

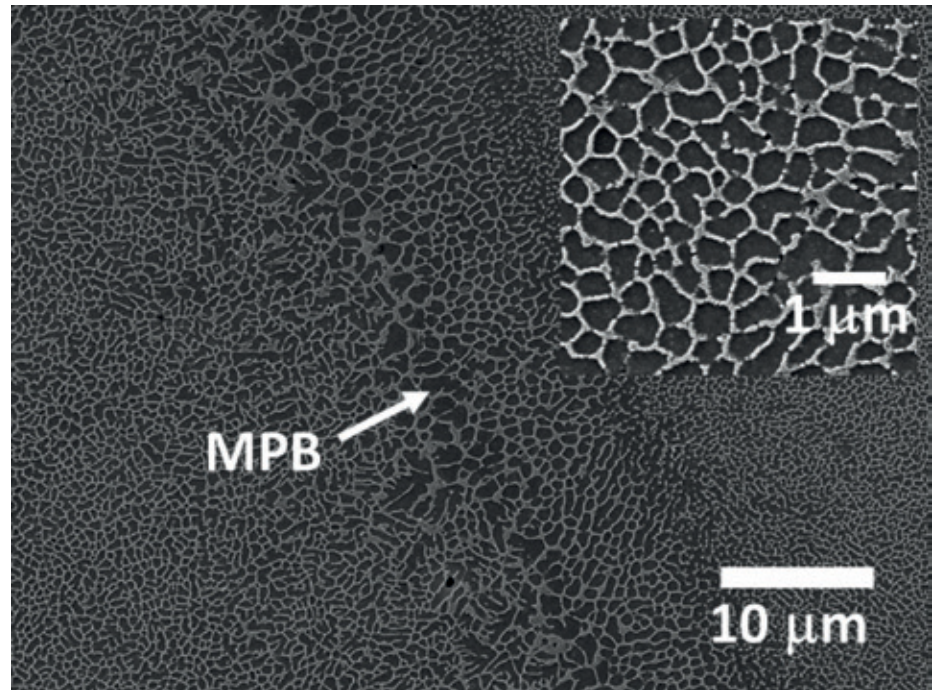
Jawel, 3D geprinte metalen gaan ook roesten!

i VUB, SURF Group of Electrochemical and Surface Engineering
Iris De Graeve

Jawel, 3D geprinte metalen gaan ook roesten! Althans als we het hebben over ijzerlegeringen.... De andere metalen die we printen gaan corroderen... ja, de correcte wetenschappelijke terminologie is belangrijk in dit verhaal. 3D printing of Additive Manufacturing zien we in meer en meer sectoren intrede doen om verscheidene redenen: lager gewicht door geoptimaliseerd ontwerp, snelle productie van vervangstukken (dus minder stock nodig), minder nood aan assemblage van complexe producten, mogelijkheden tot herstel via 3D printing, "custom fitting", enz.

Ook tal van printmethodes voor metalen vinden hun weg naar onderzoek en exploitatie, en worden geoptimaliseerd naar printsnelheid, efficiëntie van materiaalgebruik, energieverbruik enz. Op vlak van product-eigenschappen wordt er vooral gewerkt aan het mechanisch gedrag waaronder sterkte en vermoeiing. Echter zien we dat in bepaalde sectoren het uitrollen van de technologie nog niet volledig is gebeurd en daarvoor is een goede reden: de kwaliteit is niet steeds even betrouwbaar – lees: reproduceerbaar- en dan ook vooral die van de geprinte oppervlakken die vaak te ruw zijn, poriën bevatten en andere defecten die de vermoeiingsweerstand negatief beïnvloeden en nabehandeling vragen. Echter, even belangrijk: de geprinte metalen hebben unieke en meestal zeer fijne microstructuren, zoals getoond in figuur 1 voor een LPBF (Laser Powder Bed Fusion, of ook wel SLM Selective Laser Melting genoemd) geprint aluminium-silicium (Al-Si), die aanleiding geven tot unieke corrosiemechanismen.

