

3D-PRINTEN HERBERGT VELE VERSCHILLENDE TECHNIEKEN

WAT ZIJN DE VOOR- EN NADELEN VAN ELK SYSTEEM?

Er bestaan heel wat technologieën die vanuit een digitaal bestand een product laag per laag opbouwen in metaal. En dat is zowat de consensusdefinitie van 3D-(metaal)printen of Additive Manufacturing (AM). Maar die term is eigenlijk te breed om het bestaande gamma van momenteel al dan niet commercieel beschikbare processen te beschrijven, elk met hun eigen specifieke eigenschappen. Bovendien kunnen we in veel gevallen eigenlijk beter spreken van 'AM-systemen' dan van 3D-printers. Het gaat in de meeste gevallen namelijk niet enkel om een printer, maar om een aaneenschakeling van processen waarvan het eigenlijke printen er een is. Wat zijn die verschillende technologieën, waar zitten de verschillen en hoe kunnen we ze het best toepassen? We lichten enkele zaken toe.

Kris Binon, FLAM3D

ASTM-CLASSIFICATIE

Sinds 2012 bestaat er een ASTM-classificatie voor de verschillende AM-technologieën. Deze indeling hanteert zeven categorieën, waarvan er vier relevant zijn voor metaal. Het gaat om de volgende processen:

Powder Bed Fusion (poederbedfusie)

In dit proces (figuur 1) wordt een laag geatomiseerd metaalpoeder op welbepaalde plaatsen gesmolten en zo aan elkaar gehecht (door laser of elektronenbundel).

Er wordt vervolgens een nieuwe laag poeder gelegd, en het proces wordt herhaald om een stuk op te bouwen.

Directed Energy Deposition (DED)

Hier wordt door een spuitstuk poeder of draad aangevoerd, die gesmolten wordt en gedeponeerd op een substraat of de vorige laag (figuur 2). Momenteel zijn er systemen beschikbaar waarbij de energie wordt geleverd door een laser, elektronenbundel of plasmatoorts.

Binder Jetting

Bij deze technologie wordt een vloeibaar bindmiddel op een oppervlak aangebracht met een systeem vergelijkbaar met inkjet (figuur 3). De meeste metalen stukken worden na dit proces nog gesinterd en eventueel geïnfiltreerd met een ander metaal om de porositeit te verminderen.

Sheet Lamination

Verschiede lagen metaalfolie worden met elkaar gebonden. In de enige ons bekende toepassing worden de lagen met elkaar verbonden door middel van ultrasoon lassen en hoge druk. Sheet Lamination wordt in vele overzichten zelfs niet vermeld – het wordt dan ook eerder zelden toegepast.

