

# DE INVLOED VAN LEGERINGSELEMENTEN

## INLEIDING

Zuiver aluminium is een zacht metaal met een tamelijk geringe sterkte. Voor toepassingen waarvoor een grotere sterkte vereist is moet het daarom eerst worden gelegeerd. Legeren is het toevoegen van elementen, waardoor bestaande eigenschappen worden verbeterd of nieuwe eigenschappen worden toegevoegd. Het is natuurlijk het beste wanneer dat op een zodanige manier kan gebeuren, dat gunstige eigenschappen, zoals in het geval van aluminium bijvoorbeeld de weerstand tegen corrosie, de geringe elektrische weerstand en de goede vervormbaarheid, behouden blijven. Door de aanwezigheid van opgeloste atomen van een ander soort wordt het moederrooster plaatselijk vervormd. Dat is vooral het geval wanneer die een plaats hebben gevonden tussen de atomen (ionen) van het moederrooster in, dus interstitieel zijn opgelost. Daarmee kan bijvoorbeeld de verhoging van de elasticiteitsgrens en de hardheid als gevolg van legeren worden verklaard.

De meeste aluminiumlegeringen danken hun sterkte dan ook in de eerste plaats aan zo'n oplossingsharding maar daarnaast vaak ook aan een goed gekozen warmtebehandeling: de precipitatieharding. Ook allerlei andere eigenschappen van aluminium kunnen worden beïnvloed door een gerichte toevoeging van legeringselementen. Het kubisch vlakken gecenterde rooster kan er echter binnen de mengkristalstructuur maar enkele procenten van opnemen. Maar daardoor wordt toch al het gewenste effect op de sterkte bereikt, zonder dat de vervormbaarheid wordt aangetast.

Bij grotere hoeveelheden van sommige van de hieronder te noemen elementen vormt het aluminium met het gedeelte van de vreemde atomen die niet meer in het moederrooster opgelost kunnen worden intermetallische verbindingen. Die bezitten een eigen kristalrooster en zijn hard en bros. Hun aanwezigheid vergroot daarom nog wel de sterkte, al gaat dat ten koste van de vervormbaarheid van de nu tweefasige legering. Wanneer omvormen belangrijk is moet het totale percentage legeringselementen daarom voldoende laag gehouden worden, bijvoorbeeld niet meer dan zo'n 3 ... 8 %.

De meeste in de techniek toegepaste aluminiumlegeringen zijn zeer gecompliceerd van samenstelling. Gewoonlijk bevatten ze echter één of twee hoofdlegeringselementen die vooral het niveau van de sterkte-eigenschappen bepalen. Daarnaast komen er dan nog een aantal secundaire legeringselementen voor, in kleinere hoeveelheden.

Die kunnen zijn toegevoegd om bepaalde eigenschappen te bereiken, bijvoorbeeld een fijne korrel, zoals in het geval van natrium bij aluminium-siliciumlegeringen. Ze kunnen echter ook als verontreiniging in het metaal achtergebleven zijn, zoals bijvoorbeeld ijzer na de elektrolyse van nieuw aluminium en koper na het omsmelten van oud schroot. Wat de reden van hun aanwezigheid ook is, invloed hebben ze zeker.

We zullen hieronder het effect van de belangrijkste legeringselementen afzonderlijk bespreken. Sommige daarvan komen, afhankelijk van de reden van hun aanwezigheid, in meerdere categorieën voor.

## DE GESCHIEDENIS VAN DE ONTWIKKELING VAN STERKE ALUMINIUMLEGERINGEN

Als voorbeeld van een mogelijke gang van zaken bij de ontwikkeling van nieuwe legeringen wordt hieronder geschetst waar het streven naar steeds grotere sterktes bij aluminium toe geleid heeft. We beginnen daarbij met de precipitatiehardende aluminium-koperlegeringen die al sedert 1906 bekend waren. Vervolgens heeft het streven naar steeds sterkere legeringen in de jaren vlak voor de Tweede Wereldoorlog geleid tot de geboorte van de aluminium-zinklegeringen. Daarmee konden sterktes worden bereikt die van gewoon constructiestaal ruimschoots overtroffen. Al spoedig bleek echter, dat de sterkte onder wisselende trekbelasting, de vermoeingssterkte, geen gelijke tred hield met de toegenomen sterkte onder continue belasting, de statische sterkte. Juist de sterkere legeringen bleken gevoeliger voor vermoeing. Jaren later werd duidelijk dat bovendien de weerstand tegen scheurvorming door spanningscorrosie (= het gevolg van de combinatie van een op zichzelf niet fatale statische trekspanning met een dito corrosief milieu) in de praktijk zeer te wensen overliet. Dat bleek met name het geval bij uit de genoemde legeringen vervaardigde smeedstukken. Om daarin de nodige verbetering te brengen werd eerst gemikt op kleine wijzigingen in de samenstelling, bijvoorbeeld door het toevoegen van chroom of zilver. Toch werd daarmee nog niet helemaal het gewenste resultaat bereikt. Vervolgens ontdekte men, dat door oververdeling, kunstmatige veroudering tot voorbij het maximum van de treksterkte, de drempelwaarde waar beneden geen spanningscorrosie optreedt tot voorbij de elasticiteitsgrens kon worden opgevoerd. Omdat de maximum toelaatbare spanning in constructies altijd onder die elasticiteitsgrens moet blijven betekende dat de oplossing van het spanningscorrosieprobleem,

zij het ten koste van circa 15 % van de statische sterkte.

