Magnetische legering geprint uit niet-magnetische poeders

19 november 2021, 01:00

Bas Rottier
Olivier Rigo
Thomas Kairet

Uit recent onderzoek blijkt dat het met additive manufacturing (AM) mogelijk is zacht-magnetische materialen te printen met niet-magnetische poeders. De magnetische eigenschappen kunnen bovendien aangepast worden tijdens het in-situ productieproces. Deze bevinding schept nieuwe vooruitzichten voor het printen van magnetische legeringen.

Met additive manufacturing (AM) kunnen onderdelen met complexe geometrieën worden geprint die niet mogelijk of te duur zijn om met standaard technologieën zoals gieten, walsen of persen geproduceerd te worden. Daarnaast kunnen met AM ook gradiëntmaterialen worden verwezenlijkt, waardoor structuren met structurele en fysische eigenschappen gecreëerd kunnen worden die variëren afhankelijk van de plaats in het materiaal of product.

Met deze wetenschap in het achterhoofd zette een team van Russische onderzoekers van onder meer Scholtech een 3D-printer in om twee materialen tot een legering te versmelten, waarvan de samenstelling continu verandert van het ene deel van het proefstuk naar het andere, waardoor de legering gradiënt magnetische eigenschappen krijgt. Ondanks de niet-magnetische aard van de samengestelde materialen is de legering dus magnetisch.

Gradiënte eigenschappen

Naast gebruik te maken van homogeen materiaal of een mengeling doorheen het volledige geproduceerde stuk, kan bij AM de compositie ook variëren van een deel van het stuk naar het andere, waardoor er eigenschappen worden aan toegevoegd die continu veranderen. De onderzoekers realiseerden dit in een staaf, gemaakt uit een legering van twee metalen, waarvan de verhouding verandert van 100 procent van het ene metaal naar 50-50 procent, tot 100 procent van het andere metaal. Op voorwaarde dat de betrokken metalen goed te legeren zijn, zonder het risico op materiaaldefecten, kunnen de gradiënte eigenschappen van de staaf, waaronder magnetisme, technologisch bruikbaar zijn voor bijvoorbeeld motorrotoren, strips voor magnetische encoders en transformatoren.

De onderzoekers gebruikten voor hun experiment de legeringen aluminiumbrons (bestaande uit koper, aluminium en ijzer) en het hoogwaardige staal SS 316L (stainless steel, grotendeels bestaande uit ijzer, chroom en nikkel). Beide legeringen zijn niet-magnetisch. Worden ze echter in gelijke proporties gemengd, dan blijkt de resulterende legering een zachte ferromagneet te zijn, die wel aangetrokken wordt door harde ferromagneten (maar zelf geen magneet wordt).

De onderzoekers maakten geen gebruik van vooraf gemengde poeders, zoals gebruikelijk is, maar rende mate via drie meur was.

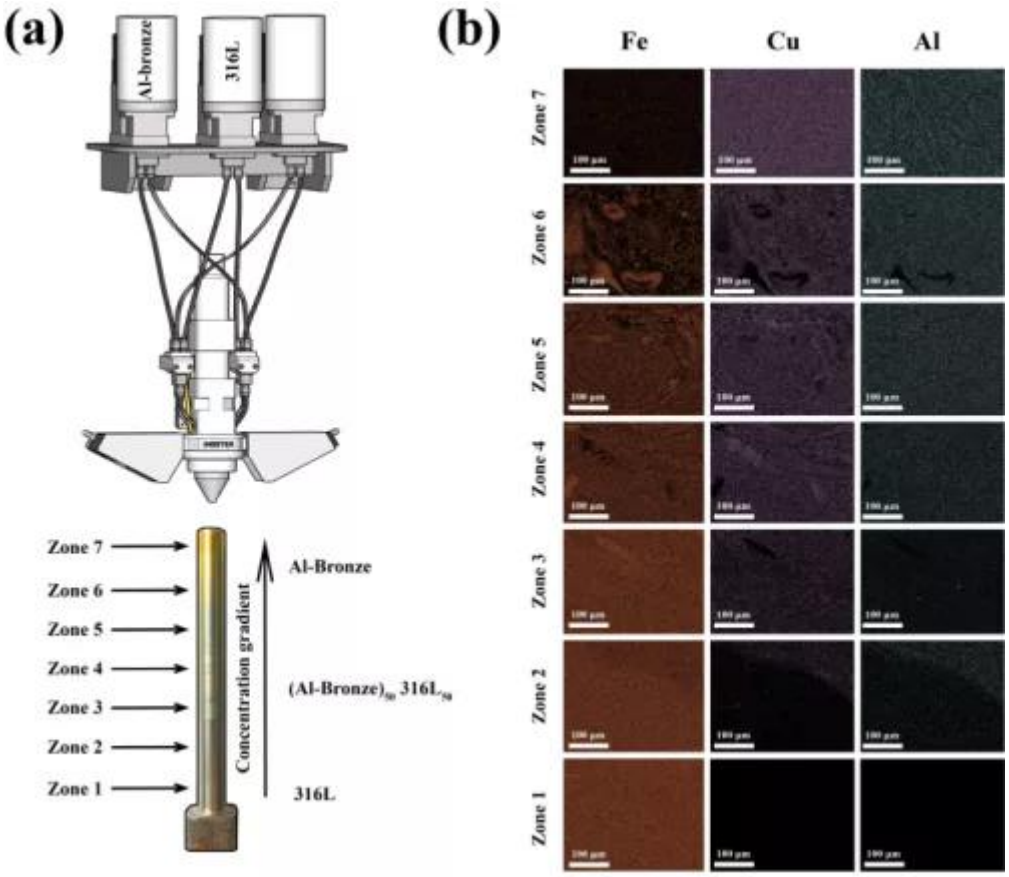


De magnetische eigenschappen van de metalen staaf veranderen continu van niet-magnetisch naar ferromagnetisch en terug door de verschuiving in de relatieve verhouding van de twee samenstellende materialen: staal van mariene kwaliteit (316L) en aluminiumbrons
(Bron: Oleg Dubinin et al./The Journal of Materials Processing Technology)

