaat gebracht.

De vloeibare monomeer-laag wordt via het masker met een UV lamp belicht. De belichte monomeer hardt direkt uit.

Alle onbelichte vloeibare monomeer wordt weggezogen.

Warme vloeibare was wordt als ondersteunings laag voor de volgende laag opgebracht

MASKER CYCLUS

PRODUKTIE CYCLUS

A Modellen worden ingevoerd, gestapeld (naast elkaar en boven elkaar) in de beschikbare produktieruimte en opgedeeld in doorsnedes

B

C

D

1 Op het produktieplatform wordt een laag vloeibare monomeer aangebracht

2

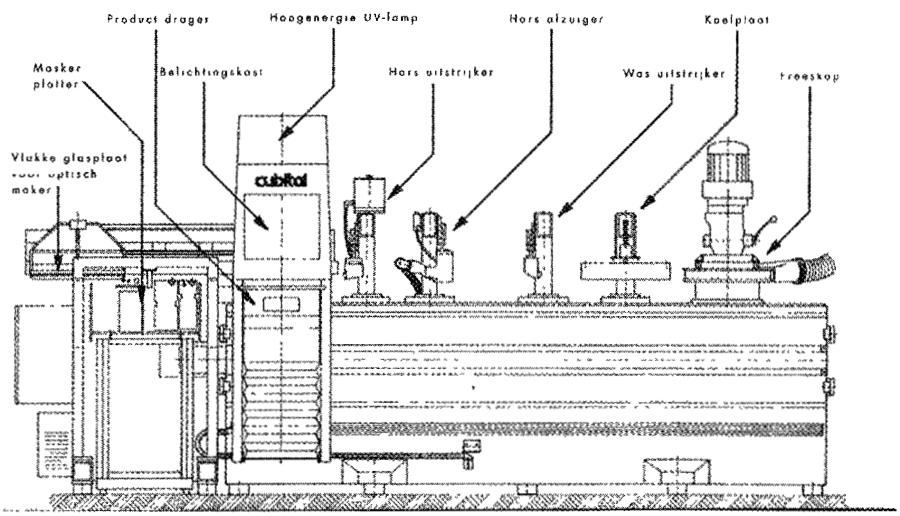
3

4

5 De koelplaat stolt de was

6 De freeskop brengt de gevormde laag polymeer en was op de juiste laagdikte.

Figuur 6 Schematische weergave van het Cubital-proces



Figuur 7 Vooraanzicht van de Cubital installatie
De installatie is een compilatie van een aantal bestaande technieken Sytec, een Israelische firma in reproduktie-apparatuur, levert de maskereenheid, de optiek is van Schneider, de Israelische firma Glall levert de software Freem en freeseenheid zijn oorspronkelijk van Maho

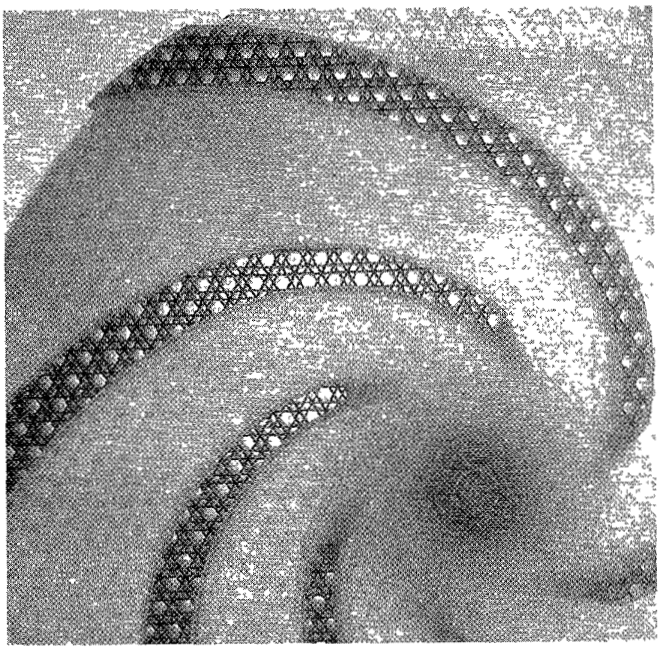
Cubital

Bij dit systeem is het verwerken van de doorsnede-informatie en het uitvoeren van het materiaalgroeiproces over een aantal processtappen verdeeld en in één installatie, de Solider genoemd, ondergebracht; zie figuren 6 en 7.
De met een omrekenprogramma uit een CAD-bestand verkregen profielinformatie van de lagen wordt via een besturingscomputer telkens eerst op elektrostatische wijze op een glasplaat overgebracht. De doorsnede van het te maken produktmodel blijft daarbij lichtdoorlatend, de rest van de glasplaat wordt met behulp van toner zwart gemaakt. Deze processtap heeft grote gelijkenis met kopieermachines, die ook met toner werken.

