

Een legering, licht als aluminium en sterk als titanium

03 juli 2015, 02:00

Kurt Beghyn

Een recent ontwikkelde legering met hoge entropie heeft een hogere sterkte-gewicht-verhouding dan enig ander bestaand metaal. De combinatie van deze eigenschappen is vergelijkbaar met bepaalde keramieken, maar het materiaal is minder bros.

Legeringen met een hoge entropie bestaan uit vijf of meer metalen in ongeveer dezelfde hoeveelheden. Het gaat om een nieuwe klasse van legeringssystemen met meerdere componenten. De legeringen zijn het resultaat van een selectie van elementen die vaste oplossingen vormen als mengsels van concentraties met quasi gelijke atoomaantallen. Deze materialen kunnen aantrekkelijke eigenschappen hebben. In dit geval gedraagt het systeem zich eerder als een ideale oplossing.

Dergelijke materialen hebben een groot toepassingspotentieel, zoals in voertuigen of prothesen.



Sterkte vs. dichtheid van materialen: LDHEA (Low-Density High-Entropy Alloy) verwijst naar het nieuwe materiaal

(Bron: Elsevier/Materials Research Letters)

Terwijl er een blijvend grote interesse is in de ontwikkeling van legeringen met een lage dichtheid en hoge sterkte voor energiebesparende toepassingen, is er slechts weinig onderzoek gedaan naar legeringen met een hoge entropie en lage dichtheid ($< 3 \text{ g cm}^{-3}$). De legeringen waarover tot nu toe wel gerapporteerd wordt, vertonen een goede druksterkte (400-500 MPa) bij kamertemperatuur. De ductiliteit was echter laag, ongeveer 3-5 procent bij compressie. Tot nog toe werd het bestaan van een enkefasige legering met lage dichtheid en hoge entropie niet gerapporteerd.

Mechanisch legeren

Uit de literatuur bleek dat alleen NiFeCrCoMn als een enkefasige kubisch vlakgecentreerde vaste oplossing en legering met hoge entropie vermeld wordt. De huidige onderzoekers [1] vervingen individuele elementen in een NiFeCrCoMn-legering met een gelijk atoomaantal nieuwe elementen die bij kamertemperatuur dezelfde kristalstructuur, vergelijkbare atoomgrootte en gelijkaardige elektronegativiteit hebben als van de vervangen elementen. Alle andere alternatieve vervangingen in de NiFeCrCoMn-legering leidden tot een meerfasige legering. Op basis van literatuurgegevens

werd een kwantitatieve voorspelling gedaan of systemen bestaande uit meerdere componenten zich zouden vormen tot vaste oplossingen, tot legeringen met intermetallische verbindingen of tot metallisch glas. De tot nog toe gevonden legeringen waren allemaal metallisch glas.

Door de hoge dampdruk van verschillende van de elementen (Li, Mg) opteerden de ontwikkelaars voor mechanisch legeren om legeringen te verwezenlijken in plaats van smelten of gieten. $\text{Al}_{20}\text{Li}_{20}\text{Mg}_{10}\text{Sc}_{20}\text{Ti}_{30}$ combineert lithium, magnesium, titanium, aluminium en scandium tot een nieuwe nanokristallijne legering, die mechanisch werd geproduceerd: een enkelfasige kubisch vlakgecentreerde structuur werd gevormd in een kogelmolen en getransformeerd tot een enkelfasig hexagonaal kristalstelsel bij ontlating. Het malen gebeurde de eerste twee uur in vloeibare stikstof, om te vermijden dat de poeders aan het begin van het vermaalprocedé aan elkaar zouden vastlassen. Nadien werd nog 14 uur verder gemalen bij kamertemperatuur. De monsters werden samengeperst tot schijven met een diameter van 6,25 mm en 3 mm dik onder een druk van 2 GPa. De densiteit is vergelijkbaar met die van aluminium, maar het materiaal is sterker dan titaniumlegeringen. Zijn hoge hardheid werd bereikt na ontlating.



Analyse van de monsters met X-straaldiffractie geeft opgesplitste diffractiepieken, waardoor de meting van de korrelgrootte via lijnprofielanalyse onnauwkeurig is. Toch duidt de breedte van de pieken op een nanokristallijne structuur.

Resultaten van mechanisch legeren

De resultaten van het mechanisch legeren moeten onderverdeeld worden in twee materialen: het ene bevat voornamelijk de vijf elementen die intentioneel werden toegevoerd, het andere was aanzienlijk verontreinigd met stikstof en zuurstof. De niet-gecontamineerde versie had een nanokristallijne korrelstructuur met een grootte van ca. 12 nm. De mechanische hardheid van dit materiaal was zeer hoog: 5,8 GPa. Na ontlaten aan 500 °C gedurende 1 uur veranderde de kristalstructuur tot een hexagonale dichtste stapeling en een korrelgrootte van naar schatting 26 nm. Het staal uit het materiaal met de hogere N- en O-concentraties vertoonde na vermalen een structuur die in wezen identiek is aan dat van het niet-verontreinigde staal, met korrelafmetingen van 12 nm, maar met een hogere mechanische hardheid van 6,1 MPa. Na ontlaten aan 500 °C en 800 °C transformeerde dit materiaal niet: de structuur bleef vergelijkbaar met een kubisch vlak gecentreerd (fcc) kristal. Ontlaten aan 500 °C en 800 °C resulteerde in een hardheid van 5,75 GPa. Verder wordt gesuggereerd dat de vrijgestelde warmte tijdens mengen laag zou zijn, in de buurt van het ideale gedrag, om vaste oplossingen te vormen in deze multicomponentsystemen.

De hoge mechanische hardheid van deze legeringen kan deels worden verklaard door hun nanokristallijne korrelgrootte. Toch overtreffen hun hardheidswaarden die van bijvoorbeeld nanokristallijne Al gebaseerde legeringen met een factor 2-3. Een vergelijking van sterkte (geschat als de hardheid/3) en densiteit van deze legeringen met andere structurele materialen maakt duidelijk dat de sterkte /dichtheid-waarden vergelijkbaar zijn met die van keramische materialen, zoals SiC. De auteurs menen dat de nieuwe metallische legering echter een veel hogere taaiheid en vervormbaarheid bezit. Dit blijkt uit de neiging van het poeder om samen te klitten tijdens het malen, de quasi maximale dichtheid van het samengeperste poeder bij kamertemperatuur en de afwezigheid van haarscheurtjes rond de indrukken van de microhardheidsmetingen.

Verder onderzoek

Nadeel is de 20 procent scandium, een zeer duur materiaal. De onderzoekers bekijken momenteel of het scandium niet kan vervangen of weggelaten worden. Op basis van hun resultaten willen de onderzoekers nader ingaan op verschillende samenstellingen bij deze legeringen, op de aanmaak van de legering met andere processen dan mechanisch legeren en op het mechanische gedrag van deze unieke metallische materialen.

Bronnen

- [1] Khaled M. Youssef, Alexander J. Zaddach, Changning Niu, Douglas L. Irving and Carl C. Koch, 'A Novel Low-Density, High-Hardness, High-entropy Alloy with Close-packed Single-phase Nanocrystalline Structures', Mater. Res. Lett., 2015, Vol. 3, No. 2, 95–99
- <https://news.ncsu.edu>
- <http://www.tandfonline.com>

Auteurs



Kurt Beghyn