Proefopstelling

De onderzoekers creëerden de gradiënte legering met een InssTek MX-1000 3D-printer, die gebruik maakt van directe energieafzetting, wat betekent dat het poedervormige materiaal (met korrelgrootte van 45-145 µm) vanuit een spuitkop wordt afgezet en simultaan gesmolten met een laser, met een vermogen van 420 W en een snelheid van 850 mm/min. Dit 'in-situ' smelten tijdens het printproces, aan variabele aanvoersnelheden om verschillende materiaalsamenstellingen en -eigenschappen te bereiken, laat toe zachte magneten uit niet-magnetische poeders te printen, waarvan de magnetische eigenschappen afhangen van de verhouding tussen de twee materialen van de samenstelling.

Het onderzoek kon ook een theoretische verklaring verschaffen voor het ontstaan van de ferromagnetische eigenschappen in de legering, op basis van haar atoomstructuur. Terwijl de twee initiële materialen een vlakken-gecentreerde kubische kristalstructuur (FCC) hebben, resulteert de combinatie van deze twee in een ruimtelijk-gecentreerde kubische kristalopbouw (BCC). In het eerste geval bevinden de metaalatomen zich in de hoeken op de vlakken van denkbeeldige kubussen, in de laatste rangschikking zijn er metaalatomen in het centrum van de kubussen, in plaats van op de vlakken, wat het materiaal zijn ferromagnetische eigenschappen verleent. De fasecompositie van de bereikte gradiënte materialen kan met behoorlijke nauwkeurigheid worden voorspeld met de CALPHAD-methodologie (bewezen methodologie om thermodynamische, kinetische en andere eigenschappen van multicomponentmateriaalsystemen te voorspellen),

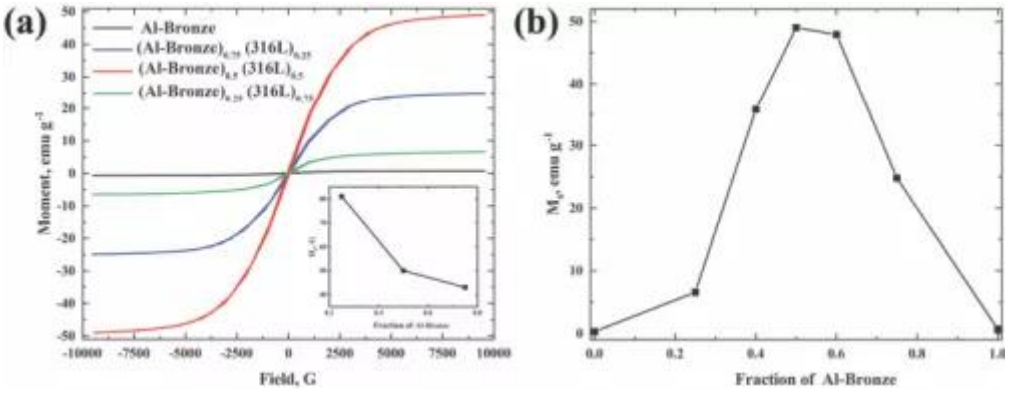


(a) Schema van de printopstelling met verschillende feeders en afbeelding van de geproduceerde staaf met verschillende legeringen (na mechanische bewerking)
(b) EDS-mapping van de verschillende zones in de staaf: er is een evolutie te zien van de voornaamste elementen, ijzer (Fe), koper (Cu) en aluminium (Al), waarbij de concentratie van Fe verkleint van zone 1 tot 7, terwijl die van Cu en Al groter wordt.

Potentieel

De resultaten van het onderzoek verschaffen nieuwe vooruitzichten voor het 3D-printen van gradiënte magnetische legeringen, onder meer voor de productie van onderdelen met magnetisatie variërend van 0 tot 49 emu g-1 en een vrij lage coërciviteit, variërend van 43 tot 81 G. Gradiënte zacht-magnetische legeringen kunnen hun toepassing vinden in de machinebouw, zoals bijvoorbeeld in elektrische motoren.

Bovendien toont het onderzoek aan dat directe energieafzetting niet alleen een manier is om gradiënte materialen te 3D-printen, maar ook om nieuwe legeringen te ontdekken. De technologie is uitermate efficiënt en geschikt om snel onderdelen met grote afmetingen te produceren.

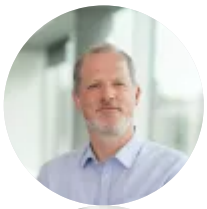


Magnetische eigenschappen van de legering (Al-brons)x(316L)1-x, aan verschillende waarden van x: (a) magnetiseringskromme; (b) verzadigde magnetisaties

Bronnen

- https://www.skoltech.ru
- https://www.sciencedirect.com
- https://arxiv.org

Auteurs



Bas Rottier



Olivier Rigo



Thomas Kairet