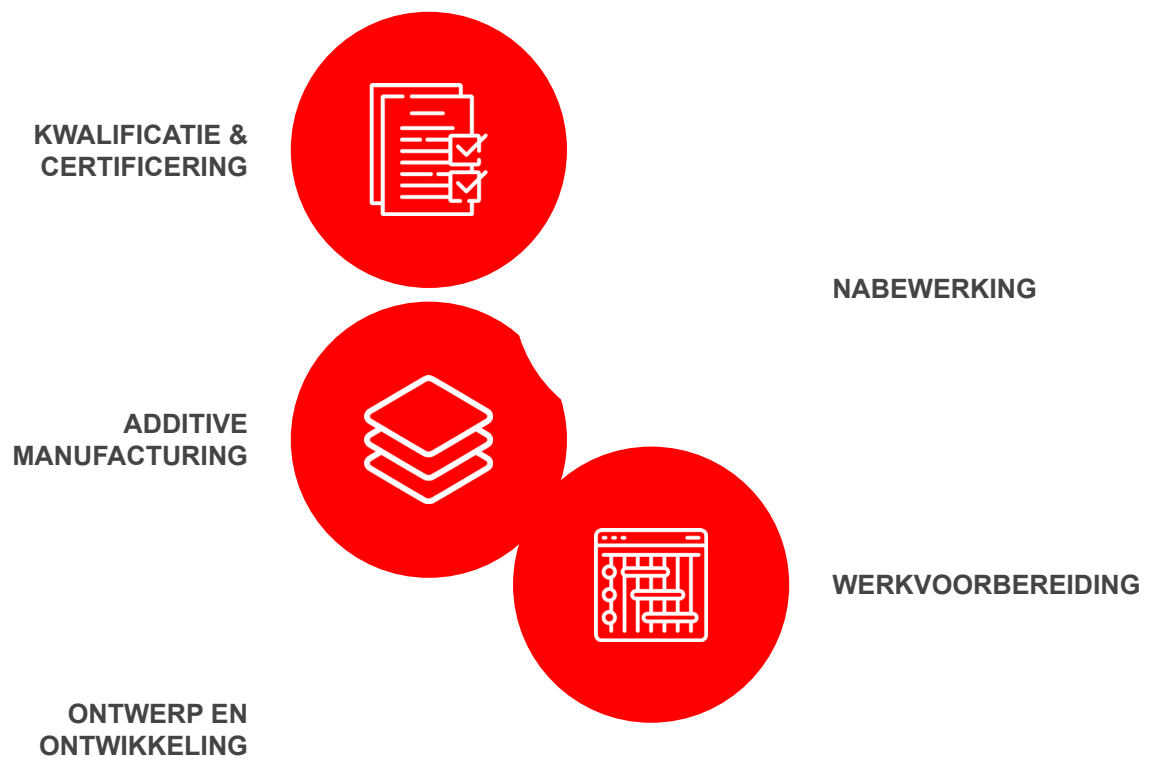


UNIVERSITY
OF TWENTE.

FRAUNHOFER
INNOVATION PLATFORM
FOR ADVANCED MANUFACTURING

GEÏNTEGREERDE OPLOSSINGEN





INHOUD

ADDITIVE MANUFACTURING

Inleiding	5
Kansen	7

PROCESKETEN

Procesketen	9
Ontwerp en ontwikkeling	11
Het additieve productieproces	14
Nabewerking	17
Kwalificatie en certificering	19

ONZE AM-TECHNOLOGIEËN

Overzicht	21
Poederbedfusie	22
Laseroplassen (LMD)	23

ONZE METHODE **25**

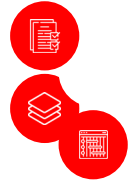
CASESTUDY'S

3D2SKY	27
Ondersteunende structuren ter verbetering van de nabewerking	29
OpenHybrid	31
Geavanceerde poreuze structuren	33

OVER ONS **34**

HET TECHNOLOGISCHE PERSPECTIEF CLASSIFICATIE NAAR TOEPASSING

TOEPASSING	CONCEPTMODEL	FUNCTIONEEL MODEL	PROTOTYPING TOOL	GEREEDSCHAP	PRODUCTIE
KWALITEIT VAN PRODUCT-EIGENSCHAPPEN					
MATERIALEN	Polymeer	Polymeer Metaal	Polymeer Metaal Zand	Polymeer Metaal	Polymeer Metaal Keramik
ADDITIEVE PRODUCTIECH-NOLOGIEËN	Material Jetting	Material Jetting	Material Jetting	Material Jetting	Material Jetting
	Material Extrusion	Material Extrusion	Material Extrusion	Material Extrusion	Material Extrusion
	Photopolymerization	Photopolymerization	Photopolymerization	Photopolymerization	Photopolymerization
	Power Bed Fusion	Power Bed Fusion	Power Bed Fusion	Power Bed Fusion	Power Bed Fusion
	Binder Jetting Direct Energy Deposition ...	Binder Jetting Direct Energy Deposition ...	Binder Jetting Direct Energy Deposition ...	Binder Jetting Direct Energy Deposition ...	Binder Jetting Direct Energy Deposition ...
VOORBEELD-ONDERDELEN	 Prototype Mobielhoesje	 Prototype Versnellingsbak	 Model voor Matrijs	 spuitgietmatrijs	 Prothese, Gehoorapparaat



ADDITIVE MANUFACTURING

INLEIDING

Het lijkt voor sommigen van ons misschien onvoorstelbaar, maar de technologie achter layer-based Additive Manufacturing (AM, in de volksmond ook wel 3D-printen genoemd) is al meer dan een kwart eeuw commercieel beschikbaar. AM begon in een aantal onderzoekslaboratoria en is inmiddels uitgegroeid tot een belangrijke groep productietechnologieën, die een verrijking vormen voor de industriële productie. Additive Manufacturing kende de afgelopen vijf jaar een samengesteld jaarlijks groeipercentage (CAGR) van bijna 30%.

Het is een fascinerend idee om te beseffen dat we de op onze computers gemaakte 3D-ontwerpen kunnen overzetten naar een machine die de geometrische vorm één op één kan omzetten in een fysiek object. En dat allemaal zonder dat we ons druk hoeven te maken over de manier waarop en de volgorde waarin elk geometrisch kenmerk gemaakt gaat worden.

Door veel industrieën wordt al vele jaren nuttig gebruik gemaakt van AM. Hightech industrieën, zoals de lucht- en ruimtevaart, maken dankbaar gebruik van de vormvrijheid, die hen in staat stelt om lichte, hoogwaardige componenten te maken, waarvan er al veel zijn verwerkt in geavanceerde luchtvaartmotoren en voertuigen.

Industrieën die in grote hoeveelheden produceren, zoals de automobiëlindustrie, hebben baat bij AM, omdat zij zo sneller vorm kunnen geven aan prototypen van hun modellen en hun producten daardoor ook sneller op de markt kunnen brengen. Medische bedrijven hechten er grote waarde aan dat zij – met behulp van AM – patiëntspecifieke gegevens kunnen converteren naar op maat gemaakte producten en medische interventies kunnen uitvoeren.

De AM-technologie is het meest bekend van de instapmodellen van 3D-polymeerprinters, die tegenwoordig voor slechts een paar honderd euro te koop zijn. Deze technologie vormt een stimulans voor een nieuwe generatie innovators om oplossingen voor praktische problemen te bedenken. Er zijn echter ook andere AM-technologieën, die minder zichtbaar aanwezig zijn voor het publiek. Deze zijn vaak duurder, maar ook sneller en nauwkeuriger, en maken gebruik van betere en meer gevarieerde materialen, zoals metalen en keramiek. Deze technologieën kunnen in de praktijk worden ingezet als nieuwe industriële productieapparatuur en moeten worden geïntegreerd in efficiënte procesketens met verdere voor- en nabewerkingsstappen.

Geweldig, dat is zeker – maar wat betekent dat voor u?

BELANGRIJKSTE DIFFERENTIATIECRITERIA VOOR AM-TECHNOLOGIE



ONTWERPVRIJHEID

Lichtgewicht

- » Statisch: gewicht van onderdelen
- » Dynamisch: efficiënte versnelling van onderdelen

Complexe onderdelen:

- » Bijv. alternatieve structuren voor warmtewisselaars



KOSTENVOORDEEL

Geïntegreerde functionaliteit

- » Integrale functionaliteit zonder assemblage



MAATWERK

Klantspecifieke onderdelen

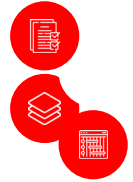
- » Aanpassingen per klant
- » Kostenefficiënt kleine series tot enkelstuks



TIME-TO-MARKET

Rapid prototyping

- » Snelle haalbaarheidsfeedback van virtuele modellen
- » Tastbare feedback



ADDITIVE MANUFACTURING

KANSEN

Additive Manufacturing biedt potentiële oplossingen op het moment dat de conventionele productieprocessen tegen hun technologische grenzen aanlopen. We moeten dan vooral denken aan de hoge mate van ontwerpvrijheid, het ontwerp van lichtgewicht componenten, functionele integratie en het snel ontwikkelen van prototypen. Het is dan ook geen verrassing dat AM steeds vaker wordt gebruikt in de industriële productie. Technologieën zoals poederbedfusie zijn daarbij bijzonder populair.

Nieuwe technologieën zoals AM brengen ook nieuwe onderzoeksuitdagingen met zich mee. Met het oog op de toekomst is het van essentieel belang dat er criteria worden vastgesteld en stappen worden beschreven waarmee de reikwijdte van deze technologie wordt vergroot, terwijl tegelijkertijd de kosten en productietijd worden gereduceerd. Het bereik en de complexiteit van de verschillende technologieën is enorm. Het is voor bedrijven, ongeacht hun omvang, dan ook niet gemakkelijk om op de hoogte te blijven van alle nieuwe ontwikkelingen.