De aluminiumlegeringen met hoge sterkte bleken echter wel relatief weinig weerstand tegen scheuruitbreiding te vertonen. Omdat intussen met behulp van elektronenmicroscopie voldoende duidelijk was aangetoond dat insluitsels van intermetallische verbindingen daarbij een grote rol speelden was de volgende stap in de ontwikkeling van zo sterk mogelijke aluminiumlegeringen daarom gericht op het zo goed mogelijk elimineren daarvan. Zo ontstond er een streven naar de vervaardiging van zo zuiver mogelijke legeringen. Als gevolg van het reduceren van de verontreinigingen kon een veel betere weerstand tegen scheuruitbreiding en een lagere scheurgroeisnelheid bij vermoeiing worden bewerkstelligd.

De jongste stap in de ontwikkeling van sterkere aluminiumlegeringen is het legeren met lithium (EN AW 8xxx) waardoor een verlaging van de soortelijke massa met tien procent en een verhoging van de stijfheid met eveneens tien procent mogelijk is gebleken met behoud van de weerstand tegen scheuruitbreiding die men intussen van de zuivere legeringen gewoon was.

## **HOOFDLEGERINGSELEMENTEN DIE VOORAL OPLOSSINGSHARDING BEWERKSTELLIGEN**

Voor alle duidelijkheid herhalen we hier nog eens dat het bij oplossingsharding gaat om de invloed van opgeloste atomen van een ander soort. Vooral wanneer die een plaats hebben gevonden tussen de atomen (ionen) van het moederrooster in, dus interstitieel zijn opgelost, wordt dat rooster plaatselijk vervormd. Als gevolg daarvan worden de dislocaties in hun bewegingen gehinderd en het materiaal gehard. Merk op, dat met deze term dus geen warmtebehandeling wordt bedoeld!

### **KOPER**

Door toevoeging van koper kan een aanzienlijke verhoging van de sterkte en de hardheid worden bereikt. Meestal gaat het daarbij echter om precipitatiehardende legeringen.

### **MAGNESIUM**

Door toevoeging van magnesium kan een aanzienlijke verhoging van de sterkte en de hardheid worden bereikt.

### **MANGAAN**

Door toevoeging van mangaan kan ook een verhoging van de sterkte en de hardheid worden bereikt, maar minder dan met koper of magnesium.

### **SILICIUM**

Door toevoeging van silicium kan ook een verhoging van de sterkte en de hardheid worden bereikt, maar minder dan met koper of magnesium. Bij aluminium-silicium gietlegeringen is het gehalte aan legeringselementen uitzonderlijk hoog, alleen aan silicium al zo'n 13 %, om een eutectisch stollende legering te verkrijgen. Verder maakt silicium de smelt

meer dun vloeibaar wat ook van groot voordeel is voor gietlegeringen.

## **HOOFDLEGERINGSELEMENTEN DIE OOK PRECIPITATIEHARDING BEWERKSTELLIGEN**

Zoals in de hoofdstukken 3 en 5 al aan de orde kwam gaat het bij precipitatieharding juist wel om een warmtebehandeling. Het eindresultaat daarvan is de precipitatie of uitscheiding van de opgeloste vreemde atomen, ook weer op een zodanige manier dat de bewegingen van de dislocaties worden gehinderd en het materiaal wordt gehard.

### **KOPER**

Door toevoeging van koper kan een zeer aanzienlijke verhoging van de sterkte en de hardheid worden bereikt. De aanwezigheid van het koper vermindert echter wel de weerstand tegen corrosie.

### **LITHIUM**

Door toevoeging van 2,5 % lithium wordt in de eerste plaats een verlaging van de soortelijke massa bereikt bij een toegenomen elasticiteitsmodulus (beide met 10 %). Daarbij wordt tevens een verhoging van de sterkte en de hardheid verkregen op het niveau van de aluminium-koper- en aluminium-zinklegeringen.

### **MAGNESIUM**

Mits tevens silicium als secundair legeringselement wordt toegevoegd kan via precipitatie van  $Mg_2Si$  een aanzienlijke verhoging van de sterkte en de hardheid worden bereikt.

### **SILICIUM**

Mits tevens magnesium als secundair legeringselement wordt toegevoegd kan via precipitatie van  $Mg_2Si$  een aanzienlijke verhoging van de sterkte en de hardheid worden bereikt.

### **ZINK**

Door toevoeging van zink kan een zeer aanzienlijke verhoging van de sterkte en de hardheid worden bereikt. De aanwezigheid van zink vermindert echter wel de weerstand tegen spanningscorrosie.

