

ADDITIVE MANUFACTURING MET EEN ELEKTRISCHE BOOG

Additive Manufacturing is een proces voor het fabriceren van producten op basis van 3D-modellen, door het laag voor laag toevoegen van materiaal, dit in tegenstelling tot conventionele productiemethoden, zoals het verspanen van materialen. De term Additive Manufacturing omvat een breed scala van technologieën, zoals selective laser melting (SLM), direct laser fabrication of processen met een elektrische boog voor het toevoegen van draad. Deze technologieën worden gebruikt in diverse industrietakken, van automobiel, elektronica en verbruiksartikelen evenals voor medische toepassingen. Vele bedrijven vertonen interesse in Additive Manufacturing voor het ontwerpen van betere producten, vanwege de voordelen die het proces heeft ten opzichte van traditionele technieken.

Thomas Baaten, Koen Faes - Belgisch Instituut voor Lastechniek
Coauteur: Aurélie Anne, Laurent Dubourg - Institut MAUPERTUIS - Centre de Ressources Technologiques en Productique & Mécatronique

CONTEXT

De term '3D-printen' omvat verschillende methodes van additive manufacturing. De gebruikte technieken verschillen qua principe, maar het idee van additive manufacturing is hetzelfde: stukken produceren door materiaal toe te voegen in plaats van door het traditionele wegnemen van materiaal

uit massieve stukken. Deze revolutionaire manier van fabriceren brengt, zoals vele innovaties, economische en technische voordelen met zich mee.

Dit artikel gaat over de voordelen, toepassingen en beperkingen van additive manufacturing met een elektrische boog voor het maken van metalen onderdelen (Figuur 1).

PRINCIPE

Zoals de naam al suggereert, gebruikt additive manufacturing met een elektrische boog elektrische energie om een toevoegmateriaal te smelten. Deze technologie lijkt op het traditionele smeltlassen. De ontwikkeling van de additivemanufacturingtechniek met elektrische boog heeft een grote sprong gemaakt door de evolutie in de lasmachines; synergische stroombronnen, de vorm van de lastoortsen enz.

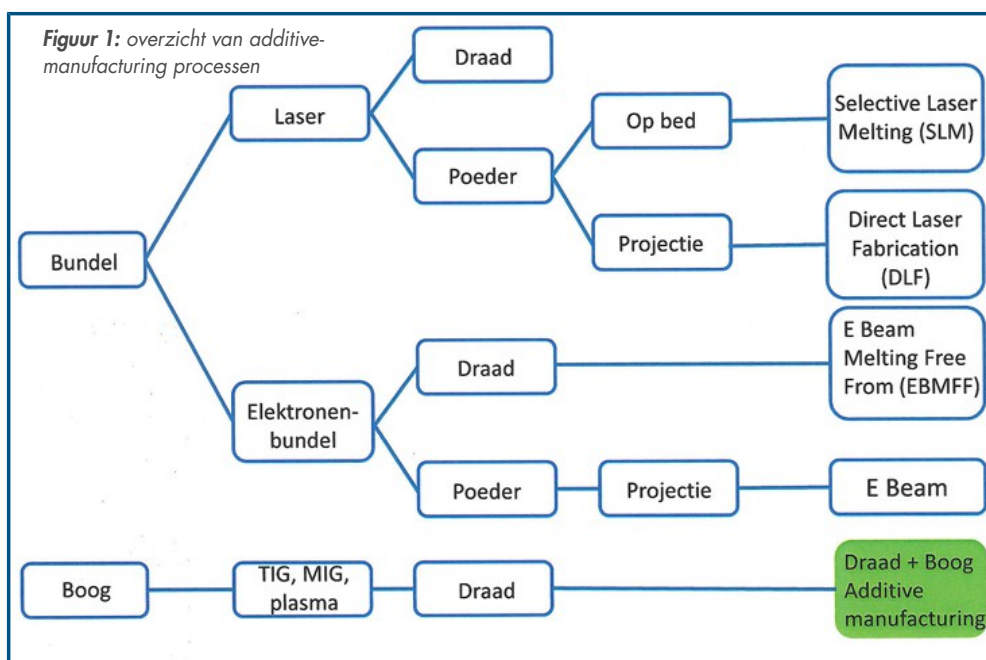
VOORDELEN EN TOEPASSINGEN

Zoals alle andere additivemanufacturingprocessen laat deze fabricagetechniek toe om complexe stukken te maken met een grote ontwerp vrijheid, en de techniek is kostenefficiënt (weinig of geen afval). Andere voordelen, eigen aan deze techniek, zijn terug te vinden in verschillende gebieden:

- Investering: de initiële investering is gelijkaardig aan deze van een lasrobot. De apparatuur is goedkoper dan een freesmachine.
- Rendement: additive manufacturing met een elektrische boog heeft een grotere neersmeltsnelheid dan laser additive manufacturing (Figuur 2).
- Afmetingen van de stukken: doordat lasprocessen met een robot geautomatiseerd kunnen worden, leent additive manufacturing met elektrische boog zich tot het maken van vrij grote stukken (3D-geometrieën in Figuur 4 en Figuur 5).
- Materialen: in tegenstelling tot laser additive manufacturing wordt additive manufacturing met elektrische boog niet of weinig beïnvloed door de reflectiviteit van materialen (zoals aluminium, koper, titanium).

Toepassing in titanium:

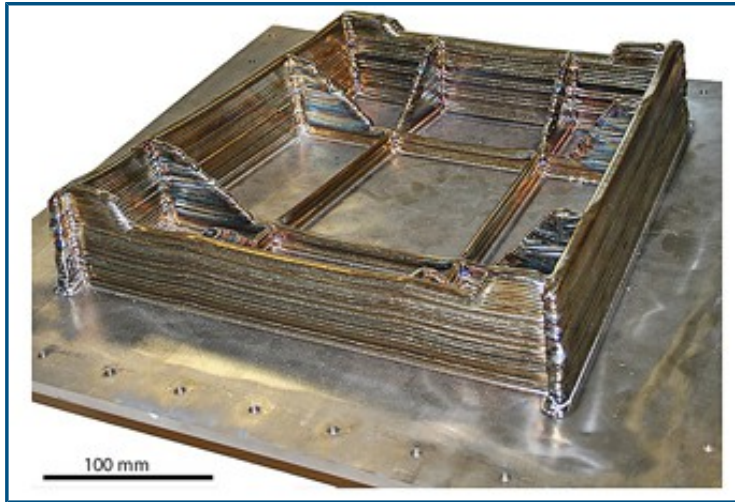
Additive manufacturing leent zich voor het maken van complexe stukken met een hoge toegevoegde waarde. Het is dan ook logisch om het te gebruiken voor onderdelen in titaan. De toepassingen situeren zich in de luchtvaart, medische



TECHNOLOGIE	NEERSMELTSNELHEID (KG/H)
DIRECT LASER FABRICATION (DLF)	0,9 – 4,5
SELECTIVE LASER MELTING (SLM)	0,06 – 0,12
ELECTRON BEAM MELTING FREE	10
TIG-LASSEN MET TOEVOEGMATERIAAL	1,5
PLASMALASSEN MET TOEVOEGMATERIAAL	1,8
COLD METAL TRANSFER (CMT)	2,6

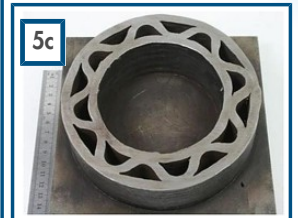
Figuur 2: neersmeltsnelheid van verschillende additive manufacturing processen

Figuur 3: luchtvaarttoepassing gemaakt met plasmalassen met toevoegmateriaal [1]



Figuur 4: proef uit het MX3D-project: additieve manufacturing van een brugstructuur [3]

Figuur 5: productie van spitsbogen met gepulseerd MIG-lassen [4] – hoogte: 800 mm; diameter: 160 mm; gewicht: 32 kg



toepassingen, gereedschappen enz. De Universiteit van Cranfield heeft aangetoond dat het mogelijk is om op een snelle manier stukken te produceren in titanium met een reproduceerbare kwaliteit (Figuur 6). Een eindige-elementenmodellering laat toe de effecten van de parameters op de vorm van het neergesmolten materiaal te bepalen en het opgebouwde volume te voorspellen. Deze stap maakt het mogelijk om het neersmeltraject offline te bepalen. Het model kan ook het effect voorspellen van de stapelvolgorde op de micro-

structuur en de krimp. De spanningswisselingen in de onderliggende passen, veroorzaakt door de bovenste (herhaaldelijk uitzetten en inkrimpen), veroorzaken plastische vervorming. Dit vermindert de restspanningen in het neergesmolten materiaal en maakt de microstructuur meer uniform.