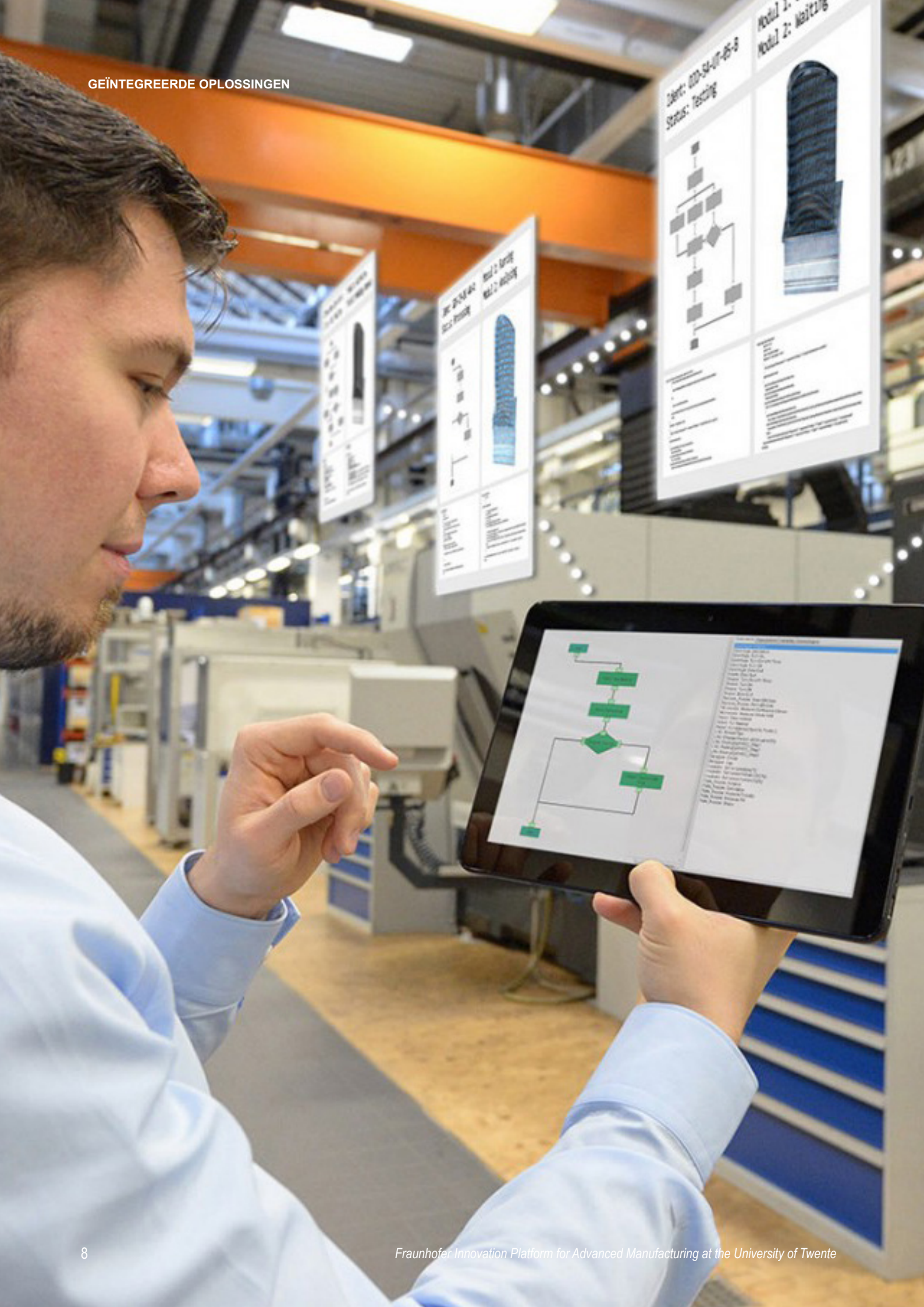
Op dat punt biedt het Fraunhofer Innovation Platform at the University of Twente deskundige ondersteuning. De basis hiervoor wordt gevormd door jarenlange ervaring en breed georiënteerd onderzoek. Het centrum ontwikkelt systeemoplossingen voor adaptieve productie en biedt geïntegreerde oplossingen voor bedrijven, leveranciers en klanten. Het uiteindelijke doel hiervan is om AM-technologieën begrijpelijker en toegankelijker te maken voor alle bedrijfstakken.

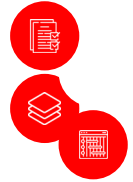
Er zijn heel veel redenen te bedenken waarom concurrerende bedrijven Additive Manufacturing zouden moeten gaan gebruiken. Dit is met name het geval als het gebruik hiervan:

- » Voldoende extra waarde toevoegt aan een product om de extra productiekosten te kunnen verantwoorden,
- » De kosten voor productontwikkeling verlaagt,
- » De productiekosten verlaagt,
- » De kosten over de gehele waardeketen verlaagt,
- » De doorlooptijd verkort, of
- » De levenscycluskosten van een product verlaagt.

AM kan worden gebruikt om de economische, ecologische en belevingswaarde van producten te verhogen. Andere waarden zijn moeilijker te kwantificeren, maar dragen zeker bij aan de winstgevendheid. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de vrijheid om zelf onderdelen te produceren. Daardoor worden de risico's als gevolg van de afhankelijkheid van externe leveranciers verkleind en wordt de toeleveringsketen minder kwetsbaar. Ook kunnen bedrijfsgeheimen beter worden beschermd en kan piraterij gemakkelijker worden voorkomen. Aangezien er bij AM geen gebruik hoeft te worden gemaakt van gereedschap, kunnen de directe productiekosten bij een hoge mate van complexiteit en/of maatwerk en bij lage volumes worden verlaagd. In vergelijking met conventionele methoden zorgt AM ook voor een kortere doorlooptijd. Dit heeft een positief effect op de time-to-market en de time-to-profit.

In eerste instantie werd de toegevoegde waarde van Additive Manufacturing vooral gezocht in het maken van prototypen. Dat gaat in de nabije toekomst absoluut veranderen: het groeipotentieel van deze hoogwaardige technologie komt meer en meer te liggen in de directe productie. Daarbij moeten we denken aan de productie van consumentenproducten, componenten en onderdelen voor de industrie, zoals gereedschappen, machinecomponenten en andere productiehulpmiddelen.





PROCESKETEN

PROCESKETEN

Het is van belang om te beseffen dat de AM-procesketen niet begint bij de AM-machine. AM-machines zouden niet eens bestaan zonder 3D-gegevensmodellen. Die 3D-gegevens kunnen afkomstig zijn uit verschillende bronnen. Het kan zelfs zo zijn dat de procesketen, naast de CAD-modellering, ook 3D-scannen ('reverse engineering') omvat. De enige vraag die bij het printen van een 3D-model van belang is, is of het onderdeel zal passen binnen het bouwvolume. Is dat niet het geval, dan moeten de onderdelen worden opgesplitst in segmenten, die dan later kunnen worden samengevoegd. Daarna kan er een keuze worden gemaakt met betrekking tot het proces en het materiaal. Dat geldt eveneens voor sommige bouwparameters die bepalen hoe nauwkeurig het laatste onderdeel moet zijn en hoe lang de machine erover mag doen. Over het algemeen geldt: hoe nauwkeuriger het onderdeel moet zijn, hoe langer het duurt om het te bouwen.

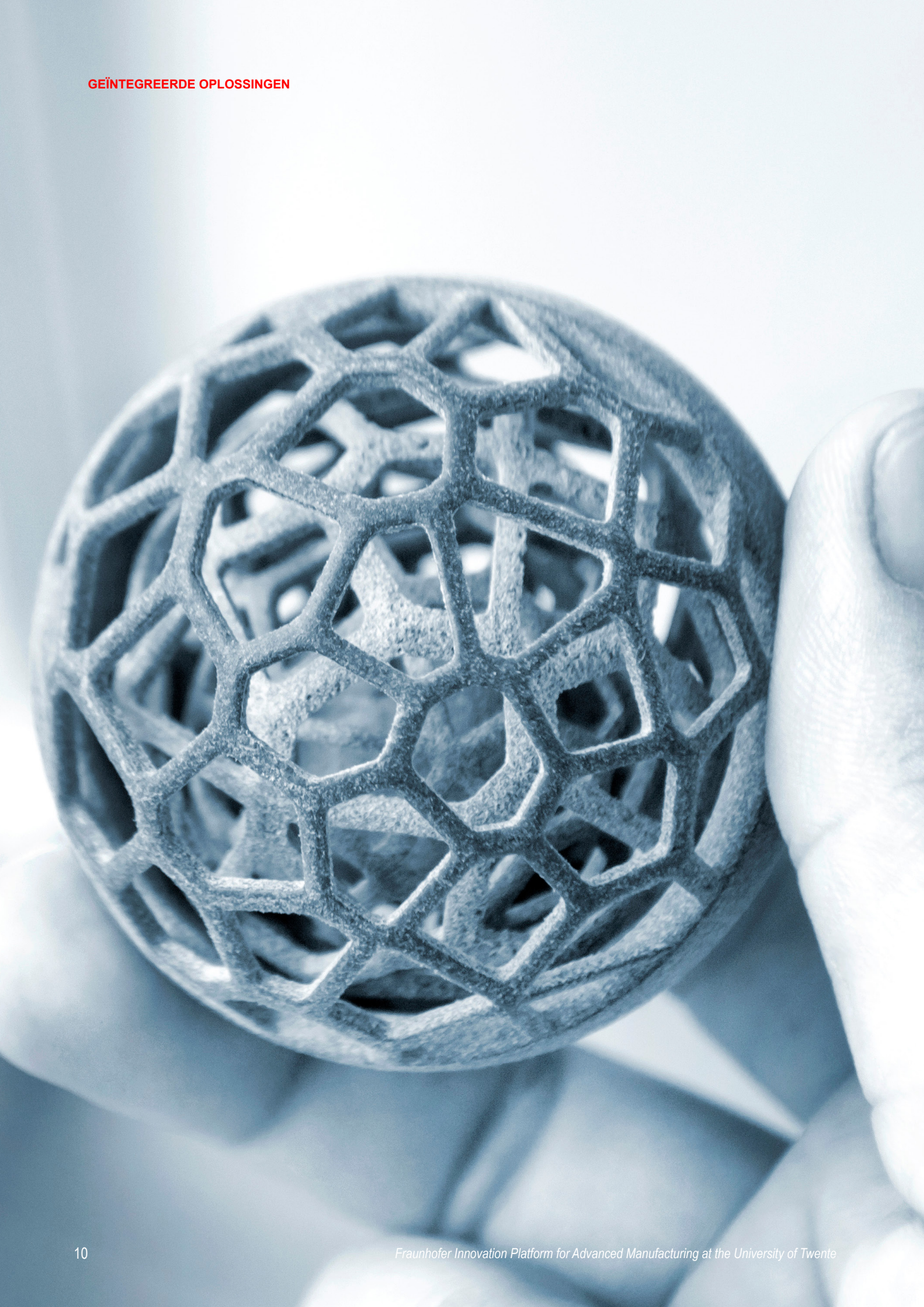
Wat vaak over het hoofd wordt gezien, is de hoeveelheid nabewerking die nodig is. Dit is in grote mate afhankelijk van het product. Voor sommige toepassingen zal het onderdeel zoals dat uit de machine komt voldoende zijn. Bij andere toepassingen kan het nodig zijn dat de onderdelen worden schoongemaakt, een nauwkeurige machinale nabewerking krijgen, of dat het oppervlak wordt behandeld of gepolijst. Het is een belangrijk onderdeel van ons werk om na te gaan hoe een geschikte geïntegreerde werkomgeving kan worden opgezet die aansluit bij de toepassing. Wij helpen bedrijven de juiste technologieën te kiezen om aan de vereisten van een werkstuk te voldoen, of dit nu rechtstreeks via AM wordt gemaakt of binnen een evenwichtige procesketen waarin nog andere productietechnologieën zijn opgenomen.

De sector kan niet uitsluitend vertrouwen op de toepassing van nieuwe technologieën. Juist de combinatie van nieuwe technologieën met bestaande technologieën maakt nieuwe productfunctionaliteiten mogelijk en zorgt ervoor dat de kosten op een realistisch niveau gehouden kunnen worden. Optimalisatie van de procesketens zorgt dus voor nieuwe mogelijkheden en verkleint de kans op afval. Wij bieden adviesdiensten voor alle fasen van de levenscyclus van een product: van ontwikkeling tot productie tot proceskwalificatie.