Het onderzoek op corrosie van 3D geprint aluminium begon pas een vijftal jaar geleden en de resultaten werden voor



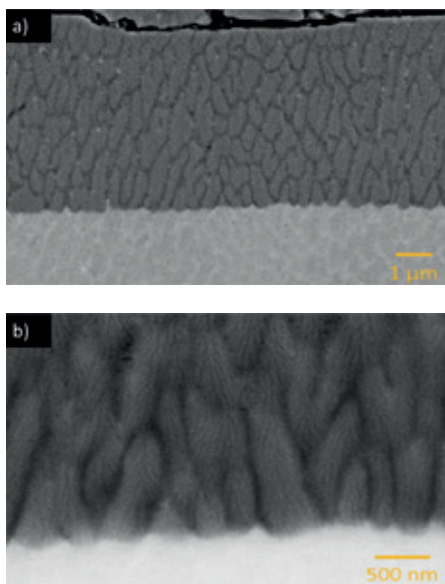
Figuur 1: SEM beelden van Laser Powder Bed Fusion (LPBF) geprint aluminium-silicium (AlSi10Mg bevat 10% Si) met in het midden een melt-pool border (MPB) aangeduid waarin het silicium een minder fijne precipitatie vertoont dan naast de MPBs. De inzet rechtsboven zoomt in op het siliciumnetwerk (licht grijze fase) dat bijna continu verbonden is, en kleine aluminiumhoudende cellen (donker grijze fase) omsluit.

het eerst de wereld in gestudeerd via publicaties door VUB-SURF! Het zette een golf in gang om dan ook maar die andere metalen onder de loep te nemen en wat bleek: jawel, alle 3D geprinte metalen kunnen wel degelijk corroderen. Opmerkelijk is dat de corrosie zich steeds via - tot dan ongekende mechanismes manifesteert maar zeker niet steeds erger is dan bij de conventionele metalen. De gekende beschermingsmethodes tegen corrosie moeten dan ook wel herbekeken worden als we ze overwegen aan te brengen op 3D geprinte metalen want niet elk proces zal zich gedragen zoals op de conventionele gewalste platen, extrusieprofielen of gegoten substraten.

Neem nu het anodiseren van aluminium, toegepast in vliegtuigen, architectuur, maritieme structuren, automobielen en in vele

andere sectoren: op 3D geprinte Al-Si legeringen, tot nu toe de meest gebruikte legeringen in aluminium AM, is de anodisatielaag opgebouwd uit een siliciumoxide netwerk dat kleine cellen van poreus aluminiumoxide insluit, zoals getoond in figuur 2. Deze structuur is mijlenver van de gekende parallelle poriën, maar niet minderwaardig op vlak van corrosieweerstand. Ook de elektrochemische conversiesystemen, die we in veel toepassingen gebruiken vóór het aanbrengen van een poedercoating, grijpen anders aan op 3D geprint Al-Si: de fijne distributie van het siliciumnetwerk doet de conversielaag uniform initiëren en geeft aanleiding tot een volledige bedekking in het geval van de zirkoniumconversie.

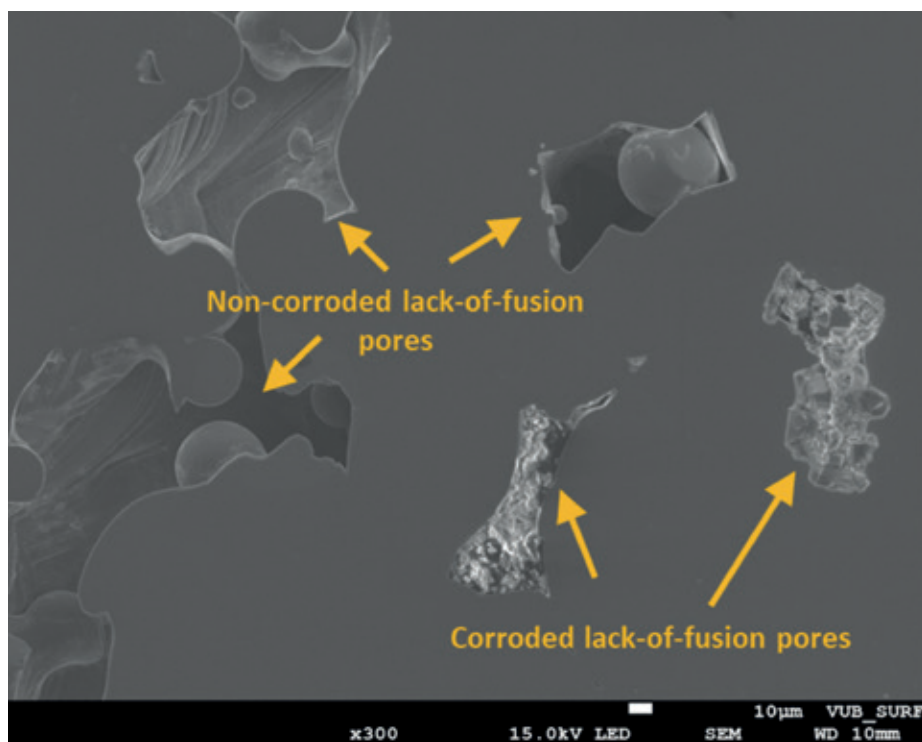
Roestvaststaal 316L, de meest gebruikte roestvaste legering van staal, wordt ook



