

Amorfe en hoogentropische metalen

21 april 2017, 02:00

Thomas Kairet

Amorfe en hoogentropische metaallegeringen zijn relatief onbekend, maar vertonen bijzonder interessante mechanische en corrosiebestendige eigenschappen. Een stand van zaken met betrekking tot hun kenmerken, met een voorbeeld van een toepassing (een strain wave gear, of tandwieloverbrenging met grote overbrengingsverhouding).

Hoogentropische metalen behoren tot de materialen met veelbelovende eigenschappen. Een aantal wetenschappelijke artikelen namen onlangs de concepten en eigenschappen van die legeringen onder de loep. Daaruit blijkt dat ze voor een reeks toepassingen veelbelovend zijn in termen van structuur en magnetische eigenschappen, en dat ze een hogere corrosieweerstand vertonen dan klassieke legeringen.

Die legeringen worden verkregen door:

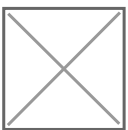
- Een 'cocktail'-effect: er zijn talrijke chemische elementen aanwezig.
- Een snelle afkoeling.
- Een belangrijke vervorming van het kristallijn netwerk dankzij de legeringselementen met een sterk verschillende atoomradius.

Daaruit resulteert een wanordelijke (en dus hoogentropische) microstructuur. Verschillende componenten leiden tot verschillende mechanische eigenschappen.

De hoogentropische legeringen kunnen een schikking over een lange afstand vertonen en de elementen waaruit ze zijn samengesteld, zijn in gelijkaardige verhoudingen aanwezig. Het is niet mogelijk om ze op basis van een hoofdelement te klasseren. De legeringen die glasmetalen worden genoemd, zijn voor hun part totaal amorf; ze vormen een sub-geheel van de hoogentropische metalen [1]. Ze worden gekenmerkt door een hoofdelement : Fe-basis, Cu-basis, Ti-basis, Zr-basis, Mg-basis,...

Legeringen op basis van titanium

Tabel 1 : Compilatie van mechanische eigenschappen van Ti-basis glasmetalen. σ_y : elasticiteitsgrens onder spanning, σ_{max} : maximumspanning, σ_c : σ_y ?ñ. [2], ϵ_f : plastische vervorming



(Klik om te vergroten)

Tabellen 1 en 2 tonen de eigenschappen van talrijke Ti-basis glasmetalen. Hun kenmerken zijn minstens 100% hoger dan die van de luchtvaartlegering Ti-6Al-4V.

Men neemt een grote variabiliteit van de plastische vervorming waar: afhankelijk van de samenstelling, schommelt deze tussen 0 en 11%. Ter vergelijking bedraagt de minimum gegarandeerde vervormbaarheid van Ti-6Al-4V 10%.

De dichtheid van de in de tabellen gelijste glasmetalen is 0 tot 63% hoger dan die van de Ti-6Al-4V-legering waarvan de dichtheid 4.4 is.

Tabel 2 : Compilatie van mechanische eigenschappen van Ti-basis glasmetalen. σ_y : elasticiteitsgrens onder spanning, σ_{max} : maximumspanning, $\sigma_c = \sigma_y \cdot \eta$. [2], ϵ_f : plastische vervorming



(Klik om te vergroten)

Lichte legeringen: Mg-basis

Magnesium is een zeer overvloedig element, hoewel het in vele sectoren onderbenut blijft. Toch zijn de mechanische eigenschappen van de klassieke Mg-legeringen lager dan die van de aluminiumlegeringen (serie 7000 of serie 2999); ze zijn bovendien ontvlambaar.

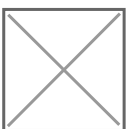
Tabel 3: Compilatie van mechanische eigenschappen van Mg-basis glasmetalen en andere hoogentropische legeringen [3]



(Klik om te vergroten)

De mechanische eigenschappen van deze hoogentropische Mg-legeringen zijn vergelijkbaar met die van de aluminiumlegeringen voor de luchtvaart (tabel 4), voor een 10 tot 20% lagere dichtheid.