Conventionele productie is voornamelijk gebaseerd op reeds bestaande procesketens die in de loop van verschillende decennia verder zijn verfijnd. In die context wordt het ontwerp aangepast aan de productietechnologie. Het gevolg daarvan is dat de vorm en de functionaliteit van de component op substantiële wijze worden beïnvloed door de productietechnologie. Met Additive Manufacturing is het daarentegen mogelijk om het klassieke 'design for manufacturing' te vervangen door 'manufacturing for design'.

Daarbij moet in de procesplanning worden nagedacht over de volgende vragen:

- » Aan welke kenmerken moeten de CAD-gegevens voldoen?
- » Welke simulatieresultaten zijn waardevol?
- » Welke tolerantielimieten zijn haalbaar?
- » Welke specifieke voor- en nabewerkingsprocessen zijn vereist?
- » Welke procesparameters zijn van cruciaal belang en moeten dus worden gecontroleerd?
- » Hoe groot is de partij die moet worden geproduceerd?
- » Hoe kunnen de reproduceerbaarheid en hoge kwaliteit worden gewaarborgd?





PROCESKETEN

ONTWERP EN ONTWIKKELING

Het implementeren van Additive Manufacturing begint in de ontwerpfase. Alleen als er op een functionele manier naar producten wordt gekeken, kan het volledige potentieel van AM-technologieën worden omgezet in succesvolle business cases. Veel producten kunnen verder worden ontwikkeld wanneer AM en conventionele productietechnologie op slimme wijze worden gecombineerd. De drie uitgangspunten - materiaaleigenschappen, productontwerp en productietechnologie – sluiten bij AM bijna naadloos op elkaar aan. Alle drie de componenten hebben verschillende ontwerp- of procesfactoren, die de kwaliteit van het eindproduct beïnvloeden. Bij het gebruik van additieve technologieën vormt de kennis van deze onderlinge relaties de sleutel tot een succesvolle ontwikkeling van een bepaald product.

Uiteenlopende AM-processen en uiteenlopende toepassingen vereisen ook uiteenlopende polymeren. De afgelopen jaren zijn er nieuwe polymeren speciaal voor toepassing in additieve processen ontwikkeld. Veel populaire polymeren die bij AM worden gebruikt, zijn aangepast zodat ze de juiste technische eigenschappen hebben. ABS is bijvoorbeeld een veelgebruikt amorf polymeer dat geschikt is voor het FDM-proces. Nylon is een semi-kristallijn polyamide dat vaak gebruikt wordt in SLS. Tal van polymeren worden veelvuldig toegepast bij AM. Sommige daarvan zijn gecertificeerd voor toepassing in de lucht- en ruimtevaart vanwege hun brandvertragende eigenschappen, of voor medische toepassingen vanwege de biocompatibiliteit. De laatste tijd zijn er veel nieuwe polymeersamenstellingen met versterkende vezels ontwikkeld. Deze zijn

extra sterk en duurzaam, zodat ze onder extremere omstandigheden kunnen worden toegepast bij de directe vervaardiging van professionele producten.

Metaalpoeders zijn geschikt voor directe toepassing bij AM, maar werden tot nu toe – in de meeste gevallen – nog niet speciaal ontwikkeld voor het AM-proces. De meest gebruikte metalen bij AM zijn staal, titanium, kobalt-chroom en aluminiumlegeringen. Al deze materialen worden breed toegepast in de diverse verwerkende industrieën. De ontwikkelingen hebben zich voornamelijk toegespitst op het afstemmen van de componenten van de legering, zodat deze geschikt worden voor laserbewerkingen, het ontwikkelen van bolvormige deeltjes en het reduceren van de productiekosten. Nu additieve productie van metalen steeds populairder wordt, valt te verwachten dat de reeks legeringen die speciaal voor AM zijn ontwikkeld, zal worden uitgebreid met hoogwaardig staal, magnesium, wolfram en andere exotische legeringen en metaal-matrixcomposieten.

AM biedt ontwerpers een grote mate van vrijheid, omdat zij veel minder rekening hoeven te houden met eventuele productiebeperkingen. Topologie-optimalisatie is het proces waarbij de vorm van onderdelen wordt geminimaliseerd, waardoor deze alleen geschikt zijn voor de functie waarvoor ze zijn bedoeld. Deze methode heeft gewoonlijk zeer complexe structuren als resultaat, met elementen die niet op conventionele wijze kunnen worden vervaardigd zonder ze op te splitsen in subcomponenten. Dergelijke vormen worden automatisch gegenereerd

door complexe softwaresystemen die gebruik maken van analytische tools om te bepalen of er materiaal nodig is binnen de grenzen van de toepassing. De vormvrijheid die doorgaans met AM wordt geassocieerd, is veel beter geschikt voor het creëren van topologisch geoptimaliseerde structuren. Bovendien is het mogelijk om inkapselingen, ondersnijdingen, honingraatkernen, dieptrekvormen en andere moeilijk te vervaardigen elementen te maken, zodat onderdelen uit één stuk kunnen worden vervaardigd. Hierdoor wordt het aantal onderdelen aanzienlijk

verkleind en neemt de betrouwbaarheid toe. Andere ontwerpvoordelen van AM zijn de mogelijkheid om geïntegreerde scharnieren, maasstructuren en overlappende elementen te realiseren en mechanische eigenschappen met gelokaliseerde mechanische reacties te integreren. Dat heeft tot gevolg dat onderdelen zich na verloop van tijd – afhankelijk van de vindingrijkheid van de ontwerper – op vooraf gedefinieerde wijze kunnen gaan gedragen. Daarom is hiervoor de term '4D printing' bedacht.





PROCESKETEN

HET ADDITIEVE PRODUCTIEPROCES (ENG)

Additive Manufacturing is de verzamelnaam voor een groot aantal verschillende technologieën. Voor al deze verschillende technologieën worden ook weer verschillende machines gebouwd waarmee voornamelijk polymeer- of metalen onderdelen kunnen worden vervaardigd. Deze technologieën kunnen verder worden onderverdeeld in

generieke terminologie, zoals die terminologie die wordt gebruikt voor de toegepaste methode (zoals gedefinieerd door ISO/ASTM), de manier waarop de fysieke lagen worden gecreëerd voor elk van deze methoden en vervolgens commerciële voorbeeldterminologieën die gebruik maken van een bepaalde methode.

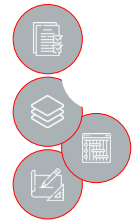


De meest gebruikte methode voor het printen van metalen is poederbedfusie. Er zijn ongeveer 20 verschillende bedrijven die oplossingen bieden waarbij deze methode wordt gebruikt. De meest voorkomende polymeer-printmethode is materiaalextrusie. Deze wordt, vanwege de lage instapkosten, ook veel gebruikt door hobbyisten. Commerciële gebruikers

zullen vaker de voorkeur geven aan methoden die een hogere snelheid, een hogere mate van nauwkeurigheid of betere materiaaleigenschappen bieden.







PROCESKETEN

NABEWERKING

De nabewerking van AM-onderdelen verdient veel meer aandacht dan nu het geval is. Veel industriële componenten die via AM worden gemaakt, zijn nog niet direct klaar voor gebruik. De vorm en de mate van nabewerking maken het onderdeel uiteindelijk geschikt voor de beoogde toepassing. Er zijn op dit moment echter nog niet veel geautomatiseerde afwerkingstechnologieën beschikbaar. Vaak vergt het een aanzienlijke hoeveelheid tijd, moeite en vaardigheid om een gewenst resultaat van hoge kwaliteit te bereiken. Bijna elk bedrijf zal unieke vereisten en andere middelen voor nabewerking hebben. Het is daarom van belang om veel tijd te besteden aan het bepalen van de beste methode om AM te integreren in een goede procesketen, met inbegrip van nabewerking.

Een groot nadeel van AM is dat de geproduceerde onderdelen normaliter, als gevolg van de laagsgewijze opbouw, een ongewenste oppervlaktetextuur hebben die vooral duidelijk zichtbaar is op gebogen en schuine oppervlakken. Als gevolg van de heterogene aard van AM kan deze textuur verschillen vertonen op het oppervlak van onderdelen met een complexe vorm. Onderdelen kunnen details bevatten die zorgvuldige aandacht

vereisen, maar ook robuustere elementen waarbij de afwerking wat minder verfijnd hoeft te zijn. Een evenwichtige selectie van nabewerkingstechnologieën – afhankelijk van geometrische elementen, het AM-proces en de parameters daarvan – zal het potentieel van een perfecte component op basis van AM dan ook aanzienlijk verhogen.

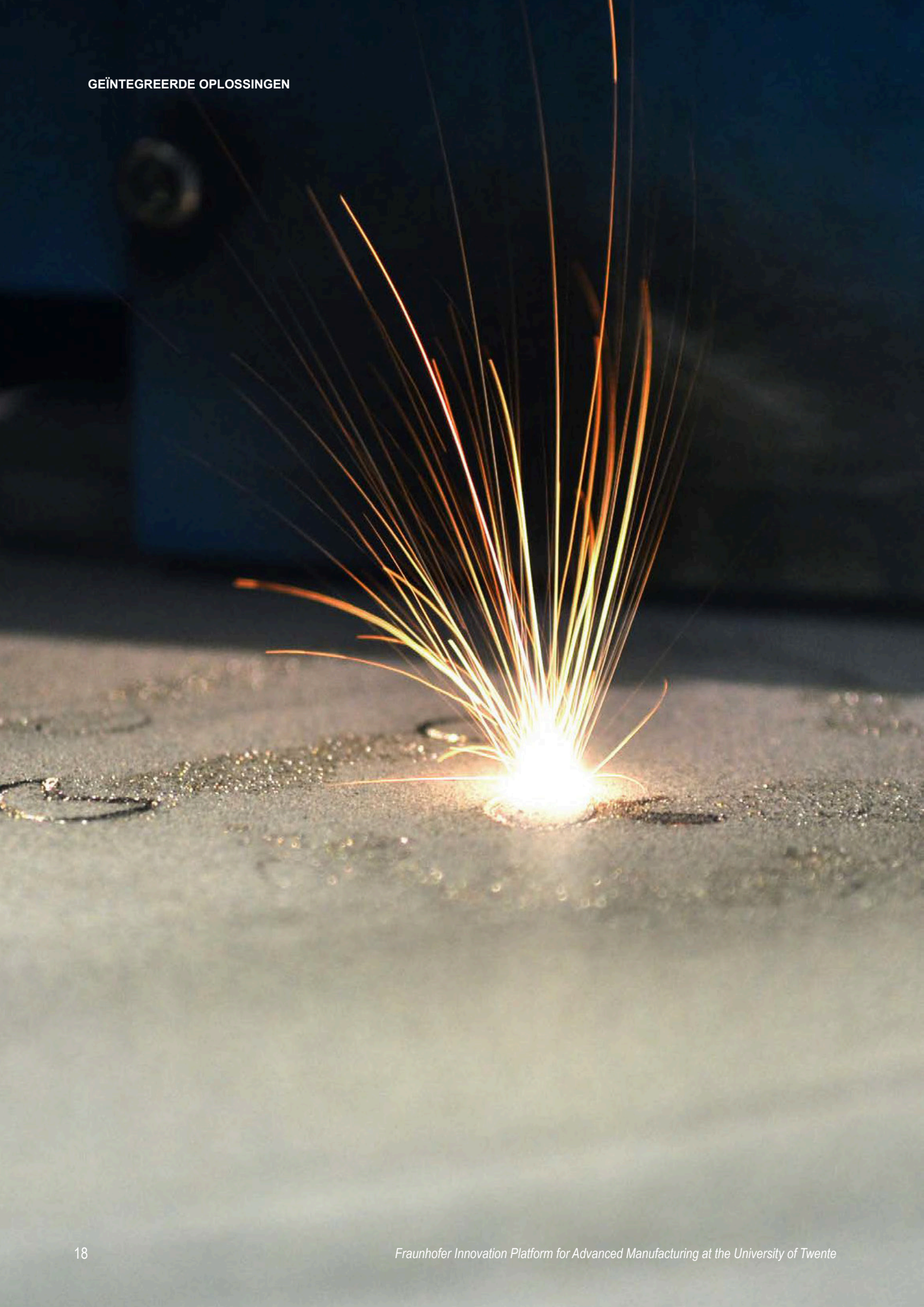
Polymeeronderdelen kunnen vrij zacht zijn en kunnen kwetsbare elementen bevatten die een zorgvuldige behandeling vereisen. Voor de afwerking zijn vaak chemische behandelingen en oppervlaktecoatings nodig. Het behoud van de nauwkeurigheid en mechanische integriteit van onderdelen kan een belangrijke vereiste zijn die mede afhankelijk kan zijn van individuele technische vaardigheden. Dit geldt weliswaar ook voor metalen onderdelen, maar daarbij ligt de nadruk meer op het waarborgen van de mechanische eigenschappen voor de toepassing. Hierdoor kan het nodig zijn om behalve in de AM-machine zelf ook te investeren in bijvoorbeeld warmtebehandelingstechnologie of trommelpolijsten voor de nabewerking.

