

Amorf metaal*

Uitgezonderd glas en kunststof zijn de meeste vaste stoffen (metalen en anorganische materialen) kristallen: dat wil zeggen dat de atomen ervan regelmatig gerangschikt zijn. Stoffen zoals glas, waarbij die regelmatige ordening ontbreekt, worden amorf – "vormloze" – stoffen genoemd. Het is soms mogelijk om stoffen zoals metalen, die normaal kristallijn van aard zijn, in amorphe vorm te brengen. Daarbij ontstaan vaak technische interessante eigenschappen.

Amorf metaal wordt ook wel "metallisch glas" genoemd. Men kan het op een aantal verschillende manieren maken, zoals d.m.v. opdampen of sputteren, maar het meest gebruikelijk is om gesmolten metaal zeer snel af te koelen (snelle stolling). Het metaal wordt dan vast, maar de atomen worden niet de tijd gegund om zich netjes in een regelmatig kristalrooster te rangschikken; de ongeordende toestand van de atomen, zoals die in de vloeibare toestand bestond, blijft min of meer bewaard.

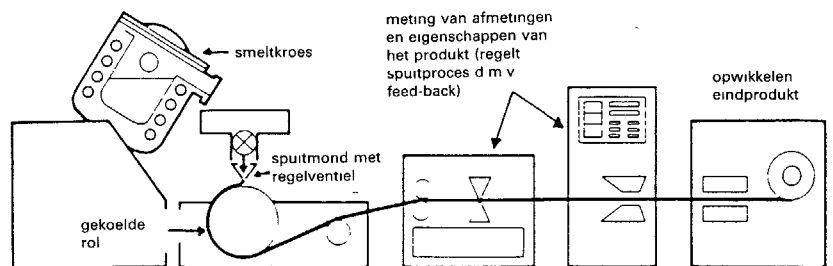
Amorf metaal werd in 1974 het eerst op de markt gebracht, onder de naam "Metglass", door het Amerikaanse bedrijf Allied Corp.; in 1975 ontwikkelde prof. Masumoto van de Universiteit van Tohoku in Japan een serie amorphe legeringen genaamd "Amo-met". Een Japanse overheidsinstantie vond dit een belangrijke ontwikkeling en stelde fondsen beschikbaar waarmee een aantal industriële bedrijven commerciële producten (sterkstroombusjes) konden gaan ontwikkelen op basis van het door prof. Masumoto ontwikkelde materiaal.

Het "Metglass" van Allied Corp. wordt ook in Japan gemaakt door een joint-venture van Allied met enkele Japanse bedrijven, waaronder Toshiba. Figuur 1 laat het fabricageproces van "Metglass" zien. "Metglass" wordt gemaakt in de vorm van tape, tot max. 10 cm breed en 50 micron dik. Variaties op dit fabricageproces zijn ook mogelijk; het "Riken" (overheids-)laboratorium maakt b.v. amorf metaal in vellen van 60 cm breed. Het textielbedrijf Unitika laat vloeibaar metaal afkoelen aan de binnenzijde van een hol wiel, waar zich een koelvloeistof bevindt, vastgehouden door centrifugale kracht, zie figuur 2; hierbij ontstaan draden van ca. 0,2 mm dik, die eventueel dunner gemaakt kunnen worden (tot 20 micron) door conventioneel draadtrekken. Prof. Kimura van de Boei Universiteit gebruikt ongeveer dezelfde methode, maar laat in de

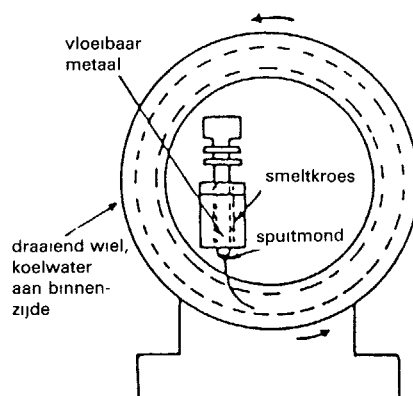
Amorphe legeringen kunnen gemaakt worden door een combinatie van een metaal en een niet-metaal, of door een combinatie van verschillende metalen onderling. In dit laatste geval is de amorphe toestand het makkelijkst te bereiken wanneer de atomen van de componenten sterk verschillen in grootte. Amorphe combinaties van een metaal met een niet-metaal zijn b.v. goud/silicium, ijzer/fosfor of kobalt/borium, amorphe metaal-metaal legeringen zijn b.v. zirconium/koper of tantaal/nikkel.