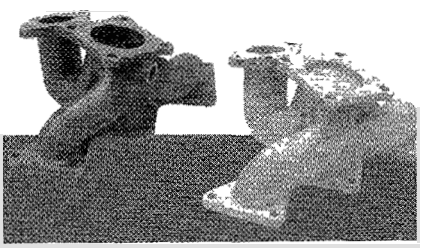
Met het aldus ontstane masker wordt vervolgens een dunne laag vloeibare UV-gevoelige monomeer in één keer met een 3000 Watt UV-lamp belicht. Deze dunne laag is over de voorgaande uitgestreken; bij het uitharden hecht ze zich aan de voorgaande. Na het belichten en uitharden wordt de overtollige, niet uitgeharde, monomeer afgezogen en in plaats daarvan een vloeibare was ingestreken die door koeling verhardt. Tenslotte wordt de laag (uitgeharde monomeer plus wasopvulling) op dikte gefreesd, waarna het proces zich herhaalt voor de volgende laag. Daartoe zakt de werkstukdrager één laagdikte.
De installatie heeft een hoge verwerkingssnelheid, ze kan 60 tot 100 lagen per uur leggen.
Door het opvullen met was van de ruimten, waar de monomeer niet uitgehard en verwijderd is, is ondersteuning van overkragende of vrijliggende losse delen van een doorsnede automatisch verkregen. Het nafrezen van elke gevormde laag en de ingestreken was zorgt voor een nauwkeurige laagdikte. De resolutie van de contour van de lagen is beter dan 0,1 mm.
Na het gereedkomen van het produkt wordt de was hetzij in een warm bad met citroenzuur uitgewassen, hetzij uitgesmolten, waarna het produkt gereinigd wordt. Een nabehandeling ten behoeve van doorharden is niet nodig.
De installatie is voor iedere processtap voorzien van beveiligingen. Wanneer zich een hapering voordoet wordt gestopt en een melding doorgegeven. Bij foutieve vorming van een of meer lagen is het mogelijke deze af te frezen en opnieuw te vormen.
De maximale bruto afmetingen van het met de Solider te vormen model moeten passen in een blok van 500 x 350 x 500 mm.
De investering is vergelijkbaar met die voor een uitgebreid CNC-vijfassig bewerkingscentrum met overeenkomstige volumecapaciteit.

Vervolgtraject

Zowel met LOM, SL als met Cubital worden driedimensionale produktmodellen verkregen, waarmee het ontwerp op velerlei facetten in een vroeg stadium van de ontwikkeling kan worden gecontroleerd. Zoals spuitgietbaarheid en eventuele matrijsproblemen of gietbaarheid in metaal met behulp van schaalvorm of matrijs Maar ook de monteerbaarheid, in het bijzonder op montagemachines, kan reeds worden beoordeeld. Met LOM zijn modellen te maken met een nauwkeurigheid van circa 0,2 mm. Met een verbeterde tafelgeleiding is zelfs 0,1 mm te bereiken Ofschoon het procédé zeer geschikt is voor produktmodellen met wat zwaardere wanddikten of massieve delen, is het toch ook mogelijk wanddikten van enkele mm, tot zelfs 1 mm, te realiseren.
De met LOM geproduceerde modellen zijn zeer goed te gebruiken als model voor gietvormen in vacuum vormproces of (gedeelde) schaalvorm. Ook zijn met LOM , rekening houdend met de dikte van het te vormen plaatmateriaal, zeer goed mallen te maken voor het vacuümvormen van kunststofplaat. Zelfs voor het hydrocell-persen van dunne metaalplaat. En natuurlijk ook voor het maken van glas- of grafietvezelversterkte polyesters of epoxyprodukten Tenslotte leent deze techniek, mede door het trekvrije houtachtige produkt, ook voor controlemallen.
De kunststof gebruikt voor een SL- of Cubital-model maakt dat dit minder geschikt is voor mechanische beproeving of veiligheidstests en certificatie (bijvoorbeeld KEMA). Met het verkregen model laten zich echter goed matrijzen in siliconenrubber maken. Daarmede laten zich prototypen repliceren in bijvoorbeeld polyurethaan harsen. Deze harsen zijn in verschillende kwaliteiten van hardheid en slagvastheid respectievelijk elasticiteit verkrijgen om de eigenschappen van het materiaal van het uiteindelijke serieprodukt zo goed mogelijk te simuleren. Ze kunnen bovendien worden ingekleurd respectievelijk in kleur worden gelakt om aldus een proefserie te vervaardigen die later in seriefabricage in kunststof wordt uitgevoerd.
Siliconenrubber-matrijzen kunnen ook, voor kleine aantallen prototypen (5 à 10), worden gebruikt voor het spuitgieten van polystyreen, ABS of PA; een verwerkingstemperatuur tot maximaal 270°C is daarbij toelaatbaar. Deze prototypen zijn te gebruiken voor duurproeven, valproeven en eventueel keuringen. (PI-Engineering noemt deze werkwijze "Speedmould".)