Zorg dat u voldoet aan de vereisten voor nabewerking, anders loopt uw investering in AM mogelijk risico's!



PRODUCTIE

NABEWERKING





PROCESKETEN

KWALIFICATIE EN CERTIFICERING

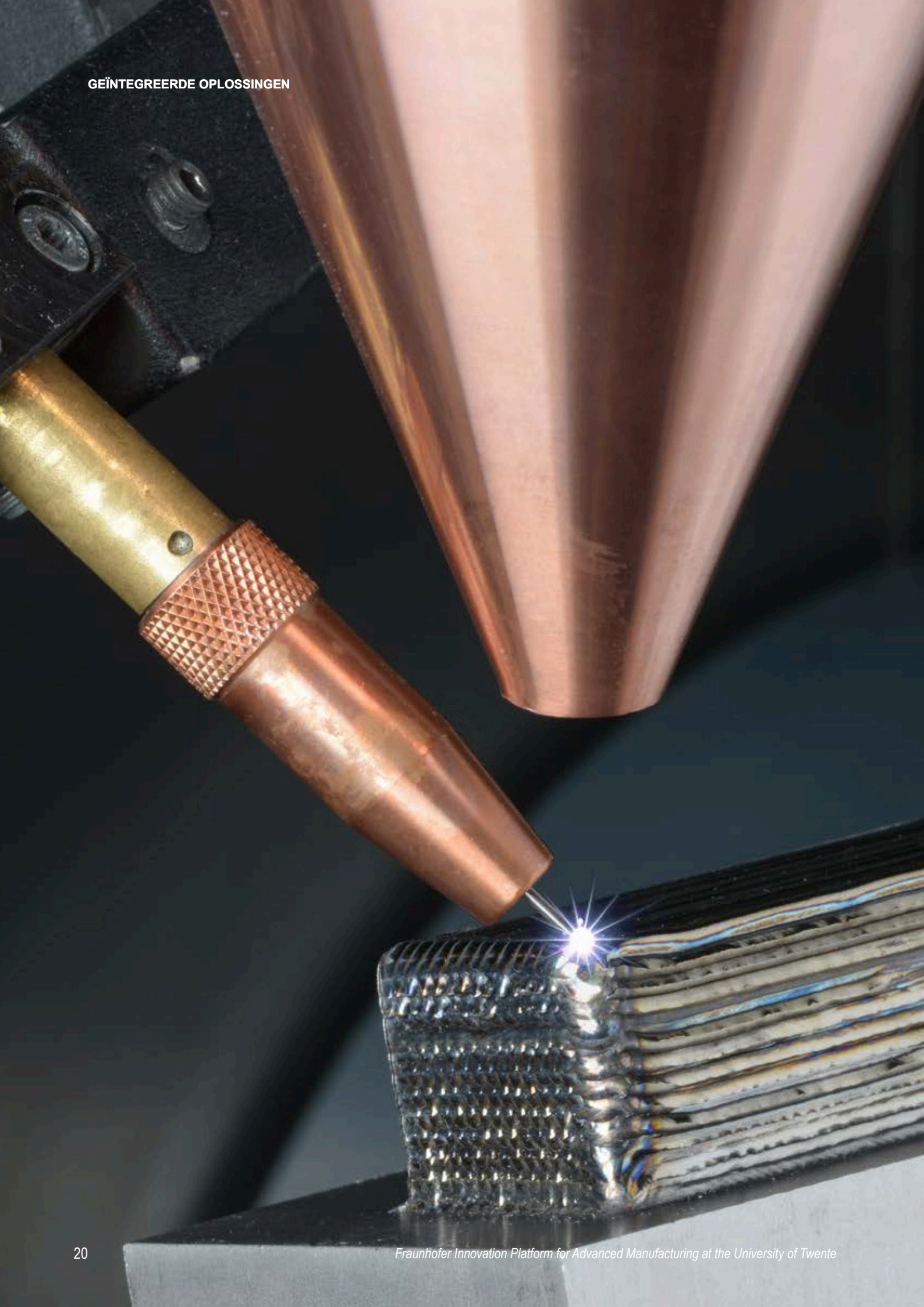
AM wordt in vele industrieën op grote schaal gebruikt. Denk hierbij onder meer aan de lucht- en ruimtevaartindustrie, de medische sector en de automotive industrie. Deze industrieën zijn sterk gereguleerd en stellen hoge eisen op het gebied van veiligheid, normen, kwaliteit en certificering. Als zich problemen met onderdelen voordoen, is het van cruciaal belang dat de fabrikant alle processen en toeleveringsketens kan traceren om zo de hoofdoorzaken te kunnen achterhalen en ervoor te zorgen dat dergelijke problemen niet voortduren. Evenals andere technologieën is ook AM onderworpen aan deze regelgeving. Het is dan ook van belang om ervoor te zorgen dat machines, materialen en processen geschikt zijn voor het beoogde doel. Bovendien moeten de technologieën worden ingebed in de standaardprocedures van het betreffende bedrijf en moet het betrokken personeel goed worden opgeleid om ze te kunnen uitvoeren.

Tegenwoordig zijn de meeste fabrikanten verplicht om partijen en zelfs afzonderlijke producten binnen het productieproces nauwlettend te volgen en te registreren, zodat te allen tijde kan worden geverifieerd welke materialen, machines, parameters en medewerkers betrokken waren. AM levert in dit verband een specifiek probleem op, omdat deze technologie vaak wordt gebruikt voor op maat gemaakte producten. Het is dus mogelijk dat een afzonderlijke component wordt beïnvloed, maar de rest van de partij niet. Een ander aspect van AM is dat het productontwerp kan worden gewijzigd zonder

dat dit gevolgen heeft voor de werkvloer. Daarom moet erop worden toegezien dat de aanvaardbare normen niet worden overschreden wanneer deze mogelijkheid wordt gebruikt.

Inzicht in de aard van deze beperkingen sluit goed aan bij andere belangrijke onderwerpen, zoals computationele analyse en Industry 4.0. Het delen van kennis binnen de gehele onderneming kan helpen om producten te verbeteren zonder dat gecertificeerde normen worden overschreden. AM kan dan worden gebruikt om de concurrentiepositie te verbeteren zonder de reputatie van de onderneming in gevaar te brengen.

Ons ervaren team van technici en organisatiespecialisten bij het Fraunhofer Innovation Platform kan u meer inzicht verschaffen in de wijze waarop het gebruik van Additive Manufacturing de kwalificatie en certificering van uw producten kan beïnvloeden en vice versa.





ONZE AM-TECHNOLOGIEËN

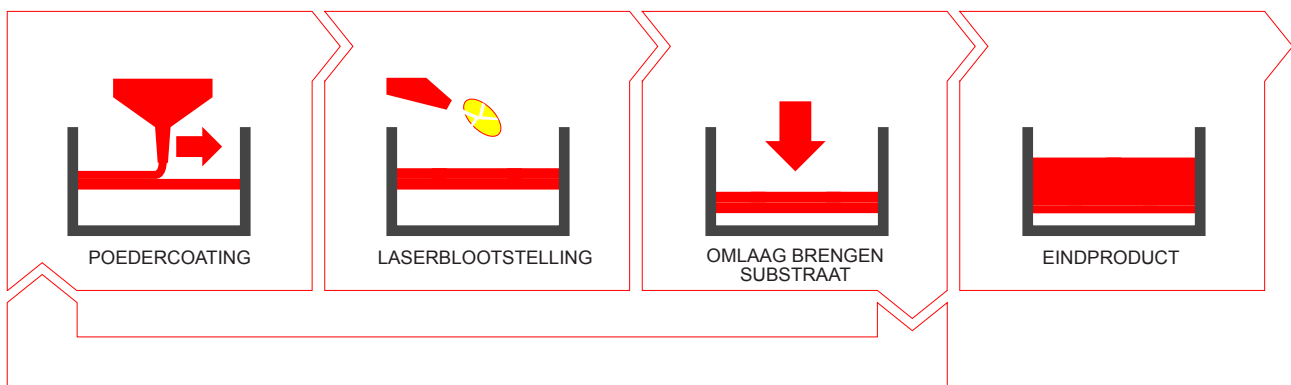
OVERZICHT

Er zijn twee soorten additieve productieprocessen. Bij het ene proces wordt er materiaal op een poederbed geplaatst (bijv. L-PBF, SLM, SLS) en bij het andere proces wordt er materiaal afgezet op een bepaald oppervlak (bijv. LMD, DED, FDM).

Het basisprincipe van alle AM-machines op basis van een poederbed is hetzelfde. U gebruikt de door het CAD-model bepaalde 3D-geometrie en splitst deze op in een reeks vlakke 2D-dwarsdoorsneden van een gelijkmatige, maximale dikte. Bij elk van deze lagen wordt het poedermateriaal met behulp van één of meerdere lasers zodanig selectief verhit, zodat het samensmelt. Dit wordt laag voor laag herhaald om het volledige 3D-object op te bouwen.

In tegenstelling tot de op een poederbed gebaseerde AM-processen voegen depositieprocessen (aanvoerprocessen) materiaal toe aan een substraat. Dit substraat kan een simpele plaat zijn, maar ook een complex 3D-object. Bovendien geldt hier een maximale laagdikte. Het toegevoegde materiaal is afkomstig van draad of soms van poeder.

Uiteraard is het allemaal veel ingewikkelder dan hierboven beschreven. Vooral ook, omdat alle productieprocessen worden beperkt door de grootte, snelheid, nauwkeurigheid, materiaaleigenschappen en, uiteraard, de kosten. Vanzelfsprekend zijn er verschillende machines waarmee deze basisprocessen kunnen worden uitgevoerd, die elk hun beperkingen kennen. Bij de meeste machines moet het model bijvoorbeeld omgeven zijn door ondersteunend materiaal dat moet worden verwijderd om het eindproduct te onthullen.