BEPERKINGEN

Sommige beperkingen van additieve manufacturing met elektrische boog houden verband met deze

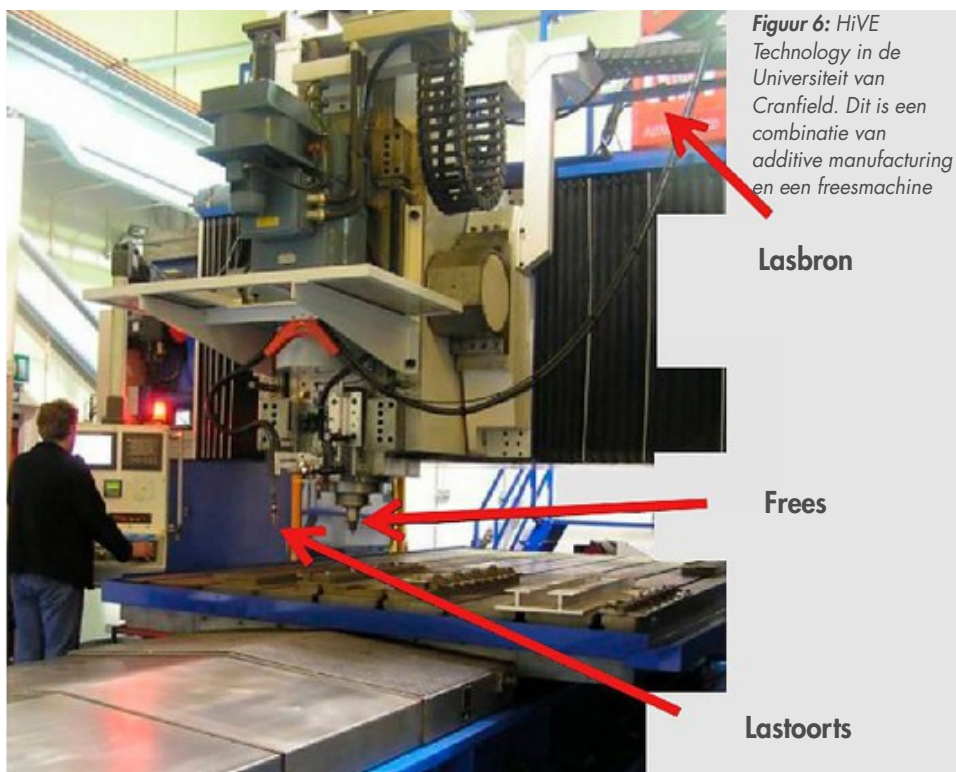
van het booglassen:

- Onnauwkeurigheid van de laspassen: tijdens het booglassen ontstaan er lasspatten en treedt er vervorming op. Dit beïnvloedt de herhaalbaarheid van het lasproces (Figuur 7). Er zijn hoogteverschillen waargenomen van enkele millimeters in producten, vervaardigd met additieve manufacturing met TIG en plasma [2]. In de startlocatie kunnen er soms overdiktes waargenomen worden. De oriëntatie van laspassen en de homogeniteit van de gestapelde lagen zijn de uitdagingen van additieve manufacturing met een elektrische boog.
- Afkoeltijd van de tussenlagen: de afkoeltijd van de tussenlagen kan hoger zijn dan deze van de bovenste lagen. Dit beïnvloedt de kwaliteit van het neergesmolten materiaal, de restspanningen en de homogeniteit van het stuk.
- Holtes en porositeiten: additieve manufacturing-processen met draadtoevoer kunnen een minder compacte neersmelt vertonen dan additieve manufacturing-processen met poeder. De oppervlaktenspanning van het smeltbad en de hoek van de lastoorts kunnen aanleiding geven tot porositeiten.

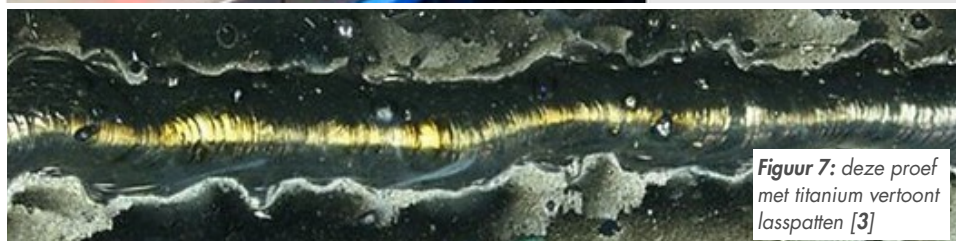
HET COLDMETALTRANSFERPROCES (CMT)

Het CMT-lasproces (ontwikkeld door Fronius) bevordert de stabiliteit van het lasproces en lijkt voor een deel aan de eerder vermelde problemen tegemoet te komen. Door het herhaaldelijk terugtrekken en aanvoeren van de lasdraad tussen elke kortsluiting wordt het aantal lasspatten tot een minimum herleid, vermindert de warmte-inbreng en wordt een meer precieze neersmelt bekomen. Een vermindering van de opmenging met 50% t.o.v. het MIG- en TIG-lassen wordt door Fronius vooropgesteld. Dit is een belangrijk technisch voordeel op het vlak van vervormingen. Het CMT-proces is de laatste jaren verder geëvolueerd om voor specifieke toepassingen te kunnen dienen. De verschillende ontwikkelingen zijn:

- CMT pulse (CMT-P): combinatie van een CMT-cyclus en een gepulseerde cyclus van de lasboog;
- CMT advanced (CMT-ADV): afwisselend positieve en negatieve polariteit van de CMT-



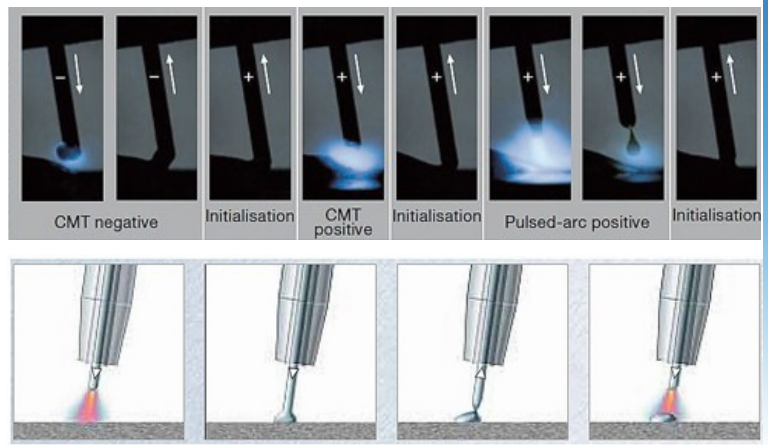
Figuur 6: HiVE Technology in de Universiteit van Cranfield. Dit is een combinatie van additieve manufacturing en een freesmachine



Figuur 7: deze proef met titanium vertoont lasspatten [3]



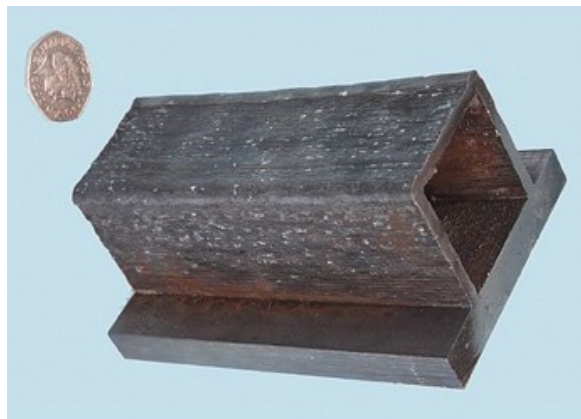
Figuur 8: voorbeeld van een opgebouwde 'muur' in Ti6Al4V met plasma-lassen met toevoegmateriaal [2]



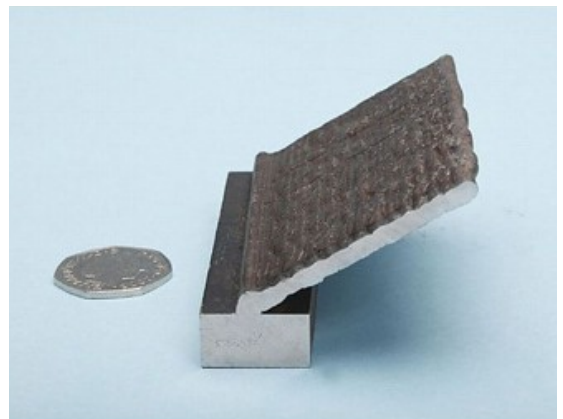
Figuur 10: CMT-neersmeltcyclus (a: CMT, b: advanced pulse)



Figuur 9: Fronius TransPuls Synergic 3200 CMT G/W – CMT lastoestel dat pinnetjes lasdraad last www.algametal.com.tr



Figuur 11: voorbeelden van toepassingen in staal met CMT



lasboog;

- CMT advanced pulse (CMT-PADV): dit proces kan interessant zijn voor additive manufacturing van aluminium [6];
- CMT pin: het lassen van pinnetjes (Figuur 9);
- Twin CMT: gesynchroniseerd lassen met twee lasdraden die door eenzelfde lastoort aangevoerd worden, maar die afzonderlijk geregeld kunnen worden.

Hierdoor neemt de neersmeltssnelheid toe. Het nadeel is dat de mogelijke toortshoeken beperkt worden.

