

Oppervlakte afwerking van stukken geproduceerd via additive manufacturing

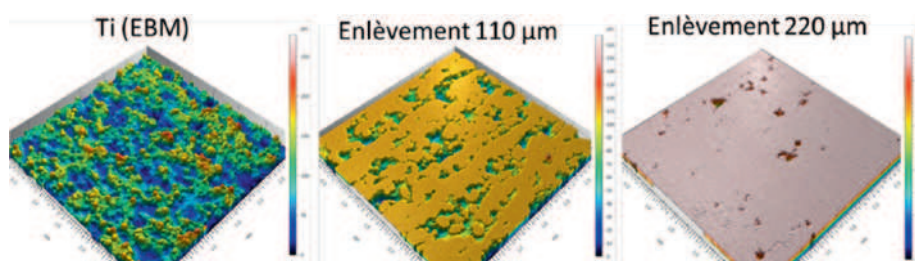
i CRM
Sebastien Le Craz

Additive manufacturing is één van de veelbelovende technologieën die voor metalen baanbrekende perspectieven biedt voor de industrie met een groot potentieel voor geometrische complexificatie van technische onderdelen. Bovendien biedt deze methode de mogelijkheid om nieuwe eigenschappen of functies aan de geproduceerde onderdelen te verlenen.

Dit alles leidt tot een uitgesproken belangstelling van geavanceerde sectoren zoals lucht- en ruimtevaart of de medisch wereld om de grenzen te verleggen tov de meer traditionele technieken.

Het oppervlak van de onderdelen die geproduceerd worden via 3D-printen heeft echter een ruw uiterlijk, dat de functie of het uiterlijk van het onderdeel kan beïnvloeden. Na het 3D printen hebben de stukken een ruwheid van 5 tot 25 μm Ra. Bovendien hebben ze aangehechte deeltjes die kunnen losraken tijdens het gebruik van het werkstuk, evenals kleine oppervlakteruwheden die vaak fungeren als initiator voor scheuren of corrosie. Deze verschillende defecten kunnen schade aan het onderdeel veroorzaken. Om op deze technische uitdagingen een antwoord te bieden, is CRM Group actief in verschillende samenwerkingsprojecten die zich richten op de nabehandeling van het oppervlak via subtractieve of additieve methoden.

De meeste hedendaagse nabewerkingen voor oppervlaktebehandeling zijn "subtractief" en zijn gericht op het verwijderen van het oppervlaktemateriaal totdat het dichte deel van het onderdeel bereikt is en het aldus gladmaakt. Het is daarom belangrijk om deze subtractieve stap mee in overweging te nemen bij het ontwerpen van onderdelen om extra dikte te garanderen. Gecontroleerde mechanische polijstproeven hebben aangetoond dat een dikte van ongeveer 250 μm (figuur 1) nodig is om toegang te krijgen tot de eigenschappen



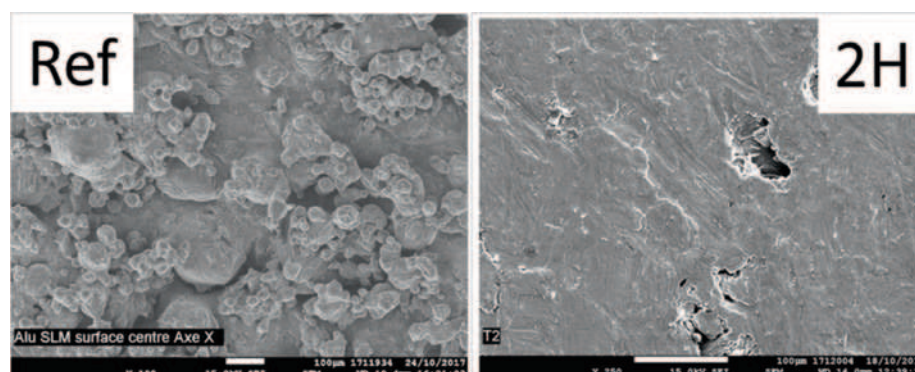
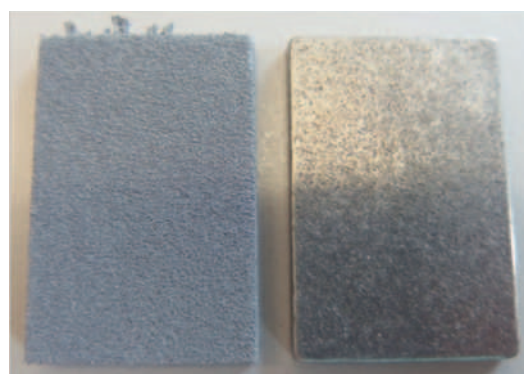
Figuur 1 : 3D interferometrie beeld van het oppervlak van Ti na 3D-printen (links) en na mechanisch polijsten (verwijderen van respectievelijk 110 en 220 μm)