Werkingsprincipe van Laser Powder-bed Fusion (L-BPF)



ONZE AM-TECHNOLOGIEËN

POEDERBEDFUSIE

Poederbedfusie (PBF) is de verzamelnaam van een reeks technologieën waarbij gebruik wordt gemaakt van poeder als initiële grondstof die in lagen wordt verspreid, zoals bij alle huidige AM-machines. Hoewel ook andere energiesystemen (zoals elektronenbundels) gebruikt kunnen worden, maken de meeste PBF-systemen gebruik van een krachtige laserstraal om de poederdeeltjes te laten smelten of samensmelten. Hiervoor kan elk materiaal worden gebruikt dat smelt en vervolgens, tijdens het afkoelen, weer zijn eigen vorm aanneemt, en er worden veel machines gebruikt om polymeeronderdelen te vervaardigen. In de afgelopen jaren heeft deze technologie voor het vervaardigen van metalen onderdelen binnen de sector echter een sterke groei doorgemaakt. Machines op basis van poederbedfusie kunnen onderdelen maken van staal, titanium, kobalt-chroom, aluminium en andere soorten speciaal ontwikkelde legeringen. Onderdelen die uit deze materialen zijn vervaardigd, hebben eigenschappen die vergelijkbaar zijn met die van gegoten onderdelen en kunnen worden gebruikt in de medische industrie, lucht- en ruimtevaart, automotive en andere soortgelijke industrieën.

Soms is het mogelijk om onderdelen die met behulp van deze technologieën worden gemaakt direct te gebruiken zoals ze uit de machine komen. De kans is echter groter dat er eerst nog een combinatie van handmatige en machinale nabewerking aan te pas moet komen. Het is gebruikelijk dat metalen onderdelen worden gebouwd met behulp van draagconstructies die vastzitten aan een

substraatplatform. Vaak wordt vonkverspaning (Wire Electrical Discharge Machining, W-DEM) gebruikt om de onderdelen van dit platform te scheiden. Bovendien hebben onderdelen die met behulp van poederbedfusie zijn gemaakt een kenmerkend, korrelig oppervlak dat soms nog moet worden bewerkt – bijvoorbeeld door slijpen of polijsten – om te voldoen aan de specificaties van het eindproduct. Hoewel het mogelijk is om schroefdraad en soortgelijke zaken mee te nemen in het additieve productieproces, kan het efficiënter zijn om deze pas naderhand in of op het product aan te brengen (bijv. door gaten te tappen).

Poederbedfusie kan voor heel verschillende doeleinden worden ingezet. Bijvoorbeeld voor eenvoudige visuele prototypen, maar ook voor onderdelen die rechtstreeks worden gebruikt in geavanceerde voertuigen en andere veeleisende toepassingen. De mechanische eigenschappen van de onderdelen sluiten in de meeste gevallen aan bij de toepassing, maar in sommige gevallen kunnen extra warmtebehandelingen voor het verminderen van de restspanning en het verbeteren van de vervormbaarheid gewenst zijn. Verder kunnen er ook oppervlaktebehandelingen nodig zijn voor extra hardheid, chemische bestendigheid of corrosieweerstand, of voor het verbeteren van het uiterlijk in het algemeen.

Voor de industriële productie van technische onderdelen waarbij gebruik wordt gemaakt van poederbedfusie is een effectieve procesketen onmisbaar.



ONZE AM-TECHNOLOGIEËN

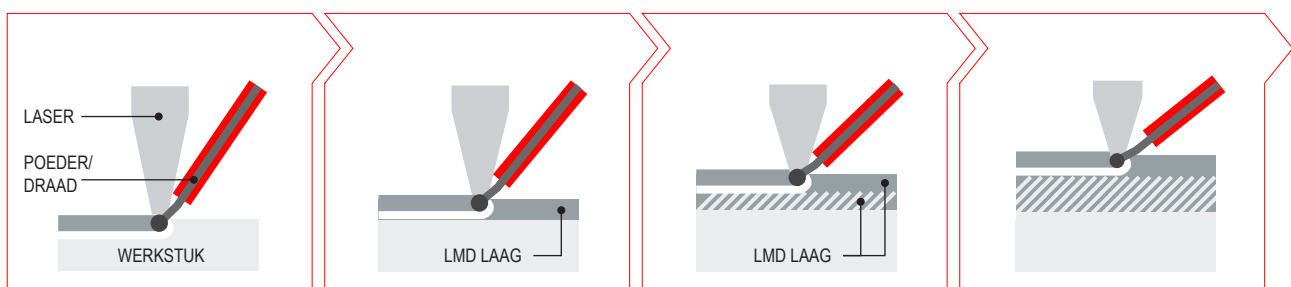
LASEROPLASSEN

AM wordt vaak als synoniem gebruikt voor poederbedprocessen. Poederbedprocessen zijn alom bekend van de vervaardiging van metalen componenten, ondanks hun nadelen, zoals de complexe omgang met gevaarlijke deeltjes, onvoldoende efficiënt gebruik van materiaal en hoge machinekosten. Juist om die redenen leggen we ons ook toe op de ontwikkeling van laseroplassen met draad (LMD-W). Deze technologie was aanvankelijk bedoeld als bescherming tegen slijtage, maar is tegenwoordig een efficiënt alternatief voor poedergebaseerde additieve productie. Dankzij hun prestaties kunnen LMD-technologieën worden gebruikt om echte 3D-onderdelen te maken. Er is geen effen oppervlak nodig als ondergrond, zodat ook vrije vormen als basis kunnen worden gebruikt.

Bij laseroplassen met draad wordt een draad eerst door middel van een laserstraal gesmolten en vervolgens – met een materiaalefficiëntie van 100 procent – in lagen op het oppervlak van de component aangebracht. Het geleidelijke productieproces van het onderdeel wordt ondersteund door speciale CAD/CAM-software. Er is voor dit soort processen een grote verscheidenheid aan draadmateriaal beschikbaar:

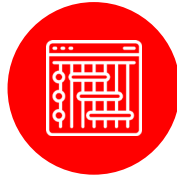
gestandaardiseerde lasdraden, massieve draden en speciale laserdraden die een kosteneffectieve toepassing en een near-net-shape productie van hoogwaardige non-poreuze onderdelen mogelijk maken.

Dankzij laseroplassen met draad is het mogelijk om te werken zonder vervuiling. Andere voordelen zijn de kortere insteltijden van de machine en het snel kunnen verwisselen van het depositiemateriaal. Er is een groot aantal materialen beschikbaar, in verschillende diameters, legeringssamenstellingen en kwaliteitsniveaus. Als er sprake is van een nauwkeurige draadaanvoer en de laserspot daarbij wordt aangepast aan de betreffende draaddiameter, dan is een zeer efficiënte benutting van materiaalvoer en laserenergie gewaarborgd. Wanneer gebruik wordt gemaakt van beschermgas en moderne diodelasers met optische vezels, kunnen LMD-W-processen ook flexibel worden toegepast op grotere onderdelen – niet alleen bij werktuigmachines, maar ook bij robots. We kunnen dus concluderen dat LMD-W een van de schoonste en meest effectieve alternatieven is voor poedergebaseerde additieve productie.



Werkingsprincipe van Laser Metal Deposition (LMD)

ADVIES, ONDERZOEK & ONTWIKKELING



ONTWERP EN
ONTWIKKELING



ADDITIVE
MANUFACTURING



KWALIFICATIE &
CERTIFICERING

WERKVOOR-
BEREIDING

NABEWERKING

AUDIT: Klaar voor Additive Manufacturing

Procesketenontwikkeling

Functie-integratie AM Procesintegratie

Onderdelenportfolioanalyse Productiestrategie

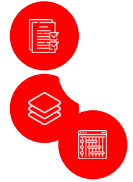
Vorbewerkingstechnologieën Procesontwikkeling Nabewerkingstechnologieën

KENNISDELING

Ontwerp Additieve Productie Nabewerken Procesketen

NETWERK

Universiteiten Instituten Bedrijven Gebruikers



ONZE METHODE

Additive Manufacturing is een innovatieve technologie die de toekomst vormgeeft. Met AM-integratie in procesketens worden meerdere voordelen en kansen, zoals functionele integratie voor procesketenoptimalisatie, tegelijkertijd geïmplementeerd. Op deze manier worden zwakke punten, waarvan sommige het gevolg zijn van conventionele productie, versterkt. Daarnaast biedt AM compleet nieuwe mogelijkheden, zoals het verhogen van de flexibiliteit in productie, de productie van losse onderdelen en het eenvoudig integreren van functionele kenmerken op de plaats van gebruik.

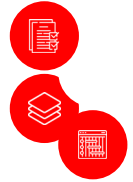
Met de service Additive Manufacturing Implementation Investigation (AMII) ondersteunt het Fraunhofer Innovation Platform bedrijven tijdens de beginfase van het implementeren van Additive Manufacturing. Groot voordeel hiervan is dat er een financieel gunstige start met industriële additieve productie kan worden gemaakt. De aanschaf van een AM-machine is slechts het begin. De vragen die volgen zijn legio: hoe snijd ik een werkstuk los van de grondplaat? Welke eisen worden er aan het werkstuk gesteld? Welk type nabewerking is nodig? Wij kunnen deze en andere vragen voor u beantwoorden.

Door samen te werken met ons en onze onderzoekspartners wordt uw bedrijf onderdeel van een open en succesvol netwerk. Uitgebreid advies door het Fraunhofer Innovation Platform met behulp van gerichte methoden voor technologische ontwikkeling en integratie levert een duurzame productiestrategie op.