LASPERIMENTEN MET STAAL

Additive manufacturing met CMT biedt vele mogelijkheden van te produceren geometrieën (Figuur 11[7]). Doordat het mogelijk is om onder hoek te

stapelen, is er een zekere flexibiliteit wat betreft het traject, zolang de voortloopsnelheid niet te hoog is (lager dan 0,4 m/min. in het geval van horizontale delen [7]). Fig. 12 toont het verband tussen de voortloopsnelheid en de draadtoevoersnelheid op de breedte van het neergesmolten materiaal.

TOEPASSING IN ALUMINIUM

De conventionele processen lijken niet geschikt voor additive manufacturing van aluminium, omdat er veel porositeiten in het lasbad ontstaan. Het CMT-proces, meer bepaald CMT-PADV, lijkt meer geschikt.

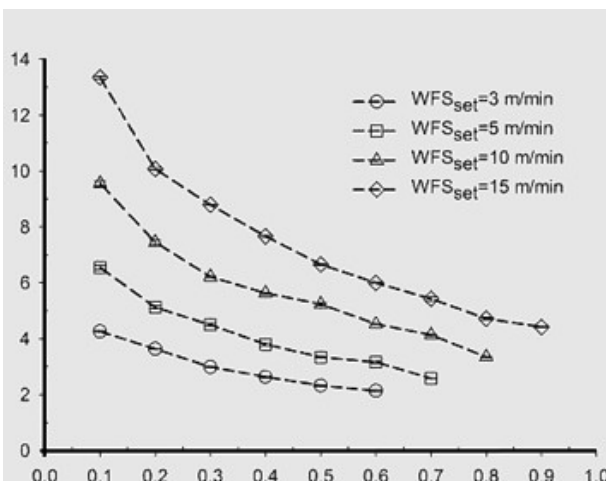
De beperkte warmte-inbreng en het reinigende effect van de boog tijdens de omgekeerde polariteit beperken het ontstaan van porositeiten. Daar-

naast is de gevormde microstructuur fijner dan bij CMT-P (Figuur 13[6]).

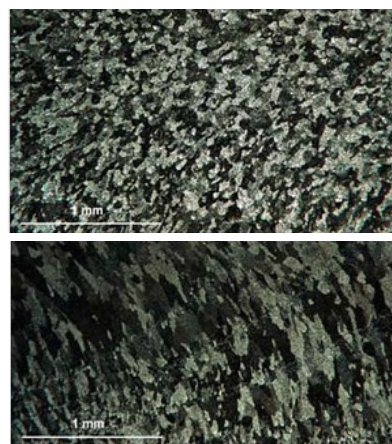
CONCLUSIES – PERSPECTIEVEN

Van luchtvaarttoepassingen tot juwelen, van prototypes tot industriële toepassingen, van een enkel stuk tot grote series, de interesse voor additive manufacturing neemt almaar toe en de techniek blijft verder evolueren. Additive manufacturing met een elektrische boog kan voldoen aan de verwachtingen van gebruikers die op zoek zijn naar een hoge productiviteit en een lage investering. De matige geometrische kwaliteit ten gevolge van krimp en de heterogeniteit van de stukken vormen de voornaamste beperkingen.

Bedrijven die geïnteresseerd zijn in deze technieken kunnen steeds contact opnemen met het BIL ([Koen Faes, koen.faes@bil-ibs.be](mailto:Koen.Faes@bil-ibs.be))



Figuur 12: verband tussen de voortloopsnelheid en de draadtoevoersnelheid op de breedte van het neergesmolten materiaal



Figuur 13: microstructuur van een opgebouwde 'muur' in aluminium 2023, draadtoevoersnelheid = 6 m/min. (a: CMT-PADV (voortloopsnelheid = 0,6 m/min., b: CMT-P (voortloopsnelheid = 0,8 m/min.))

REFERENTIES

- [1] F. Martina (2014) Investigation of methods to manipulate geometry, microstructure and mechanical properties in titanium large scale wire+arc additive Manufacturing: PHD these. Cranfield University.
- [2] F. Martina. Investigation of benefits of plasma deposition for additive layer manufacture of Ti-6Al-4V. Journal of Materials Processing Technology, Volume 212, Issue 6, June 2012 Pages 1377-1386
- [3] Innovative process model of Ti-6Al-4V additive layer manufacturing using cold metal transfer (CMT). Welding Engineering Research Centre (WERC), Cranfield University
- [4] <http://mx3d.com/about/>
- [5] Dr P. Colegrove. High deposition rate high quality metal additive manufacture using wire + arc technology
- [6] J. Gua. Wire+arc additive manufacture of aluminium
- [7] P. Kazanas. Fabrication of geometrical features using wire and arc additive