## **SECUNDAIRE LEGERINGSELEMENTEN**

### **CHROOM**

Door toevoeging van 0,1 ... 0,3 % chroom wordt het bij de elektrolyse achtergebleven ijzer in een minder schadelijke vorm afgescheiden. Omdat mangaan hetzelfde effect heeft wordt chroom vaak samen met mangaan toegevoegd. Verder vermindert chroom de gevoeligheid voor spanningscorrosie van aluminium-zink-magnesium-legeringen omdat de precipitatie op de korrelgrenzen en in de korrels er homogener van worden.

### **KOPER**

Koper vermindert, net als chroom, de gevoeligheid voor spanningscorrosie van aluminium-zink-magnesium-legeringen.

## LOOD

Toevoeging van lood verbetert de verspaanbaarheid.

## MAGNESIUM

Toevoeging van magnesium aan aluminium-siliciumlegeringen leidt tot precipitatie van de intermetallische verbinding  $Mg_2Si$  waarvan het hardingseffekt veel groter is dan van de uitscheiding van silicium alleen. Door toevoeging van magnesium aan aluminium-koperlegeringen wordt het bij de elektrolyse achtergebleven ijzer in een minder schadelijke vorm afgescheiden terwijl het bovendien de precipitatie bevordert.

## MANGAAN

Door toevoeging van 0,3 ... 0,5 % mangaan wordt het bij de elektrolyse achtergebleven ijzer in een minder schadelijke vorm afgescheiden, namelijk als de intermetallische verbinding  $Al_6(FeMn)$ . Omdat chroom hetzelfde effect heeft wordt mangaan vaak samen met chroom toegevoegd. Verder verhoogt het de sterkte, de weerstand tegen corrosie en de rekristallisatietemperatuur.

## NATRIUM

Natrium wordt toegevoegd om de korrel van aluminium-siliciumgietlegeringen te verfijnen. Toch wordt in dat verband niet echt over "het legeringselement natrium" gesproken.

## NIKKEL

Nikkel wordt soms toegevoegd om de kruipsterkte ) te verbeteren.

## SILICIUM

Toevoeging van silicium aan aluminium-magnesiumlegeringen leidt tot precipitatie van de intermetallische verbinding  $Mg_2Si$  waarvan het hardingseffekt veel groter is dan van de uitscheiding van magnesium alleen.

## TITANIUM

Door toevoeging van ten hoogste 0,2 % titanium wordt een korrelverfijning van de gietstructuur bewerkstelligd.

## ZILVER

Zilver vermindert, net als chroom en koper, de gevoeligheid voor spanningscorrosie van aluminium-zink-magnesium-legeringen. Het wordt alleen toegepast in sommige duitse kneedlegeringen.

## VERONTREINIGINGEN

### KOPER

Koper is steeds als verontreiniging aanwezig in aluminiumlegeringen, vooral wanneer die uit oud schroot zijn vervaardigd. Wat de herkomst ook is, omdat koper edeler is dan aluminium (zie ook hoofdstuk 11) heeft het een ongunstige invloed op de weerstand tegen corrosie. Daarom wordt in materiaalspecificaties altijd een maximumwaarde voor het kopergehalte opgegeven.

### NIKKEL

Ook de aanwezigheid van nikkel heeft een ongunstige invloed op de weerstand tegen corrosie omdat nikkel ook edeler is dan aluminium.

### SILICIUM

Silicium (net als trouwens alle andere verontreinigingen) verhoogt de elektrische weerstand van aluminium. In voorkomende gevallen wordt daarom vaak een maximumgehalte van 0,2% voorgeschreven.

### IJZER

IJzerresten, die na de elektrolyse nog aanwezig zijn, verbinden zich met het aluminium tot de onoplosbare intermetallische verbinding  $Al_3Fe$ . Deze vormt naaldvormige uitscheidingen op de korrelgrenzen en maakt het materiaal daardoor bros. Bovendien heeft ijzer, omdat het edeler is dan aluminium, een ongunstige invloed op de weerstand tegen corrosie.

## LITERATUUROPGAVE

Bij het samenstellen van de tekst werd o. a. de onderstaande literatuur als leidraad gebruikt:

- [1] Jongenburger, P. (1963), "Kennis der metalen", Deel II, "Structuur en warmtebehandeling", Delftse Uitgevers Maatschappij N. V., Delft
- [2] Korevaar, B. M. (1969), "Niet-IJzer metalen", Kollegedictaat Metaalkunde IV (m 14), Technische Hogeschool Delft, Laboratorium voor Metaalkunde
- [3] Weissbach, W. (1981), "Materialenkennis en materiaalbeproeving", Technische Uitgeverij De Vey Mestdagh BV, Middelburg

Alhoewel het Aluminium Centrum bij het samenstellen van deze uitgave de grootst mogelijke zorgvuldigheid heeft betracht, kan zij op geen enkele aansprakelijkheid aanvaarden voor schade ten gevolge van onvolledigheden of onjuistheden in deze brochure.

Niets uit deze uitgave mag op welke wijze dan ook worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt, zonder schriftelijke toestemming van het Aluminium Centrum.