Wij bieden de volgende oplossingen:

- » Analyse en ontwerp van de AM-procesketen, met de focus op de mate van toegevoegde waarde en standaardisatie
- » Analyse van het werkstukportfolio met betrekking tot geometrie-eigenschappen en toleranties gedurende de gehele procesketen
- » Ontwikkeling en integratie van processen voor poederbedfusie en laseroplassen
- » Identificatie en ontwikkeling van geschikte technologieën voor voor- en nabewerking
- » Ontwikkeling van CAM-modules voor de integratie van AM-technologie in procesketens
- » Ondersteuning bij de implementatie van procesketens, bijvoorbeeld in de vorm van technologische roadmapping





CASESTUDY'S

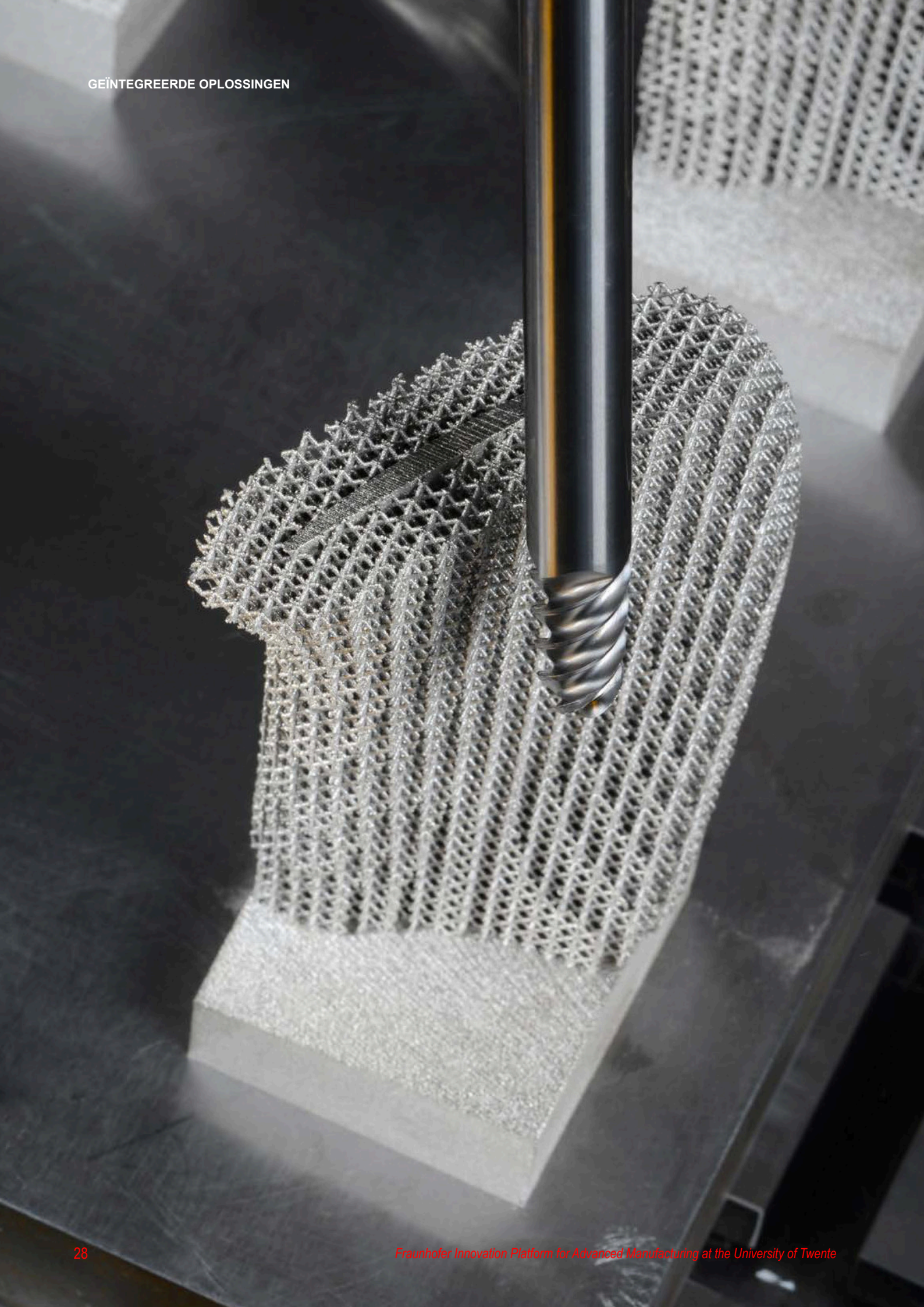
3DS2SKY

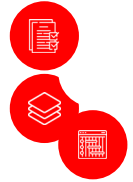
In de lucht- en ruimtevaartindustrie werd Additive Manufacturing (AM) al vroeg omarmd en begon men, direct nadat de technologie was gecommmercialiseerd, te onderzoeken welke toepassingen gebruikt zouden kunnen worden. Grote lucht- en ruimtevaartbedrijven zoals GE, Boeing en Airbus werken met intensieve onderzoeksprogramma's en maken in toenemende mate gebruik van de mogelijkheden die de AM-technologie biedt. Een van Aeronamics belangrijkste klanten in de lucht- en ruimtevaartindustrie zet grote stappen voorwaarts in het ontwikkelen van processen en producten voor AM. De technologie staat aan de vooravond van een doorbraak en de klant denkt na over de strategie voor zijn productieketen. Daarbij weegt hij twee mogelijkheden af. Neemt hij afstand van zijn huidige productieketen en gaat hij gebruik maken van (interne) serviceproviders voor 3D-printen en daarnaast alle leveranciers managen die nabewerkingsprocessen verzorgen, of zal hij gebruik gaan maken van bestaande, gekwalificeerde leveranciers voor de lucht- en ruimtevaartindustrie, die werken met geïntegreerde AM-capaciteiten?

Het moge duidelijk zijn dat voor bedrijven als Aeronamic de laatste optie de voorkeur heeft en dit ook nieuwe zakelijke mogelijkheden biedt. Deze optie is echter alleen haalbaar als zulke bedrijven ook daadwerkelijk AM-mogelijkheden ontwikkelen en presenteren die zijn geïntegreerd in de op dit moment bestaande productieprocessen. Strenge en consistente kwaliteitscontroles op de productie vormen grote uitdagingen voor de invoering van AM in lucht- en ruimtevaarttoepassingen en moeten worden aangepakt.

Additief produceren met metaal is geen technologie waarbij één druk op de knop volstaat. Het is veeleer een verzameling van technieken, fasen en specialistische vaardigheden die nodig zijn om een volledig afgewerkt onderdeel te produceren. Op dit moment wordt bij veel van de processen die nodig zijn om een afgewerkt onderdeel te maken nog veel werk handmatig verricht. Verdere ontwikkeling van bestaande bewerkingstechnieken is dus noodzakelijk en ook zullen er nieuwe nabewerkingstechnieken ontwikkeld moeten worden.

Doel van het project 3D2SKY is om de AM-technologie op een zodanig niveau te brengen dat gecertificeerde lucht- en ruimtevaartonderdelen van het materiaal Inconel 718 kunnen worden geproduceerd binnen de omgeving van een tweede- of derdelijnsleveranciers. De kern waar 3D2SKY zich op toelegt, is het begrijpen en beheersen van de AM-procesparameters die zullen leiden tot de productie van gecertificeerde lucht- en ruimtevaartonderdelen met een voorspelbare en consistente kwaliteit, tegen aanvaardbare kosten. Omdat veel vereisten nog onbekend zijn, worden materiaal-, product- en procesvereisten ontwikkeld in samenwerking met het huidige klantenbestand van eerstelijnsklanten. Deelname van het Fraunhofer Innovation Platform aan het Fraunhofer-kennisnetwerk is hiervoor essentieel. Bestaande en nieuwe nabewerkingstechnieken zullen (verder) worden ontwikkeld om productie van afgewerkte onderdelen in serie mogelijk te maken.





CASESTUDY'S

ONDERSTEUNENDE STRUCTUREN TER VERBETERING VAN DE NABEWERKING

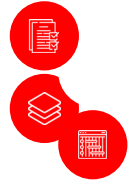
Een van de belangrijkste kenmerken van additieve productieprocessen is dat de complexiteit van de vormen die een component kan aannemen, vrijwel onbegrensd is. Daar staat tegenover dat bij metalen componenten een hoge oppervlaktekwaliteit vaak alleen kan worden bereikt door middel van frees- of slijpbewerkingen. Vooral bij het frezen van dunwandige onderdelen ontstaan vaak trillingen die een negatieve invloed kunnen hebben op de productnauwkeurigheid en de bewerkingstijd.

Metalen onderdelen die additief worden geproduceerd in een proces van selectief lasersmelten (SLM), worden in de regel bewust zodanig ontworpen dat ze groter zijn dan gebruikelijk. Dat maakt het mogelijk om de functionele oppervlakken af te werken door middel van frezen. Dit is de enige manier om te kunnen garanderen dat aan alle oppervlaktetoleranties en kwaliteitseisen kan worden voldaan. Dunwandige onderdelen zijn bijzonder gevoelig voor trillingen tijdens de bewerkings- en materiaalverwijderingsprocessen. Vaak heeft dat tot gevolg dat de oppervlaktekwaliteit slecht is en soms zijn de onderdelen zelfs onbruikbaar.

Een innovatieve manier om met deze problemen om te gaan, is het uitbreiden van het ontwerp van additief geproduceerde componenten met ondersteunende structuren. Deze structuren verhogen de stijfheid van de gevoelige zones en verminderen daarmee ook de trillingen. De ondersteunende elementen kunnen na het productieproces (tijdens het afwerken van het oppervlak) relatief eenvoudig worden verwijderd. Onderdelen die op deze manier zijn gestabiliseerd, kunnen dus in minder tijd, met minder slijtage van het gereedschap en in een hogere kwaliteit worden geproduceerd.

Deze methode is gericht op de hele procesketen. De kernvraag voor een succesvolle toepassing van Additive Manufacturing luidt dan ook: wat kan er in het AM-proces worden aangepast, zodat eventueel noodzakelijke nabewerking kan worden beperkt?