Figuur 8 SL-model voor Quickcast

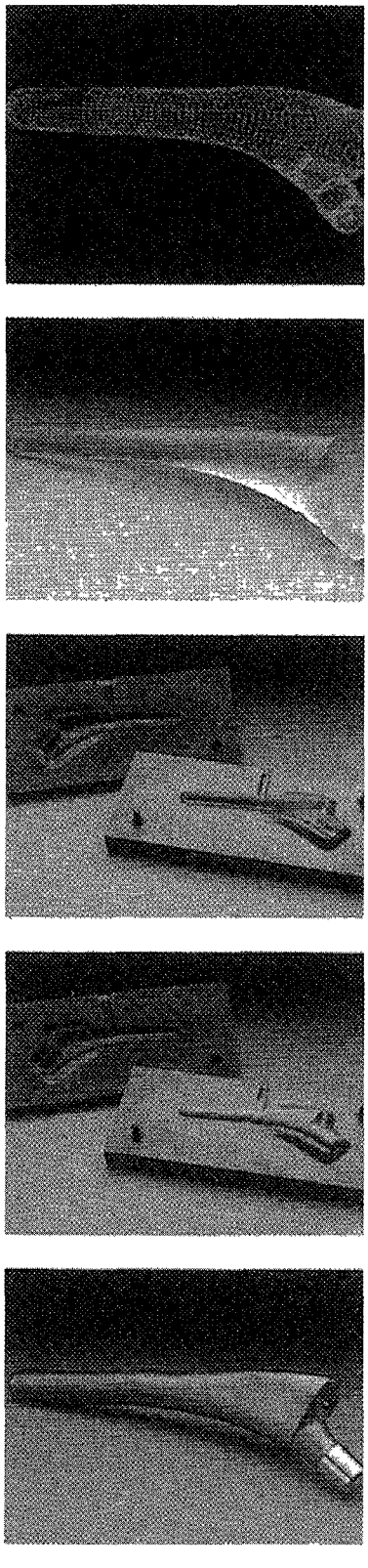


Figuur 9 Gegoten spruitstuk en LOM gietmodel (er is apart een kern gemaakt met behulp van een negatief model van het binnenoppervlak)

Dezelfde procedure met siliconenrubber-matrijzen laat zich uiteraard ook toepassen als vervolg op de creatie van een produktmodel in LOM.
Ook kunnen met behulp van het model afgegoten siliconenrubber-matrijzen modellen in was worden gegoten die kunnen dienen als verloren model voor het schaalvormgieten van metalen. Dit levert veel sneller prototypen in metaal dan wanneer eerst een metalen wasmodelmatrijs moet worden vervaardigd.
De fabrikant van SL, 3D-Systems, propageert Quickcast. Hierbij wordt een keramische schaalvorm direct op een SL-model gevormd en het model daarna uitgestookt. Met acrylaatharsmodellen gaat dit niet, wel echter met sommige epoxyharskwaliteiten. Het procédé is echter zeer kritisch; zie [1]. Het uitstoken van het model vraagt bijzondere zorg. Om de mechanische en thermische belasting op de schaalvorm (door uitzetting) te beperken en het verdampen te bevorderen, wordt het SL-model dunwandig uitgevoerd en de grotere wanddikten in een honingraatpatroon. Hieruit wordt de ingesloten polymeer gedraineerd, zodat de hoeveelheid materiaal die moet worden uitgestookt tot een minimum beperkt blijft, zie figuur 8.
Prototypefabricage en proefseries zijn met behulp van deze op de snelle modelvorming aansluitende technieken snel te realiseren. Daarbij vervullen LOM, SL of Cubital een belangrijke eerste stap. Vergeleken met traditionele methoden van proefmatrijzenbouw is een veel kortere doorlooptijd te bereiken.