Amorf metaal kan alleen gemaakt worden in dunne films, draden, coatings of poeders; voorwerpen van grotere afmeting zouden niet snel genoeg kunnen worden afgekoeld. Bij het "Riken" laboratorium en in de Universiteit van Tohoku werkt men ook aan het maken van voorwerpen uit amorf poeder door dit samen te persen met behulp van explosieven.

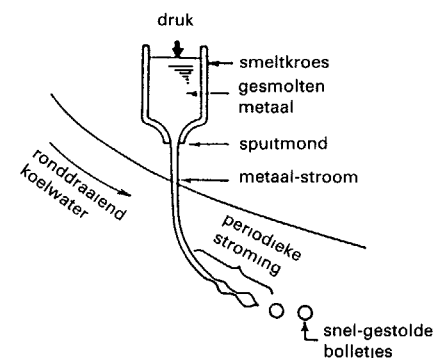
vloeistofstroom vóór het stollen trillingen optreden, waardoor het materiaal stolt in kleine bolletjes die na bewerking geschikt zijn voor gebruik in miniaturkogellagers, zie figuur 3.



Figuur 1 Fabricage van "Metglass". Het gesmolten metaal stolt als het in contact komt met de rol. De afkoelsnelheid is 1 miljoen graden/seconde



Figuur 2 "Draaiende vloeistof"-koelmethode (Unitika)



Figuur 3 Vorming van bolletjes (Boei Universiteit)

* Dit artikel is eerder geplaatst in Technieuws Tokio van het Ministerie van Economische Zaken

Eigenschappen en toepassingen van amorf metaal

Mechanische eigenschappen

Amorfe metalen kunnen heel merkwaardige mechanische eigenschappen hebben. Om te beginnen, hardheid en sterkte. Figuur 4 geeft van enige amorfe materialen de Vickers-hardheid (DPN), de treksterkte τ en de elasticiteitsmodulus E. Waarden als 1.000 DPN voor de hardheid en 4.000 N/mm² voor de treksterkte zijn veel hoger dan bij de treksterkte van gewone metaallegeringen voorkomen.

| legering | hardheid | σ | E |
|------------------|----------|----------|-----|
| Fe80B20 | 1 080 | 3 500 | 170 |
| Fe78B10Si12 | 910 | 3.400 | 120 |
| Fe46Cr16Mo20C18 | 1 130 | 4 000 | — |
| Co78Si10B12 | 910 | 3.060 | 90 |
| Co34Cr28Mo20C 18 | 1 400 | 4 100 | — |
| Ni78Si10B12 | 860 | 2.500 | 80 |

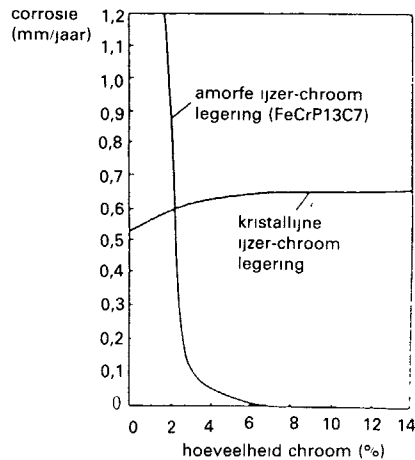
Figuur 4 Mechanische eigenschappen van enkele amorfe legeringen (hardheid Vickers DPN; τ in N/mm²; E in kN/mm²)

Ten tweede, de taaiheid. De meeste stoffen die een hoge hardheid en sterkte bezitten – keramiek en glas zijn hiervan goede voorbeelden – hebben als groot nadeel dat ze bros zijn. Het wonderlijke van amorfe metalen is dat zij zowel hard en sterk, als zeer taai kunnen zijn; zie figuur 5.

| | |
|--------------------------------------|------------------|
| Fe80%P13%C7% (amorf) | 1.100 |
| Pd80%Si20% (amorf) | 400 |
| Cu57%Zr43% (amorf) | 600 |
| gewone ijzer- of aluminiumlegeringen | 100 |
| polymeren | 10 |
| glas | 10 ⁻² |