Tabel 4: Minimum design allowable extracted from MIL-HDBK-5J



(Klik om te vergroten)

Legeringen op Zr-basis

De mechanische eigenschappen van de Zr-basis glasmetalen zijn vergelijkbaar met die van Ti-basis glasmetalen. Hun Young-module is lager dan die van de andere legeringen (Ti-basis, Fe-basis,...). Ze lenen zich beter voor biomedische applicaties omdat ze een betere biocompatibiliteit vertonen [8].

Tabel 5 : Compilatie van mechanische eigenschappen van Zr-basis glasmetalen. σ_y : elasticiteitsgrens in compressie, σ_f : breukgrens, ϵ_f : plastische vervorming [4]



(Klik om te vergroten)

Corrosieweerstand

De weerstand van de hoogentropische legeringen werd in diverse omgevingen getest; uit die tests blijkt dat hun passiveringsvermogen afhangt van de legeringselementen in de samenstelling. De aanwezigheid van een element als Cr of Al dat niet door een ander element is gesegregeerd, bevordert de corrosieweerstand.



Figuur 1 : Vergelijking tussen de dichtheid van de corrosiestroom en het pittingpotentiaal tussen de hoogentropische legeringen en de klassieke materialen in 3,5% NaCl bij omgevingstemperatuur. [5]

Figuur 1 toont de dichtheid van de corrosiestroom afhankelijk van het pittingpotentiaal in een omgeving bij 3,5% NaCl en figuur 2 verwijst naar de evolutie van de dichtheid van de corrosiestroom in een omgeving bij 0.5 M van H_2SO_4 .

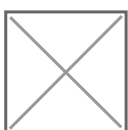


Figuur 2 : Vergelijking tussen de dichtheid van de corrosiestroom en het pittingpotentiaal tussen de hoogentropische legeringen en de klassieke materialen in 0.5 M van H_2SO_4 bij omgevingstemperatuur. [5]

Voorbeeld van een toepassing: Strain wave gear

De NASA heeft een octrooiaanvraag ingediend [6] voor een tandwieloverbrenging waarvan een van de elementen op basis van glasmetaal is. De tandwieloverbrenging bestaat uit 3 grote delen:

- De externe tandring
- De interne, flexibele tandring (flexspline)
- De golfgenerator



Figuur 3 : Schema van de strain wave gear [7]

De grootste puspunten van deze tandwieloverbrenging zijn:

- Een zeer beperkte marge tussen de elementen
- Een hoge overbrengingsverhouding met een grote compactheid
- Een hoog overbrengingskoppel



Figuur 4 : Voorbeeld van een interne, flexibele tandring in glasmetaal te maken [6]

De interne tandring is aanvankelijk cirkelvormig; het wordt door de vorm van de golfgenerator vervormd. Deze flexibele tandring moet worden gemaakt in een materiaal met hoge elastische vervorming maar met een hoge hardheid om te weerstaan aan de slijtage bij contact tussen de tanden van de externe en de interne tandring. Een glasmetaal met zwakke module (glazen op basis van Zr) en met een hoge elastische limiet (tabel 5) heeft voor dit soort van toepassing de ideale eigenschappen.

Bronnen

[1] A critical review of high entropy alloys and related concepts, Acta Materialia 122 (2017) 448-511

[2] Review on the Research and Development of Ti-Based Bulk Metallic Glasses, Metals 2016, 6, 264 (<http://www.mdpi.com/2075-4701/6/11/264>)

[3] An Insight into Evolution of Light Weight High Entropy Alloys: A Review, Metals 2016, 6, 199 (<http://www.mdpi.com/2075-4701/6/9/199>)

[4] A Series of Zr-Based Bulk Metallic Glasses with Room Temperature Plasticity, Materials 2016, 9, 408 (<http://www.mdpi.com/1996-1944/9/6/408>)

[5] Corrosion-Resistant High-Entropy Alloys: A Review, Metals 2017, 7(2), 43 (<http://www.mdpi.com/2075-4701/7/2/43>)

[6] Patent: US 9,328,813 B2 Systems and methods for implementing bulk metallic glass-based strain wave gears and strain wave gear components

[7]https://fr.wikipedia.org/wiki/Engrenage_Å_onde_de_dÅ©formation

[8] Recent advances in bulk metallic glasses for biomedical applications, Acta Biomaterialia 36 (2016) 1–20

Auteurs



Thomas Kairet