Voor- en nadelen, mogelijkheden en beperkingen

Een LOM-installatie is relatief eenvoudig en wordt bestuurd met een PC-achtige computer. Het produkt vergt geen nabehandeling, is stevig en behoeft geen reiniging. De benodigde nabewerking is beperkt tot eventueel gladschuren en het aanbrengen van een laklaag tegen vochtopname. Ook vervorming door inwendige spanningen is afwezig. Additionele ondersteuning van delen van het produkt is niet aan de orde.
SL heeft eveneens als voordeel dat het proces in een relatief eenvoudige installatie wordt uitgevoerd. Een beperking is dat overkragende of losliggende delen van een doorsnede ondersteuning vereisen door een te genereren hulpconstructie. Deze moet later verwijderd worden. Grotere wanddikten van het model laten zich alleen genereren ten koste van een langere bewerkingstijd door de laser. Eventuele ingesloten vloeibaar gebleven hars moet later bij verhoogde temperatuur worden uitgehard in een oven waardoor krimp kan optreden met spanningen of vervorming van het model als gevolg.
Het Cubital-proces vergt een relatief gecompliceerde installatie, die overigens een grote betrouwbaarheid heeft verworven. Per laag wordt de hele doorsnede van de wanden van het produkt in één keer uitgehard, er is geen ingesloten vloeibare hars die later zou moeten worden uitgehard, waardoor er geen krimpproblemen zijn. Het proces is aanmerkelijk sneller dan SL, zeker een factor 4 à 5. De laagdikte is door het vlak nafrezen nauwkeuriger, de resolutie van de contour tenminste net zo goed. Door de opvulling met was is het genereren van ondersteuning niet nodig. Wel moet de was na gereedkomen worden verwijderd.
Bij alle drie procédés is de laagstructuur in de oppervlakruwheid terug te vinden. De mate waarin is uiteraard afhankelijk van de gekozen laagdikte, die anderzijds weer de doorlooptijd beïnvloedt.
Voor modellen waarbij een zeer glad oppervlak gewenst is, zoals bijvoorbeeld voor zichtmodellen of een commerciële proefserie (te realiseren door replicatie) is schuren, en/of plamuren noodzakelijk. Indien hoge vormnauwkeurigheid gewenst is, is CNC-nafrezen een optie, wat relatief snel uitvoerbaar is omdat slechts zeer weinig materiaal behoeft te worden verwijderd. Wel is het noodzakelijk het model met een kleinere materiaaltoegift te genereren.
Uitgaande van een produktontwerp gemaakt met bijvoorbeeld een Computer Vision CAD-systeem, is het met Cubital mogelijk een siliconenrubber-matrijs in een dag te realiseren. Met SL kost dit wat meer tijd, het blijft echter niettemin veel sneller dan met de traditionele werkwijzen.
Ook bij LOM is de doorlooptijd kort. Zo vermeldt Invemo voor een mal voor het vervaardigen van vezelversterkt epoxy-kabelkanaal van tamelijk gecompliceerde vorm, grondvlak 240 x

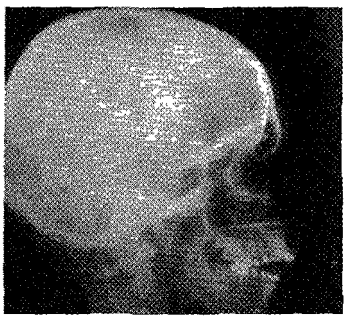


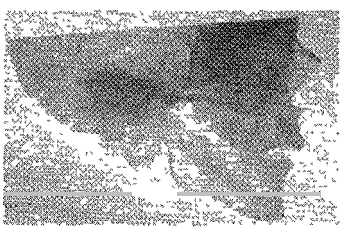
Figuur 10 Heupgewricht-implantaat
a) CAB modelontwerp,
b) SL-model,
c) Siliconenmatrijs (helft),
d) wasmodel,
e) gelegeerd titanium implantaat

320 mm en totale hoogte 105 mm, een benodigde materialiseertijd van 32 uur, waarna nabewerking nog 6 uur vergde. Bij alle drie procédés kunnen op de produkttafel een aantal exemplaren van een kleiner model, indien passend in het beschikbare maximale volume, tegelijkertijd gegenereerd worden, of een aantal al dan niet bij elkaar behorende onderdelen.