van het bulkmateriaal. Opgemerkt moet worden dat deze waarden variëren van materiaal tot materiaal.

In het kader van de TCAM [1] en ESA [2] samenwerkingsprojecten, werden de volgende subtractieve oppervlaktebehandelingen bestudeerd: tribo-afwerking (glijslippen), chemisch polijsten en elektrochemisch polijsten om hun respectieve mogelijkheden te bepalen om de beoogde oppervlakte-eigenschappen van legeringen van titanium,

aluminium of invar te bekomen na 3D-printen en nabehandelen. De bovengenoemde behandelingen werden gekozen omwille van de toegankelijkheid tot het volledige oppervlak van complexe geometrieën.

Het glijslippen (tribo-finishing) is een chemisch-mechanische methode voor het vergladden van het oppervlak. Het is een eenvoudig te automatiseren methode die compatibel is met de dimensies van stukken geproduceerd door additieve productie-



Figuur 2: Morfologie van het oppervlak van Al 3D-geprinte stukken; na printen (links) en na een glijslipbehandeling van 2u (rechts).

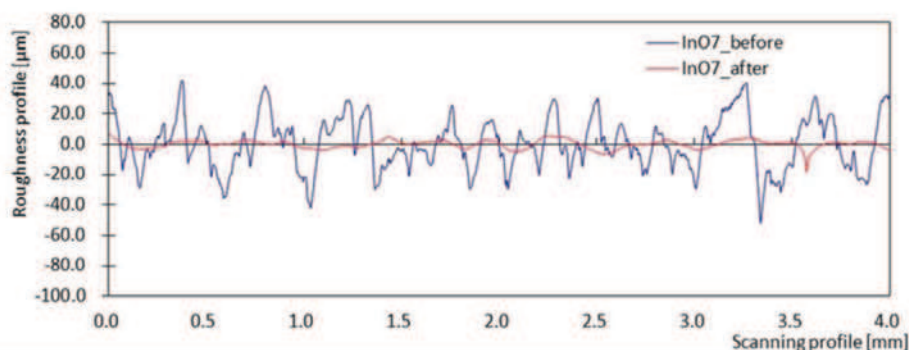
technieken. Een voorbeeld wordt hieronder geïllustreerd voor aluminium AlSi7Mg0.6 :

De belangrijkste nadelen van glijlijpen zijn de duur van de behandeling die erg lang kan zijn, met name voor titanium, de beperkte toegankelijkheid van de schuurmiddelen en een meer uitgesproken erosie aan de randen van de stukken.

In tegenstelling tot glijlijpen, maakt chemisch polijsten een snelle afwerking van onderdelen mogelijk. Bovendien heeft deze methode een uitstekende bereikbaarheid. De grootte van de monsters is ook geen echt probleem voor deze methode. Voorbeelden worden in figuur 3 geïllustreerd voor onderdelen gemaakt in Invar.