Figuur 2: SEM beelden van een cross-sectie van zwavelzuur geanodiseerd LPBF geprint AlSi10. De oxidelaag (bovenste deel van de beelden) bestaat uit een bijna-continu netwerk van siliciumoxide (donker grijs netwerkfase) en poreus aluminiumoxide in de omsloten cellen (lichter grijze fase).

via AM gemaakt en we weten al langer dat bij langere blootstelling aan chloridehoudende milieus corrosie kan optreden, en zo ook op het geprinte materiaal. Echter de poedergebaseerde AM resulteert in een cellulaire microstructuur met nobele celgrenzen - rijk in Cr, Ni, Mo- die ijzer insluiten; deze cellen zijn bij LMD (Laser Metal Deposition) groter zijn dan bij SLM (Selective Laser Melting), maar helemaal niet aanwezig in gewalst 316L waarin alle elementen homogeen verdeeld zijn. Deze fijne celgrenzen zorgen voor galvanische corrosie waarbij het ijzer oxideert uit de cellen en de grenzen intact blijven. Let dat deze corrosie in minder diepe putvorming resulteert dan bij de gewalste variant waar de corrosie ook door pitting optreedt maar waar er geen nobele celgrenzen de corrosie tegenhouden om diep in het metaal te propageren. Verder blijkt ook dat de passiverende natuurlijke oxidelaag op AM 316L compacter is dan op de gewalste variant wat ook de corrosieweerstand ten goede komt.

Als we het nu eens over een van de meest corrosiebestendige metalen hebben,



Figuur 3: SEM beeld van LPBF geprint Ti6Al4V na blootstelling aan een corrosief fysiologisch milieu (voor biomedische toepassingen) met enkele lack-of-fusion poriën die corrosie vertonen en enkele onaangestaste LOF poriën, waarin je de niet-gesmolten poederdeeltjes nog aanwezig ziet.

dan komen de titaniumlegeringen als snel in het vizier. De Ti6Al4V is de meest gebruikte voor onder meer biomedische implantaten en gaat onder normale omstandigheden niet corroderen... alhoewel... Eén van de meest voorkomende artefacten van het 3D printen zijn poriën - gasporiën en Lack-of-Fusion (LOF) poriën bij poederprinten. Ze hebben een negatieve impact op de vermoeiingsweerstand, maar nu blijkt ook dat als LOF poriën tussen de 10 en de 30 µm groot zijn, ze corrosie zullen initiëren in dit zeer corrosieresistente titanium. Figuur3. Deze dimensie zorgt voor het ontstaan van zgn occluded corrosie-cellen, waarbij zelfs de passivatielaag van titanium wordt aangetast. Kleinere of grotere poriën hebben dan weer geen effect.

En dan hebben we het nog niet over WAAM gehad: Wire Arc Additive Manufacturing. Een efficiënte AM methode voor de snelle opbouw van grote metallische constructies, maar ook bijzonder interessant voor herstelltoepassingen. In WAAM wordt een metaaldraad gebruikt om laag

per laag een product te printen. Ook hier is corrosie echter niet veraf want door de warmteoverdracht tussen de geprinte lagen ontstaan mogelijks microstructuren met bijzondere korrelgrenzen, afhankelijk van de eventuele thermische nabehandelingen, die gevoelig zijn voor corrosie.

De boodschap van dit alles? 3D geprinte metalen hebben unieke microstructuren en we mogen er niet vanuit gaan dat die gaan corroderen zoals bij de conventioneel geproduceerde varianten. Veel van het onderzoek op AM van metalen moet nog gebeuren om niet enkel de AM methodes te optimaliseren en de mechanische eigenschappen te verbeteren, maar evenzeer om de corrosie te begrijpen en tegen te gaan met oppervlaktebehandelingen die aangepast zijn aan de - in essentie - nieuwe metallische structuren zelfs al komen ze voort uit de conventionele en zeer gekende legeringen.

Hebben jullie corrosievragen bij een 3D geprint metaal, contacteer ons gerust om het samen te onderzoeken!