Toepassingen en resultaten

Zowel LOM, Cubital als SL sluiten uitstekend aan bij het computer ondersteund ontwerpen van produkten met beperkte afmetingen. LOM vindt in Europa vooral toepassing in ontwikkelingswerk voor de automobielindustrie en leent zich in het bijzonder voor modellen van wat grotere produkten die in de uiteindelijke produktie worden gegoten in metaal Zoals in- en uitlaat spruitstukken, motorblokken, stuurhuis, enzovoort; zie figuur 1c en 9. Maar ook voor grotere produkten die uiteindelijk in kunststof worden uitgevoerd
SL en Cubital vinden toepassing in de ontwikkeling van produkten die uiteindelijk eveneens in grote serie of in massa worden geproduceerd. Zoals lichtornamenten, consumentenelektronica, onderdelen en accessoires voor auto's, produkten voor persoonlijke verzorging en huishoudelijke accessoires.
SL leent zich, evenals Cubital, in het bijzonder voor produkten met dunne tot zeer dunne wanden die in kunststof zullen worden geproduceerd of in spuitgietwerk.
Voor alle bovengenoemde produkten is snelle ontwikkeling steeds meer een noodzaak door de sterk toegenomen competitie in de markt.
De beschreven snelle technieken voor het realiseren van modellen en prototypen leveren in het ontwikkelingstraject een tijdwinst met een factor 3 tot 5. Ten eerste door de veel snellere realisatie van modellen en prototypen zelf. Ten tweede doordat in een veel vroeger stadium van de ontwikkeling vergissingen, fouten en produktieproblemen aan het licht komen; hetgeen resulteert in veel minder wijzigingen in een later stadium. En daarmee wordt bovendien voor die nieuwe produkten een hoger kwaliteitsniveau bereikt.
Ook voor de commerciële activiteiten


a


b

c

d

Figuur 11 SL studie model voor Maxillo-faciaalchirurgie
a) De patiënt had problemen met het sluiten van de mond In de CT-scan is duidelijk te zien hoe de achterste kiezen volledig op elkaar zitten terwijl de snijtanden vooraan nog een grote opening vertonen
b) Deze foto toont het model dat op basis van CT-scans gemaakt werd met de CT-modeller software en SL Dit model gaf de chirurg een erg duidelijk beeld van de situatie Aan de hand hiervan kon de ingreep voorbereid worden
c) Op het model werden titanium plaatjes geplooid om de nieuwe vorm van de bovenkaak te fixeren
d) De onderkaak werd gefixeerd met titaniumschroeven die achteraf niet verwijderd werden, zoals op de radiografie van de toestand na de operatie is te zien Het gebit kan nu normaal gesloten worden

ten behoeve van een nieuw produkt is het snel beschikbaar zijn van zichtmodellen en prototypen op ware grootte voor beoordeling en marktonderzoek een belangrijke ondersteuning.
Daarnaast zijn echter de beschreven technieken ook zeer effectief voor het snel realiseren van eenmalige produkten of produkten in zéér kleine series.
Verder heeft vooral SL bewezen ook voor de voorbereiding en ondersteuning van chirurgie aan botten en andere skeletdelen een belangrijke bijdrage te kunnen leveren door het snel kunnen vervaardigen van 3D-modellen ten behoeve van voorstudie; zie figuur 10 en 11. Voor zulke modellen worden de contourgegevens ontleend aan een CT (Computer Tomographic)-scan. Aansluitend is de mogelijkheid tot snelle vervaardiging van implantaten op maat zeer succesvol.
In verband met dit hoofdstuk is het interessant te weten dat een aantal jaren geleden bij de Instrumentele Groep Fysica van de Universiteit Utrecht op een eenvoudige wijze een model van een onderkaak gemaakt werd. Ook toen is gekozen voor een laagsgewijze opbouw. De lagen werden gemaakt van dun karton. De contouren, die ook ontleend waren aan een CT-scan, zijn op een CNC-machine met een graveerfreesje gefreesd De juiste stapeling werd verkregen met behulp van referentiegaten.