MEER OVER POWDER BED FUSION

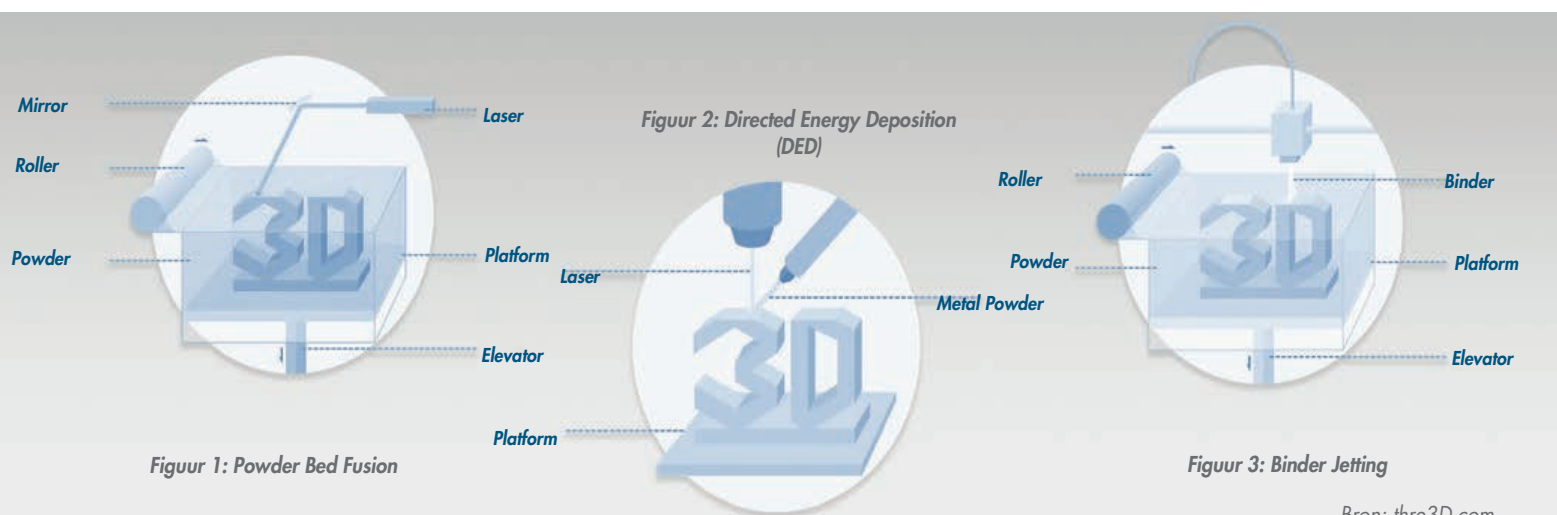
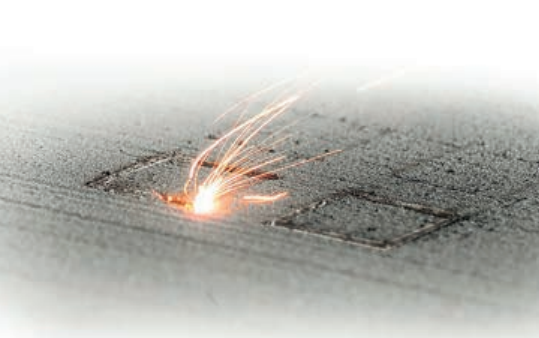
Powder Bed Fusion is, met ruime voorsprong, de meest toegepaste technologie voor metaalprints – de verkoop van deze systemen zou wereldwijd zevenmaal hoger liggen dan die van de opvolger, de Directed Energy Deposition-

systemen. Poederbedfusie wordt zelf verder ingedeeld volgens het proces; en de gehanteerde terminologie is soms verschillend per leverancier:

- **Selective Laser Melting (SLM)**: het poeder wordt door middel van een laser aan elkaar gesmolten.
- **Direct Metal Laser Sintering (DMLS)**: ook hier gaat het om poeders die met een laser worden bestraald, in een kamer met inert gas. De naam suggereert dat het daarbij om een sinterproces gaat, maar in feite is het ook een smeltproces. Om deze reden werden ze samen-gevoegd in het overzicht hieronder.
- **Electron Beam Melting (EBM)**: in deze technologie is de energiebron een elektronenbundel en vindt het proces plaats in vacuüm¹.

Verder zijn er nog een paar buitenbeentjes, in verschillende stadia van ontwikkeling. Magneto-Jet™ printing, bijvoorbeeld, waarbij gesmolten metaal (voorlopig beperkt tot aluminium) door magnetische pulsen wordt geprojecteerd door een keramische spuitmond.

Daarnaast zijn er filamenten op de markt die tot meer dan 85% brons-, koper- of messingpoeder