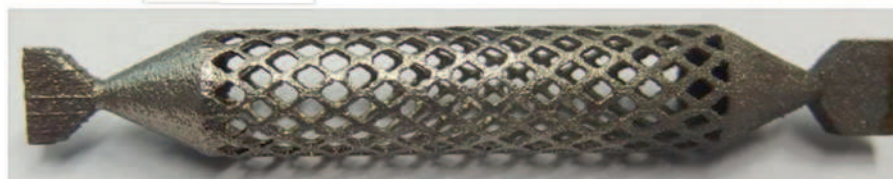
Chemisch polijsten heeft ook enkele nadelen met name het gebruik van gevaarlijke chemicaliën en het feit dat bij de behandeling van complexe onderdelen er plaatselijke overreactiviteit kan optreden, wat aanleiding kan geven tot een inhomogene behandeling.

Elektrolytisch polijsten is ook een methode voor een snelle oppervlaktebehandeling die een ruwheid bereikt die compatibel is met de beoogde specificaties. Bovendien is het



After treatment

Not treated



Figuur 3: Ruwheidsprofiel en oppervlakteaspect van een monster uit Invar waarvan de linkse helft chemisch gepolijst werd. Het ruwheidsprofiel toont voor het behandelde deel de amplitude van de oppervlaktefouten vóór de behandeling (blauw) en na chemisch polijsten (rood).

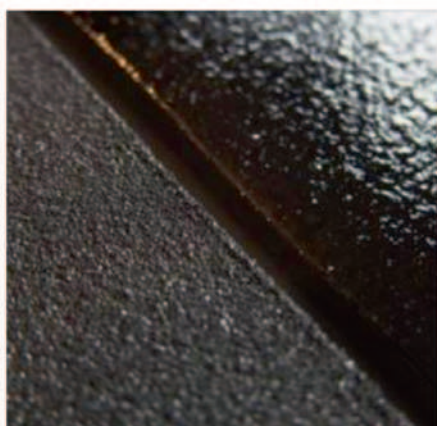
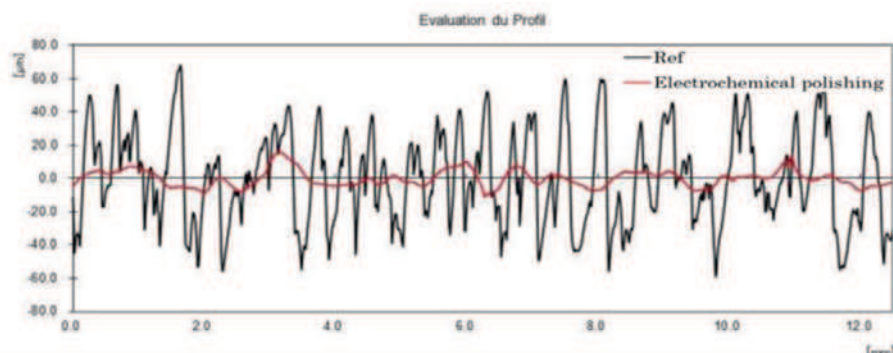
ook mogelijk om de verwijdering van materiaal te controleren door het meten van de geïnjecteerde stroom. Enkele resultaten verkregen op titanium Ti6Al4V worden hieronder weergegeven:

Deze methode maakt ook gebruik van potentieel gevaarlijke chemicaliën. De bereikbaarheid (binnenkant van complexe

onderdelen) van de methode hangt af van het gebruikte elektrolyet maar ook van de gebruikte tegenelektrode.