CASESTUDY'S

OPENHYBRID

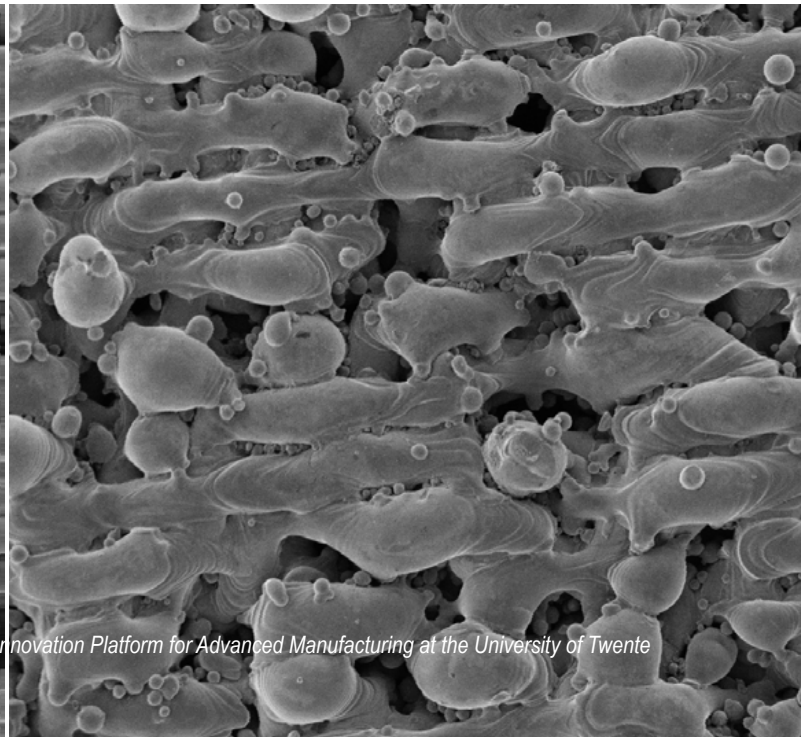
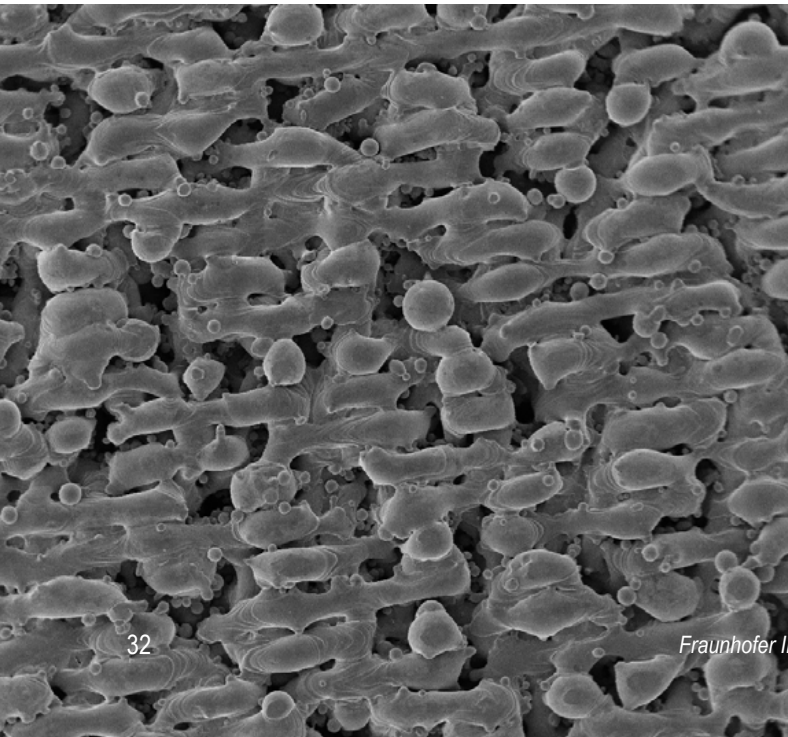
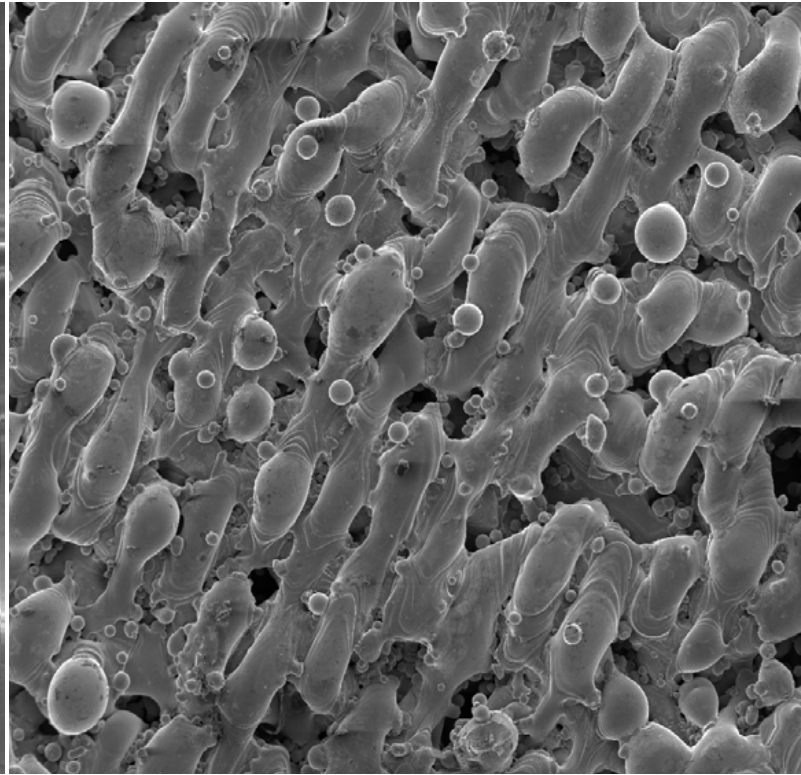
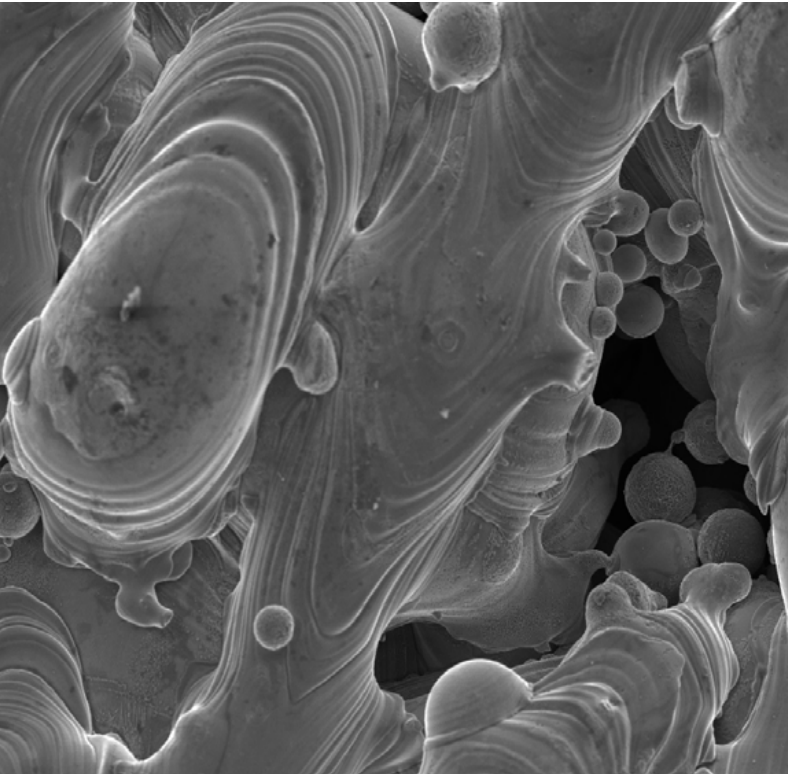
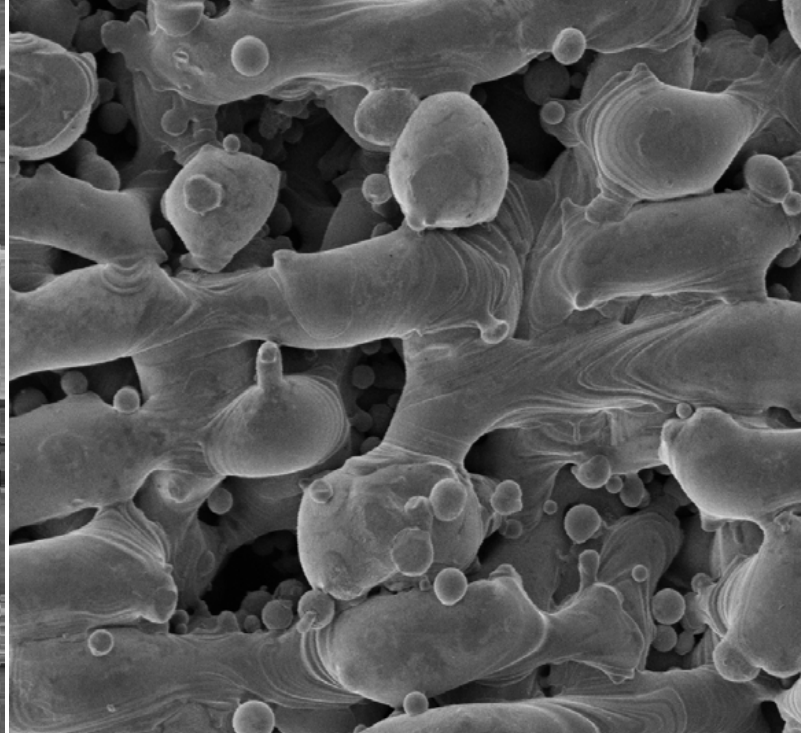
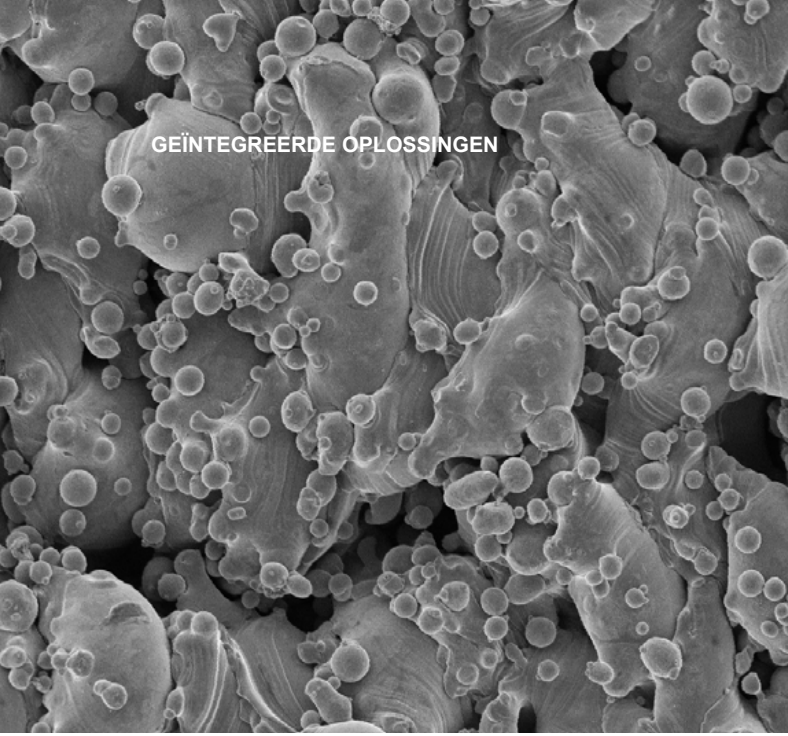
De huidige trend om hybride bewerkingsoplossingen te creëren voor Additive Manufacturing (AM), inclusief voor- en nabewerking, wordt ingegeven door de mogelijkheid om afzonderlijke processen samen te voegen in één bewerkingsstelsel. Afhankelijk van de eigenschappen van het te vervaardigen onderdeel kunnen de productietijd en -kosten aanzienlijk worden gereduceerd. Tegelijkertijd neemt de productiviteit van het AM-proces toe, met name bij de productie van grote aantallen onderdelen. Deze voordelen zijn vooral interessant voor industriële bedrijven, die permanent te maken hebben met kostendruk. Daarbij moet vooral worden gedacht aan turbomachines en aan de gereedschaps- en matrijzenbouwsector. Toch zijn tegenwoordig voor dergelijke hybride bewerkingsoplossingen nog steeds intelligente en economisch verantwoorde machineconcepten noodzakelijk, die de volledige procesketen voor de productie van hybride AM-onderdelen kunnen omvatten.

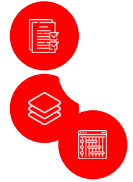
Om deze kloof te dichten, heeft de EU het onderzoeksproject OpenHybrid geïnitieerd. Dit project moet de huidige technische en commerciële beperkingen aanpakken en hybride bewerkingsoplossingen omzetten in industriële toepassingen. OpenHybrid legt de basis voor een bredere toepassing van AM door innovatieve hybride machineconcepten te ontwikkelen die zijn uitgerust met subtractieve en additieve productietechnologieën en biedt zo nieuwe mogelijkheden en toepassingen. Om dit te demonstreren worden binnen het project twee hybride bewerkingsoplossingen opgezet: een hybride vijf-assige bewerkingsmachine en een portaalsysteem.