Bron: thre3D.com

Additive Manufacturing

Metal					Other	
Powder bed systems	Directed Energy Deposition	Binder Jetting	Sheet lamination	Other	Technologie	
Selective Laser Melting (SLM), Laser Cusing, Direct Metal Laser Sintering (DMLS), Direct Metal Printing (DMP)	Electron Beam Melting	Powder ('Laser Cladding')	Wire		Specificatie	
Relatief gladde oppervlaktes Hoge nauwkeurigheid Uitgebreid aanbod	Minder support structures nodig Zeer fijne microstructuren Beter geschikt voor massieve stukken	Hoge depositiesnelheid en relatief hoog volume In principe ongelimiteerd bouwoppervlak Duaal gebruik Variërende poedersamenstelling	Hoog depositievolume In principe ongelimiteerd bouwoppervlak	Snel proces Groot bouwoppervlak mogelijk Dunne wanden en fijne kanalen mogelijk	Zonder de uitzondering Sheet Lamination zijn er dus vier systemen: SLM, EBM, DED en Binder Jetting, maar de Directed Energy Deposition-technologie kan nog worden opgesplitst in de poeder- en draadgevoede systemen	Voordelen
Belangrijke interne spanning Bouwplaten nodig Minder geschikt voor massieve stukken Relatief traag proces	Beperkt bouwvolume Beperkt aantal poeders Relatief lange koelcycli Gesinterd poeder is moeilijker te recyclen/verwijderen	Soms beperking in structuur door nozzle	Hoge oppervlakte-ruwheid; noodzaak tot nabwerking.	Warmtebehandeling nodig Infiltratie evt. nodig. Naverdichting noodzakelijk afhankelijk van toepassing	Mogelijke nadelen	
Renishaw, SLM Solutions, Trumpf, EOS, Concept Laser, 3DSystems	Arcam	Trumpf, Optomec, MAZAK, DGM Mori, BeAM, INSSTEK, Hybrid Manufacturing Technologies	Sciaky, Norsk Titanium	ExOne, VoxelJet, Digital Metal	Fabrisonic	Enkele leveranciers

bevatten en verder een plastic drager. Daardoor laten deze filamenten zich printen op een standaard-FDM-machine.

LASER CUSING, DIRECT METAL PRINT, LENS, LBM, EBAM ...?

Er zijn nog veel benamingen in omloop en het is niet altijd evident te achterhalen in welk vakje ze precies thuishoren. Meestal zijn het variaties op hetzelfde thema en kunnen ze dus ook in het onderstaande schema ondergebracht worden. Niettemin verschijnen er ook volledig nieuwe technologieën op de markt en zal de tijd uitwijzen of de ASTM-indeling uitgebreid zal moeten worden.

Poeders

De metaalpoeders die gebruikt worden voor AM, zijn exclusief vervaardigd door middel van atomisation – letterlijk verneveling. Een proces waarbij het metaal wordt gesmolten en verneveld in een gecontroleerde omgeving. De gesmolten metaaldeeltjes stollen in ronde vorm. De poederdeeltjes moeten idealiter perfect rond en niet-poreus zijn. Ook de diameter van de deeltjes is bijzonder belangrijk voor de kwaliteit van het eindproduct.

Vooraf bij poederbedsystemen zijn die eigenschappen essentieel en moet de diameter precies gecontroleerd worden om de vloeieigenschappen van het poeder niet nadelig te beïnvloeden. De poeders worden immers 'uitgerold' over het bed. Ook kunnen dickere of poreuze deeltjes het smeltproces – en dus de eindkwaliteit – sterk beïnvloeden. Poeders met diameters tussen 30 en 45 micron zijn nodig voor deze technologie.

In de systemen waarbij het poeder 'geblazen' wordt (DED), zijn de toleranties iets groter en kunnen er deeltjes tot 100 of zelfs 150 micron gebruikt worden.

VIER SYSTEMEN

Zonder de uitzondering Sheet Lamination zijn er dus vier systemen die met elkaar vergeleken kunnen worden: SLM, EBM, DED en Binder Jetting, maar de Directed Energy Deposition-technologie wordt nog verder opgesplitst in de poeder- en draadgevoede systemen:

1. SLM: Selective Laser Melting

Deze technologie blijft dus met voorsprong de nummer een op de markt; naar schatting staan er bijvoorbeeld een kleine dertig van deze machines opgesteld in België; vaak worden ze gebruikt voor dentale toepassingen. De technologie kan zeer complexe stukken bouwen met relatief dunne wanden en complexe rasterstructuren. In vergelijking met EBM kan men tijd winnen doordat de afkoeling veel sneller kan verlopen, hoewel de bouwsnelheid op zich lager is. Een nadeel is wellicht dat er belangrijke interne spanningen worden opgebouwd in het stuk. Mede daarom zijn er relatief zware support structures nodig – om de warmte af te leiden en eventuele vervormingen tegen te gaan. Er is dus meestal een warmtebehandeling nodig na het printproces. Doordat men vertrekt van een bouwplaat (in hetzelfde metaal als het poeder), moet men er ook rekening mee houden dat die nadien weer verwijderd moet worden. Ook het verwijderen van de support structures (hoewel niet exclusief voor deze technologie) vraagt een extra nabewerkingsstap. De race voor de grootste gaat voort – hoewel dat niet altijd een relevante maatstaf is. Momenteel zouden er printers met een bouwoppervlak van 2 x 0,5 x 0,5 meter in de maak zijn. Verschillende soorten staal, titaan, aluminium, kobalt-chroom en nikkellegeringen zijn beschikbaar.