Slotbeschouwing

Naast de drie beschreven snelle prototype-technieken zijn er nog verschillende andere ontwikkeld of nog in ontwikkeling. Zowel gebaseerd op het gelaagd opbouwen als op een punt voor punt opbouwen respectievelijk via holografische oppervlaktebeschrijving. Een schematisch overzicht is te vinden in [2].
Enige bekendheid hebben SLS (Selective Laser Sintering) en Stratasys/Fused Deposition Modelling.
SL heeft onder andere een drietal Japanse concurrenten en nog enige in de USA.
In kader 2 wordt een, niet volledig, overzicht gegeven van bedrijven die een van de beschreven drie technieken in huis hebben en toepassen.
Het is opvallend dat in het laatste decennium aan de door velen gevoelde

Bedrijven in Europa die Rapid Modelling Systemen gebruiken (deze lijst heeft niet de pretentie volledig te zijn).

LOM:
- Invenio GmbH. Marktstrasse 2-4, D-65428 Rüsselsheim (D)
  Dit bedrijf heeft vestigingen in onder andere USA, Polen en Australie
- A D.F. Model- en vormmakerij (Modelage NV) - SA Antwerpen (B)
- Philips Nat Lab. (Centrale Werkplaatsen) Eindhoven
- Gommans Modelmakerij Tegelen

SL:
- Philips Consumer Electronics Ontw Wpl., Eindhoven
- Materialise NV, Kapeldreef 60, B-3001 Heverlee (Leuven)
  N B.: Dit bedrijf ontwikkelt en levert ook software, bewerkingsprogramma's voor SL
- CRIF - Materiaux, Liège (B)
- Danish Technological Institute, Technologiparken, DK-8000 Aarhus
- Kegelmann Technik GmbH, Hanauer Landstrasse 208-216, D-6000 Frankfurt/M1
- Diverse grote bedrijven in de Duitse automobielindustrie
- Zumtobel Licht GmbH, Oostenrijk
- SNECMA, Sociéte National d' Etude et Construction des Moteurs d' Aviation, Frankrijk

Cubital:
- PI-Engineering, Atealaan 65 B-2200 Herentals (B)
  (Nederlandse vertegenwoordiging MIC, Amsterdam) Dit bedrijf is gespecialiseerd in snelle prototypefabricage in kleine aantallen.
- Schneider Prototyping, Dresden (D)
- Weidmann, Zwitserland
- EOS, Italiè
- SENTET, Noorwegen
- CTTM (Universiteit), Le Mans (F).

behoefte aan Rapid Modelling door verschillende concepten is getracht te voldoen, waarvan een aantal met succes. Zoals vaker in de technische geschiedenis geldt ook hier weer: "it's in the air"!

Literatuur

[1] Toepassing van stereolithografische modellen in nulseries, M Bliek, Materialise NV Leuven, Mikroniek jaargang 31(1991)6
[2] Rapid Prototyping, Ir B van der Schueren, KU Leuven (Themadag Mikrocentrum), Kunststof en Rubber (1994)8 en Themadag-naslagwerk Mikrocentrum Nederland, Eindhoven
[3] Rapid Prototyping - Bedarf und Potentiale, Wilfried König c s , VDI-Z Fertigungstechnik 135(1993)8 August
[4] Rapid Prototyping met Cubital - Begin of Einde?, Chr Muller, MIC Nederland B V Breukelen, Kunststof en Rubber (1992)9
[5] Vormen opbouwen met Solider opgroeien, Ing J L C Wijers, Metaal & Kunststof (1992)25

De auteur dankt de heren E Advocaat (MIC), H Deroost (PI Engineering), W Vancraen en M Bliek (Materialise) en R Maschkowski (Invenio) voor hun informatieve bijdragen

NVPT, vereniging voor precisie-technologie.

De NVPT is een vereniging van technici die hoogwaardige professionele apparatuur ontwerpen, ontwikkelen of fabriceren. Het betreft zowel consumenten- als kapitaalgoederen. Door integratie van technieken als mechanica, optica, elektronica en glastechniek ontwikkelen zij steeds nieuwe, geavanceerde produkten.

- De NVPT stimuleert de onderlinge contacten en informeert haar leden over ontwikkelingen in het vakgebied door regionale bijeenkomsten, cursussen, symposia en publikaties in Mikroniek.
- Bij deelname aan de **Mikropool** worden moeilijk (in kleine hoeveelheden) verkrijgbare materialen en specialistische bewerkings-technologieën uitgewisseld.
- NVPT-leden krijgen korting op de door de NVPT georganiseerde activiteiten, evenals op de activiteiten van andere verenigingen waarmee de NVPT een samenwerkingsovereenkomst heeft.

Inlichtingen:
Secretariaat NVPT, Postbus 6367, 5600 HJ Eindhoven, tel.: 040 – 473 659 fax: 040 – 460 645.