In plaats van materiaal van het oppervlak te verwijderen om een glad oppervlak te bekomen, kan men ook opteren voor de tegenovergestelde strategie om de uitsparingen in het oppervlak op te vullen om het egaal te maken. Dit wordt de "additieve" benadering genoemd. Hoewel deze strategie minder vaak voorkomt bij het egaliseren van het oppervlak, biedt de aangebrachte egalisatiecoating in sommige gevallen extra functionaliteit aan het oppervlak en worden dus 2 doelen in 1 keer bereikt. In het kader van het samenwerkingsproject TCAM [1] werden twee soorten coatings geselecteerd en onderzocht: metaalcoatings, afgezet door een elektrochemisch proces en keramische coatings afgezet met een sol-gel-proces.

Keramische formuleringen aangebracht via het sol-gel-proces hebben het voordeel dat ze vloeibaar zijn (om de poriën of micro-openingen aan het oppervlak te vullen) en kunnen in dikke lagen aangebracht worden (tussen 20 en 50 μm) om de oppervlaktefouten van dezelfde orde te nivelleren. Bovendien is het mogelijk om deze producten zo te formuleren zodat bekledingen bekomen worden waarvan de intrinsieke ruwheid zeer laag is; het is mogelijk om een oppervlakteruwheid $R_a < 50 \text{ nm}$ te bereiken. Op die manier kan met een vernis of een



Figuur 4: Ruwheidsprofiel en oppervlakteaspect van een monster (Ti-legering) waarvan de bovenste helft electrolytisch gepolijst werd. Het ruwheidsprofiel geeft de ruwheid weer van het behandelde deel, vóór de behandeling (zwart) en na electrolytisch polijsten (rood).

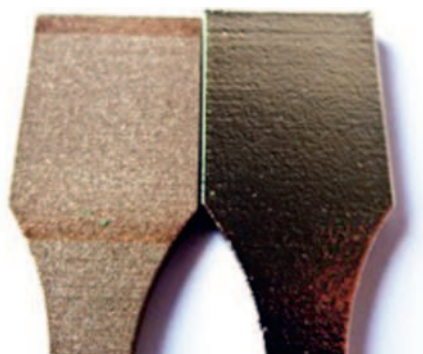


Figuur 5: Foto van een vernislaag en keramisch verf op een Invar stuk na glijlijpen.

keramische verf de ruwheid verminderd worden met een factor ~ 3 tot 6, afhankelijk van het aantal lagen dat op het oppervlak is aangebracht.

Een gladde nikkel-afzetting wordt verkregen door elektrodepositie vanuit een bad dat specifieke additieven bevat. Deze additieven maken het mogelijk de groei van de laag op het niveau van de verhogingen van het oppervlak te vertragen en dus bij voorkeur in de holten af te zetten, hetgeen uiteindelijk een afvlakkingseffect geeft. Door deze methode is het mogelijk om de ruwheid van een oppervlak met een factor 6 te verminderen en kunnen Ra ruwheden van minder dan $1 \mu\text{m}$ bereikt worden. De dikte van de nikkelafzetting moet worden aangepast aan de oorspronkelijke ruwheid van het substraat en de uiteindelijke ruwheid die men wenst te bereiken. Naast hun gladmakende eigenschappen zijn deze nikkelafzettingen dichte, niet-poreuze, goede elektrische geleiders en hebben ze een goede corrosieweerstand en een zeer esthetisch glanzend uiterlijk.

De combinatie van subtractieve en additieve oppervlakteafwerkingen verbetert de



Figuur 6: Illustratie van het oppervlakte aspect van een 3D geprint stuk uit Invar, vóór en na het aanbrengen van een metallische Ni-coating.

kwaliteit van het oppervlak verder om een optische kwaliteit te bereiken, gekenmerkt door een oppervlakteruwheid van minder dan $1 \mu\text{m}$ Ra. Zo kan bijvoorbeeld door het combineren van de chemische polijstmethode op invar, die resulteert in een oppervlakteruwheid van $2 \mu\text{m}$ Ra, met een sol-gelafzetting; een oppervlakteruwheid van minder dan $0,6 \mu\text{m}$ worden verkregen. Toepassingen met betrekking tot deze behandelingen kunnen zeer uiteenlopend zijn: corrosiebescherming, thermische weerstand bij hoge temperatuur ($> 600^\circ\text{C}$), elektrische isolatie, enz.