2. Electron Beam Melting (EBM)

Bij Electron Beam Melting (EBM) wordt het poeder in het poederbed gesmolten door een elektronenbundel. In de commercieel beschikbare

Arcam printers bevindt het poederbed zich in een vacuümkamer (1 x 10⁻⁵ mbar), onder een temperatuur van ca. 700 °C.

Daaruit volgen meteen twee belangrijke voordelen van de technologie: de continue hoge temperatuur resulteert in stukken zonder noemenswaardige residuele stress en het vacuüm sluit gascontaminatie uit. Ook een gevolg van de hoge temperatuur is het feit dat er minder support structures nodig zijn om de in het proces geïnduceerde warmte af te leiden. Maar daaruit volgt meteen ook een mogelijk nadeel: het poeder in het poederbed is al gesinterd, en is daarom moeilijker te verwijderen uit bv. nauwe kanalen. De nauwkeurigheid is iets minder dan die van de poederbedsystemen, maar de bouwsnelheid is aanzienlijk hoger. Maximale bouwafmetingen zijn 200 x 200 x 380 mm of Ø350 x 380 mm en de beschikbare poeders zijn momenteel Titanium Grade2, Ti-6Al-4V, CoCr en Inconel 718.

3.1 Directed Energy Deposition – DED (poeder)

Zoals vermeld, wordt bij deze technologie het poeder aangeleverd via een spuitstuk, onder een beschermgas. Dat betekent dat het poeder op het substraat 'geblazen' wordt, meestal buiten een kamer, en dat zorgt meteen voor het grootste voordeel van deze technologie: een quasi onbeperkt bouwvolume. Omdat men onafhankelijk van een poederbed werkt, kan men substraat en nozzle positioneren ten opzichte van elkaar en kan er dus poederdepositie plaatsvinden op onregelmatige oppervlaktes. Daardoor kan het ook ingezet worden om bestaande stukken te herstellen (of herop te bouwen), het zogenaamde cladden. De bouwsnelheid van DED is aanzienlijk sneller dan bij de poederbedsystemen. Om de voordelen van additieve en subtractieve systemen te combineren, gebruiken de meeste hybride systemen DED als technologie. Zo kunnen bv. turbinebladen direct geprint en nabewerkt worden op de as. Een ander voordeel van DED is de mogelijkheid om de poedersamenstel-

VERGELIJKING TUSSEN SLM, POWDER FED DED EN EBM

	SLM	DED (POEDER)	EBM
MATERIALEN	Beperkt aanbod	Zeer grote diversiteit van materialen	Beperkt aanbod
AFMETINGEN	Beperkt door de afmetingen van de proceskamer	Beperkt door de afmetingen van de opstelling	Beperkt door de afmetingen van de proceskamer
COMPLEXITEIT VAN HET STUK	Quasi ongelimiteerd, maar er zijn overal support structures nodig	Beperkt	Quasi ongelimiteerd, maar minder support structures nodig
DIMENSIONALE NAUWKEURIGHEID	≥ 0,1 mm	≥ 0,1 mm	≥ 0,2 mm
DEPOSITIESNELHEID	1-3 mm ³ /s	3-10 mm ³ /s	> 20 mm ³ /s
OPBOUW MOGELIJK OP	Vlakke oppervlakken/bouwplaten	3D-oppervlak, of op bestaande stukken	Vlakke oppervlakken/bouwplaten
RUWHEID RZ	25-50 µm	60-100 µm	Ra25/35
LAAGDIKTE	≥ 0,02-0,1 mm	≥ 0,03-1 mm	0,01-0,5 mm

Bron: Fraunhofer, SIRRI. Merk op dat de processen snel evolueren en bepaalde gegevens al achterhaald kunnen zijn op het moment van publicatie

ling in real time te laten variëren door het stuk heen; tegelijk zijn de toleranties van het gebruikte poeder breder dan bij poederbedtechnologieën, wat resulteert in een goedkopere grondstof. Een opmerking hierbij is dat het aantal DED-installaties vrij beperkt is en dat dit printwerk nog vaker wordt geoutsourcet naar gespecialiseerde bedrijven.