Figuur 5 Taaiheid in N m/mm² van enkele materialen

In tegenstelling tot bijna alle andere harde materialen kan amorf metaal ook ductiliteit vertonen, d.w.z. dat men het plastisch kan vervormen. Het is b.v. mogelijk snel-gestolde amorfe vezels dunner te maken door draadtrekken, zoals bij de vezels van Unitika. Amorfe vezels kunnen vrij sterk, ca. 3%, uitgerekt worden voor zij breken. Gecombineerd met de hoge elasticiteitsmodulus betekent dit dat zij veel elastische energie kunnen opnemen, zelfs meer dan koolstofvezels en aramide. Op "zweep" belaste voorwerpen zoals golfstokken en hengels worden nu ook met Unitika vezels versterkt.



Figuur 6 Corrosie van een kristallijn en een amorf metaal in 1-normaal zoutzuur bij 30 °C

Corrosievastheid

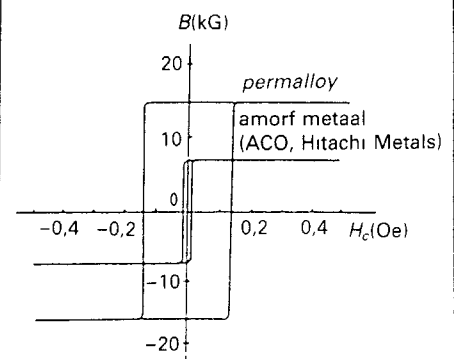
Daar amorf metaal zich niet in een thermische evenwichtstoestand bevindt – vergelijkbaar met een onderkoelde vloeistof – zou men kunnen verwachten dat het chemisch nogal actief materiaal is dat snel corrodeert, maar dat hoeft helemaal niet het geval te zijn. Er kan juist een enorm goede corrosievastheid worden verkregen door een tweede metaal, b.v. chroom, toe te voegen aan een amorfe legering, bestaande uit ijzer of kobalt gecombineerd met een niet-metaal. Figuur 6 illustreert dit. Het corrosiegedrag van een amorfe legering wordt vergeleken met dat van een gewone legering van ijzer en chroom. Bij een chroomtoevoeging van 8% neemt de corrosie van het amorf metaal tot praktisch nul af. Dit geldt voor tests in lauw zoutzuur (30 °C), maar ook in alkalisch milieu verkrijgt men vergelijkbare resultaten. Het is mogelijk amorfe legeringen te maken die vele malen corrosievaster zijn dan roestvast staal. Porievorming en spleetcorrosie, waar men bij roestvaststaal nog wel eens last van heeft, treden bij deze metalen niet op.

Het goede corrosiegedrag van deze legeringen wordt toegeschreven aan de vorming van een beschermend huidje aan het oppervlak, ongeveer zoals dat ook bij aluminium in lucht optreedt. Een Japans bedrijf dat actief is op het gebied van corrosievaste amorfe verbindingen is Nippon Jukagaku Kogyo. Men levert amorfe legeringen, samengesteld uit vijf elementen (Fe, Cr, Mo, C en P) die gegarandeerd minder dan één micron per jaar coroderen in lauw zoutzuur of zwavelzuur tot 36% sterkte. Toepassingen liggen nu bij magnetische filters voor het uitzeven van metaaldeeltjes uit corrosieve vloeistoffen.