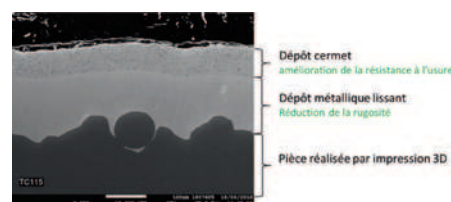
Hetzelfde synergetische effect is aangetoond door chemisch polijsten te combineren met egaliseren met een nikkellaag.

Naast activiteiten met betrekking tot oppervlakteafwerkingen is CRM zeer actief in de ontwikkeling van behandelingen voor oppervlaktefunctionalisatie. De volgende toepassingen zijn onderzocht:

Oppervlakte bevochtiging. De hoge oppervlakteruwheid van stukken bekomen door additive manufacturing gekoppeld aan de vorming van metaaloxiden aan het oppervlak; genereert een hoge oppervlakte hydrofobiciteit. Dit effect kan de versneling van oppervlaktevervuiling veroorzaken door stofdeeltjes, voornamelijk koolwaterstoffen met variërende groottes van submicronschaal tot enkele micrometers of bij het manipuleren van de onderdelen. De omzetting van het oppervlak van hydrofoob naar hydrofiel is gericht op een maximale verspreiding van het water om een zelfreinigend effect of gemakkelijk te reinigen oppervlak te genereren. Deze omzetting kan worden bereikt door bekledingen gebaseerd op metaaloxiden zoals silica (SiO_2) en / of titaniumdioxide (TiO_2) waarvan het oppervlak een hoge affiniteit met watermoleculen heeft. Andere voorbeelden hebben betrekking op een betere stroming van water op of langs oppervlakken van onderdelen die gebruikt worden voor warmtewisselaars of een grotere compatibiliteit met de celweefsel van de implantaten die geproduceerd zijn via additive manufacturing.

Slijtvastheid. De toevoeging van tribologische coatings op het oppervlak van 3D-geprinte stukken kan leiden tot een hogere slijtvastheid. Deze tribologische coatings

kunnen worden aangebracht als vloeistof in de vorm van sol-gels of door een elektrolytisch en droog proces (PVD, thermisch spuiten, enz.). Figuur 7 toont een titaniumstuk (EBM) met een tweelagige coating. De eerste laag is een afzetting van nikkel om de oppervlakteruwheid te elimineren. Een tweede 'cermet' -laag (d.w.z. een metaalmatrix versterkt met keramische deeltjes) werd op de nikkelegalisatie aangebracht om de duurzaamheid van het onderdeel te verbeteren want inderdaad de cermet-afzetting biedt een goede weerstand tegen corrosie en een hoge hardheid (500 - 600 HV), wat een goede slijtvastheid garandeert.



Figuur 7: Voorbeeld van een stuk uit Ti via EBM met een tweelagige bekleding van Ni en Cermet.

Naast de hierboven beschreven processen en om tegemoet te komen aan de toenemende eisen op het gebied van afwerking en functionalisering van additive manufacturing stukken, ontwikkelt het CRM momenteel een technologisch platform voor de automatisering van de volgende processen: elektrostatische vloeistofspray, thermisch spuiten en PVD [3].

- [1] Projet Cornet TCAM (Technical Coatings for Additive Manufacturing, partenaires: SIRRIS, Fraunhofer IAP, CRM, 2016-2018)
- [2] Projet ESA (ESA-ESTEC 4000113253/15/NL/SW. Surface Engineering For Parts Made By Additive Manufacturing)
- [3] Projet FEDER 3D Coater

Auteurs: Nicolas Nutal, Sebastien Le Craz, Jean-Francois Vanhumbeeck, Florin Duranica, Catherine Archambeau