3.2 Directed Energy Deposition – draad

In dit proces, ook vaak Laser Metal Deposition (LMDw) genoemd, wordt een metaaldraad gevoerd door een spuitstuk en gesmolten met een laser onder beschermgas; in principe kan dit proces in een open omgeving plaatsvinden (onder beschermgas) of in een afgesloten kamer. Net zoals bij het poedergebaseerde LMD is het grote potentieel hier het feit dat men bijzonder grote opstellingen kan bouwen. Bovendien is het een zeer snel proces, waarbij er tot meer dan 9 kg/uur kan worden gedeponeerd. Een belangrijk (mogelijk) nadeel van dit proces is de oppervlakteruwheid; de stukken die met LMDw worden vervaardigd, zien eruit als een opgelast stuk; zeker waar er een aansluiting gemaakt moet worden met andere stukken, is er dus een nabewerking nodig. Er is aangetoond dat de metallurgische eigenschappen van het proces behoorlijk onder controle zijn en vergelijkbaar met traditioneel laswerk. Relatief nieuw op de markt is Rapid Plasma Deposition™, een DED-technologie waarbij titaandraad wordt gesmolten door middel van een plasmatoorts.

4. Binder Jetting

Het woord zegt het al, bij Binder Jetting wordt een binder gespoten op het (in een poederbed uitgerold) metaalpoeder. Wat uit de machine komt, is dus een combinatie van lijm en poeder. De technologie biedt heel wat voordelen zoals snelheid en bouwmaat, maar de nabehandeling is essentieel voor structurele onderdelen. Het gaat om een warmtebehandeling om de binder uit te branden, plus eventuele infiltratie met andere materialen. Om een hogere dichtheid te bereiken, is een verdichtingsproces nodig (zoals Hot Isostatic Pressing). Voorstanders van de tech-

nologie halen aan dat er ook bij de andere processen vaak nog gelijkaardige warmtebehandelingen nodig zijn. Essentieel is dat bij Binder Jetting het poeder niet gesmolten wordt tijdens het bouwproces. Dat resulteert in een hogere productiesnelheid en een hoge resolutie en afwerking. Dunne wanden en fijne kanaaltjes zijn geen probleem: het ongebruikte poeder is niet gesinterd en laat zich dus gemakkelijk verwijderen. De dimensionale nauwkeurigheid varieert van ca. 0,13 mm tot 1,3 mm, afhankelijk van de grootte van het component. Afmetingen tot 800 x 500 x 400 mm zijn mogelijk.

VERGELIJKING MET ANDERE METAALVERWERKINGSSYSTEMEN

Over het algemeen kunnen we stellen dat geprinte stukken, uiteraard afhankelijk van proces en type metaal, gelijkaardige en soms zelfs betere kwaliteiten hebben dan gegoten materialen – wat betreft treksterkte, elasticiteitsmodulus, breukrek en hardheid. Om de mechanische eigenschappen te optimaliseren, is er meestal wel een warmtebehandeling aangegeven. Door specifieke behandelingen kunnen interne spanningen en porositeit worden weggevoerd. De nabewerking en een gegarandeerde materiaalconsistentie zijn punten waar in snelt tempo aan gewerkt wordt. Het is echter belangrijk voor ogen te houden dat Additive Manufacturing ontegensprekelijk merites heeft voor specifieke toepassingen. Omgekeerd ligt de tijd dat men claimde dat AM alles zou vervangen, gelukkig al even achter ons.

CONCLUSIE

Een aantal essentiële voor- en nadelen van de verschillende technologieën zijn weergegeven in bovenstaand schema. Het spreekt voor zich dat het aantal voor- en nadelen niets zegt over de verdienste van de technologie in kwestie – die verdienste wordt grotendeels bepaald door de eigenlijke ontwerpparameters van de stukken die men wil printen. Het is belangrijk zich uitgebreid te laten adviseren bij het maken van keuzes. □

WinMax®

Beheers
succes
intuïtief



Krijg meer met de snelste besturing in de industrie

HURCO®
mind over metal™

www.hurco.eu