Magnetische eigenschappen

Vooral de bijzondere magnetische eigenschappen van amorf metaal hebben al tot veel toepassingen geleid. Door de samenstelling te veranderen kan men allerlei magnetische eigenschappen, zoals aanvangspermeabiliteit, magnetostrictie, coercitiefkracht, enz., beïnvloeden. In het bijzonder hebben veel amorfe metalen een hoge magnetische permeabiliteit en zijn daarbij magnetisch "zacht", dat wil zeggen dat zij gemakkelijk gemagnetiseerd en gedemagnetiseerd kunnen worden. Hierdoor, en door hun vrij hoge elektrische weerstand, zijn deze materialen heel geschikt als kernmateriaal in sterkstroomtransformatoren. Het ijzerverlies (hysterese- en wervelstroomverlies) van een amorf materiaal als "Metglass" kan een factor 5 à 10 lager liggen dan van georiënteerd siliciumijzer, het conventionele materiaal voor sterkstroom-transformatorkernen. Al veel bedrijven in Japan hebben prototypes gemaakt van 1- en 3-fase sterkstroomtransformatoren tot in de 100–200 kVA klasse. Of ze op grote schaal gaan worden toegepast hangt af van economische factoren, ofwel de verhouding tussen de kosten van het amorf materiaal en de kosten van het energieverlies in transformatoren. Het punt waarop amorf kernmateriaal voor sterkstroomtoepassingen economisch wordt is naar het schijnt nog niet bereikt, maar ligt waarschijnlijk niet ver af. De markt is in principe groot, maar zal zich langzaam ontwikkelen, gezien de lange levensduur van de bestaande transformatoren in het elektriciteitsdistributienetwerk.

Ook voor toepassingen in de elektronica wordt gebruikt gemaakt van de bijzondere magnetische eigenschappen van amorf metaal. De hoge permeabiliteit maakt het geschikt als magnetisch afschermingsmateriaal (i.p.v. mu-me-

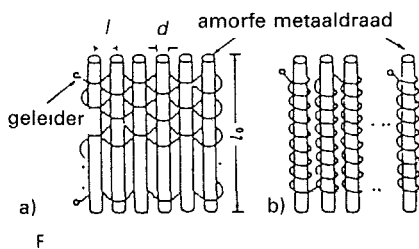


Figuur 7 Hystereselus van amorf metaal, vergeleken met permalloy, een conventioneel kernmateriaal

taal; de brede vellen amorf metaal die het "Riken" laboratorium maakt, zijn voor dit doel bestemd) Verder kan men het gebruiken als kernmateriaal voor alle mogelijke soorten transformatoren en spoelen, en in opneem-weergeefkoppelen. Voor opneem-weergeefkoppelen is amorf metaal bijzonder geschikt, vooral voor veeleisende toepassingen (video en DAT). De mechanische hardheid van het materiaal - harder dan ferriet - maakt amorf metaal ook beter bestand tegen slijtage.

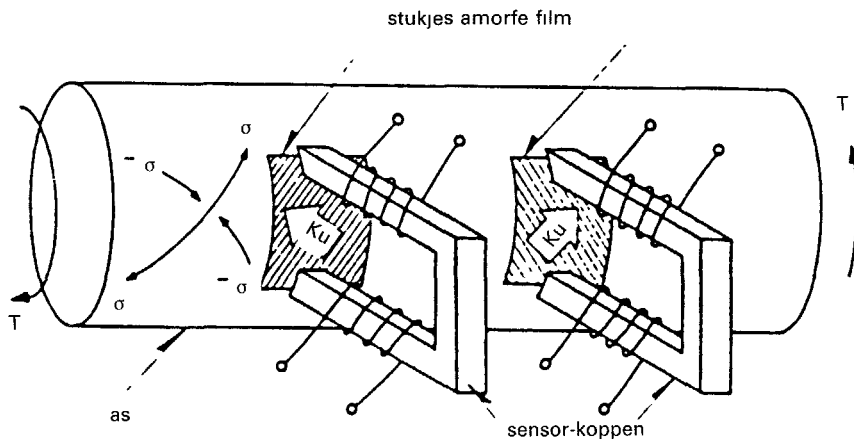
De smalle en rechthoekige hystereselus, zie figuur 7, maakt het materiaal in het bijzonder geschikt voor toepassing in voedingsapparaten zoals die tegenwoordig in computers veel worden gebruikt ("schakelende" voedings, waarin een transformator wordt toegepast die niet bij de lichtnetfrequentie, maar bij een veel hogere frequentie werkt).

Figuur 8 laat een aardige toepassing zien van de amorf vezels van Unitika voor het maken van kleine spoeltjes voor toepassing in elektronische schakelingen. Deze worden gemaakt door een soort matje te weven met amorf vezels als "schering" en dun koperdraad als "inslag". Het matje in figuur 8a gedraagt zich hetzelfde als de serie spoeltjes in figuur 8b. De zo gemaakte spoeltjes hebben kleine afmetingen, $6,5 \times 5$ mm bij 0,24 mm dikte; conventioneel gewikkelde spoeltjes zijn tenminste 2 mm dik.