Een van de kernpunten van het project is dan ook de ontwikkeling en integratie van modulaire, verwisselbare en compacte bewerkingskoppen, die in deze bewerkingsplatforms zullen worden geïntegreerd. Bij de genoemde AM-processen, namelijk poederbedfusie (LMD-P) en laseroplassen met draad (LMD-W), kan dankzij het gebruik van modulaire, verwisselbare LMD-bewerkingskoppen gemakkelijk worden geschakeld tussen poeder- en draadaanvoer binnen het AM-proces, wat ongeëvenaarde flexibiliteit biedt met betrekking tot materiaalkeuze en -combinaties. Bovendien zorgen specifieke aanvullende hardware- en softwaremodules voor de voor- en nabewerking, alsook voor kwaliteitsinspectie van de onderdelen, voor een consistente productie in dezelfde omgeving. Het gaat om de volgende modules:

- » Een intelligente lasercladdingkop die is voorzien van temperatuursensoren en sensoren voor materiaaldoorvoer,
- » Een laserscankop voor warmtebehandeling, polijsten en structureren,
- » Een ultrasone straalkop voor mechanische spanningsverlaging,
- » Een reinigingskop voor het tegengaan van verontreiniging,
- » Niet-destructieve inspectiemodules
- » CAD/CAM-softwaremodules voor de planning van gereedschapspaden.

Naast het ontwerpen en ontwikkelen van de hardware wordt er momenteel onderzoek gedaan naar verschillende aan LMD gerelateerde procesketens in combinatie met voor- en nabewerking.





CASESTUDY'S

GEAVANCEERDE POREUZE STRUCTUREN

Er is veel belangstelling voor het ontwikkelen en ontwerpen van passieve tweefasige warmtebeheersingsoplossingen voor zowel ruimtevaarttoepassingen als toepassingen op aarde. In passieve systemen, waarbij de aandrijfkracht gewoonlijk afkomstig is van een capillaire structuren, speelt het ontwerp van deze capillaire structuren een cruciale rol bij het behalen van optimale prestaties. Van oudsher worden capillaire structuren vervaardigd door middel van sinteren. Gezien de voortschrijdende ontwikkelingen op het gebied van Additive Manufacturing lijkt het echter zeer de moeite waard om gebruik te maken van de nieuwe mogelijkheden voor het vervaardigen van capillaire structuren die zijn geoptimaliseerd voor vrije vormen. Afhankelijk van de thermisch-fysische ontwerpspecificatie van de tweefasen-warmtetechnologie (bijv. een 'loop heatpipe'), zouden productiemogelijkheden die gradiënten in porositeit en driedimensionale vormgevingsvrijheid mogelijk maken, grote voordelen bieden.

De mogelijkheden van de productie van vrije vormen zoals die door AM worden geboden, zijn vooral interessant voor de productie van onderdelen met interne kanalen voor vloeistofstroming, rasters en poreuze structuren. Op dit moment wordt de beperkende factor wat betreft de elementafmeting bepaald door de minimale

spoorbreedte (d.w.z. één laserscanvector) die wordt gestold in het poederbed. De huidige praktijk in de industrie laat duidelijk zien dat een minimale elementafmeting van ongeveer 100 μm gebruikelijk is. Met deze elementafmetingen is het onmogelijk poreuze structuren te vervaardigen met een poriegrootte die ook kan worden vervaardigd via traditionele sintermethoden. Doordat wordt afgestapt van de gangbare CAM-tooling en de SLM-procesvoorwaarden rechtstreeks worden gemanipuleerd, is het aanbrengen van poriën die verder gaan dan de huidige mogelijkheden, met een afmeting van enkele microns (5-15 μm), zeer gewenst.

Het doel van dit onderzoeksproject is om de poriegrootte van additief vervaardigde poreuze structuren aanzienlijk te verkleinen. In plaats van uit te gaan van conventionele hardware en CAM-tooling voor selectief lasersmelten, zullen de laserscanparameters en de poederbedcondities specifiek worden geoptimaliseerd voor het vervaardigen van kleine poreuze structuren. Door middel van uitgebreid experimenteel onderzoek proberen wij poriën te vervaardigen ter grootte van enkele microns (5-15 μm). Dit biedt mogelijkheden voor het maken van nieuwe innovatieve componenten, met multiscale eigenschappen en geïntegreerde functionaliteit, die wezenlijk interessant zijn voor warmtebeheer, brandstofcellen et cetera.

OVER ONS

In 2022 ontstond het Fraunhofer Innovation Platform for Advanced Manufacturing at the University of Twente (FIP-AM@UT), dat daarvoor bekend was als het Fraunhofer Project Center at the University of Twente. Onder deze nieuwe naam wordt de sterke samenwerking tussen het Fraunhofer Institute for Production Technology IPT in Aken en de Universiteit Twente verder voortgezet.

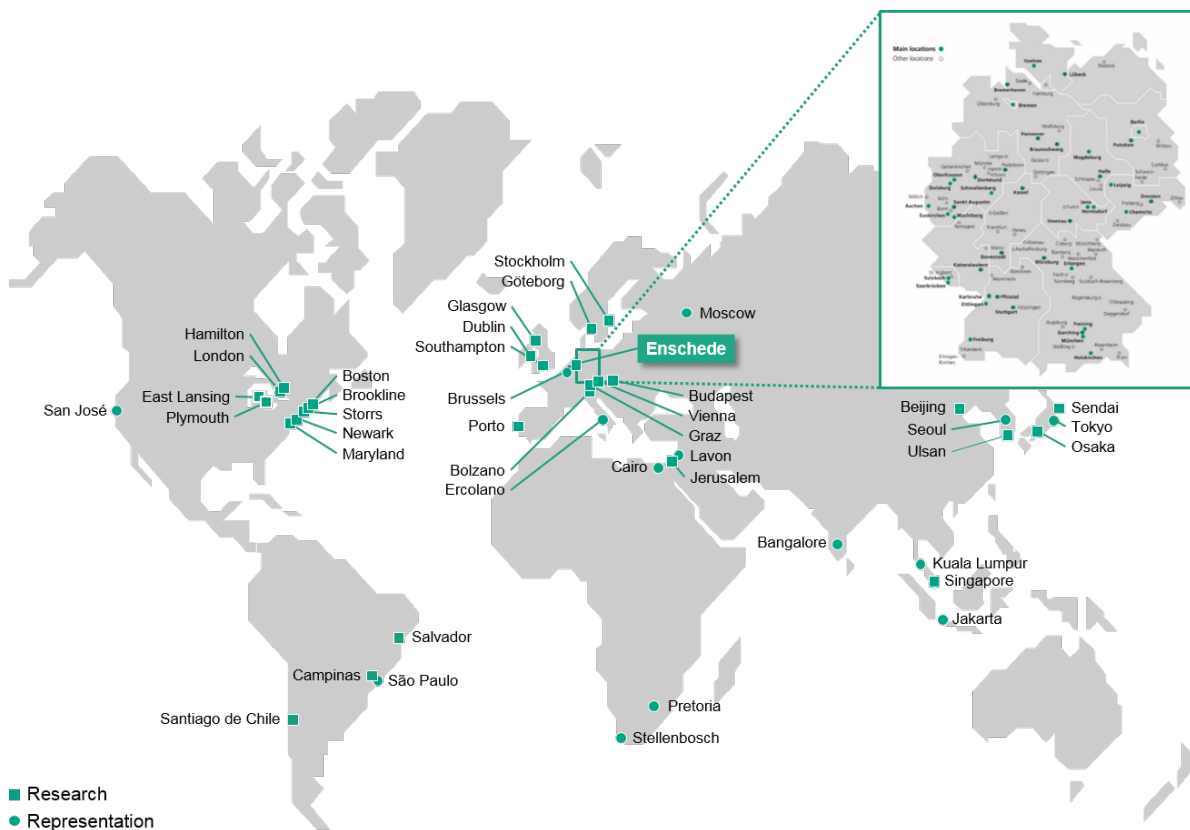
Het Fraunhofer Innovation Platform for Advanced Manufacturing is een onderzoekscentrum dat samenwerkt met fabrikanten om innovatieve en geïntegreerde oplossingen te ontwikkelen, ter bevordering van zowel de maakindustrie als de samenleving als geheel.

FIP-AM@UT's primaire doel is om de productiesector in Nederland te versterken, door te zorgen voor voortdurend aanpassingsvermogen, concurrentievermogen en efficiëntie van de sector. Dit doen ze met een

hoogopgeleid en deskundig team van research engineers en ondersteunend personeel.

Het tweede belangrijkste doel is om getalenteerde en innovatieve engineers aan te trekken en te helpen zich verder te ontwikkelen door bij te dragen aan hoogwaardig toegepast onderzoek voor zowel de industriële als de publieke sector. Bovendien werken ze samen aan technologische vooruitgang in de maakindustrie door het gezamenlijk en in projectvorm toewerken naar resultaten.

FIP-AM@UT is onderdeel van de Universiteit Twente (UT), de enige campusuniversiteit in Nederland. De UT biedt meer dan vijftig wetenschappelijke opleidingen, verdeeld over vijf faculteiten. De Universiteit Twente heeft een sterke focus op persoonlijke ontwikkeling en het stimuleren en helpen van talentvolle onderzoekers om baanbrekend onderzoek te doen.



PARTNERS

UNIVERSITEIT TWENTE

De Universiteit Twente is een moderne, ondernemende universiteit met 3000 onderzoekers en professionals en meer dan 10.000 studenten. De UT is toonaangevend op het gebied van nieuwe technologieën en is een katalysator voor verandering, innovatie en vooruitgang in de samenleving. De kracht van de universiteit ligt in het vermogen om te werken aan technologieën van de toekomst en deze met elkaar te combineren. De Universiteit Twente huisvest een aantal vooraanstaande onderzoeksinstituten op het gebied van de nanotechnologie (MESA+), ICT (CTIT), biomedische technologie en technische geneeskunde (MIRA), bestuurs- en gedragswetenschappen (IGS), geoinformatiewetenschappen en aardobservatie (ITC) en science-based engineering.

FRAUNHOFER NETWORK

Het Fraunhofer-Gesellschaft is de toonaangevende organisatie voor toegepast onderzoek in Europa. Onderzoeksactiviteiten worden uitgevoerd door 72 instituten en onderzoekseenheden verspreid over heel Duitsland. Het Fraunhofer-Gesellschaft heeft meer dan 25.000 medewerkers in dienst, die werken met een jaarlijks onderzoeksbudget van in totaal 2,3 miljard euro. Van dit bedrag wordt bijna 2 miljard euro gegenereerd door contractonderzoek. Internationale samenwerkingsverbanden met vooraanstaande onderzoekspartners en innovatieve bedrijven over de hele wereld zorgen voor directe toegang tot gebieden die van cruciaal belang zijn voor wetenschappelijke vooruitgang en economische ontwikkeling, zowel nu als in de toekomst.

FRAUNHOFER IPT: INSTITUTE FOR PRODUCTION TECHNOLOGY

Het Fraunhofer IPT (Institute for Production Technology) in Aken heeft tientallen jaren ervaring met de productietechnologieën die het gebruikt om bedrijven een sterke basis te bieden voor de digitalisering van productieprocessen, werktuigmachines en apparatuur. De technologische expertise wordt aangevuld met nieuwe productieorganisatiemethoden en met het ontwerpen van industriële softwaresystemen. Het instituut heeft momenteel ongeveer 460 werknemers in dienst die hun creativiteit toepassen op methoden, technologieën en processen voor verbonden, adaptieve productie.



UNIVERSITY
OF TWENTE.

FRAUNHOFER
INNOVATION PLATFORM
FOR ADVANCED MANUFACTURING

fip@utwente.nl



fip.utwente.nl