Figuur 8 "Geweven" spoeltje (Unitika)

Unitika werkt ook aan het gebruik van amorf vezels in "digitizers", x-y-tabletten voor het invoeren van tekeningen in computers. Zo'n digitizer bestaat uit een plaat plastic waarin horizontaal en verticaal lopende amorf metaaldraden zijn ingebed. Om deze draden zijn spoeltjes gewikkeld waarvan sommige verbonden zijn met een oscillator, andere (de "pick-up" spoeltjes) met een uitleeschakeling. Wanneer men een



Figuur 9 Astorsiesensor (Toshiba) Door één ontwikkeling van elk der beide sensorkoppen wordt een wisselstroom (50 kHz, 27 mA) geleid. De sterkte van het signaal in de andere wikkeling hangt af van de permeabiliteit van de amorf film; bij torsie van de as wordt die bij de ene sensor groter, bij de andere kleiner. Het verschilsignaal wordt gedetecteerd.

(snoerloze) pen, waarin zich een permanent magneetje bevindt, over het tablet beweegt, wordt het signaal in de pick-up spoeltjes zo beïnvloed dat de x- en y-coördinaten van de pen kunnen worden bepaald.

Verder kan amorf metaal gebruikt worden in allerlei sensors. Men kan b.v. gebruik maken van magnetostrictie, een wisselwerking tussen magnetisatie en mechanische vervorming, die bij amorf metaal relatief sterk kan zijn. Een voorbeeld is de oplossing die Toshiba gevonden heeft voor het meten van de torsie van een draaiende as. Uit het torsiemoment van een as en het toerental kan men het door de as overgebrachte vermogen bepalen. Het meten van de torsie is echter niet eenvoudig, of beter gezegd berucht moeilijk. Meestal wordt het gedaan door rekstrookjes op de as te plakken, maar het probleem is dan hoe men het signaal van de draaiende as kan afnemen. Toshiba werkt met stukjes amorf film op de as en met vast opgestelde sensors ter grootte van bandrecorderkoppelen, die geen contact maken met de as, zie figuur 9. De gevoeligheid (0,3 mV output per N m torsie) is naar men zegt meer dan $100 \times$ beter dan bij rekstrookjes, en de lineariteit is heel goed.

Omdat snel-gestolde amorf materialen geen kristalstructuur bezitten zijn hun eigenschappen ook in alle richtingen hetzelfde; er zijn geen bijzondere "voorkeursrichtingen" (anisotropie) zoals die bij kristallen kunnen voorkomen. Het is echter soms wel mogelijk om een magnetische "voorkeursrichting" alsnog aan te brengen in een

amorf metaalfilm door een bepaalde warmtebehandeling in een magnetisch veld. Dit is gebeurd bij het sensormateriaal in figuur 9. De pijlen gemerkt "Ku" geven de richting van de grootste magnetostrictie aan.

Thermische stabiliteit

De atomen in een amorf metaal bevinden zich in een voor metalen "onnatuurlijke" rangschikking. Dit betekent dat een amorf metaal van nature de neiging heeft om in "normale", dus kristallijne, vorm over te gaan en daarbij zijn bijzondere eigenschappen te verliezen. Bij lage temperatuur is de amorf toestand "ingevroren" zodat de materialen dan praktisch gesproken wel als stabiel beschouwd mogen worden. Wanneer de temperatuur echter wordt verhoogd tot boven de "herkristallisatietemperatuur" gaat het materiaal echter over in de normale vorm, dus amorf metaal is niet geschikt voor toepassingen bij hoge temperatuur. De hoogste "herkristallisatietemperatuur" voor een amorf metaal is tot nu toe 650°C .

Amorf metaalfilms kunnen gebruikt worden als verbindingmateriaal bij hardsolderen (brazing). Door de verhitting tijdens het hardsolderen gaat het metaal over in gewone (kristallijne) toestand, voor deze toepassing is dat echter helemaal niet erg. Men gebruikt amorf metaal hiervoor omdat het zo makkelijk als heel dunne films gemaakt kan worden. Het is vaak economischer om een amorf film te gebruiken dan een stuk gewoon metaal heel dun uit te walsen.