



# Afwijkingen van de ide

## Invloed op mechanische eigenschappen

Voordat er kan worden gelast, zal er enige voorkennis moeten zijn van het te lassen basis-materiaal en hoe dit tot stand is gekomen. In deze rubriek staat de materiaalkundige kant van het vakgebied centraal. De opbouw van metaalroosters is beschreven in aflevering 5, waarbij is uitgegaan van een perfecte kristalstructuur. In werkelijkheid komt een groot aantal fouten in de structuur voor. Wat voor gevolgen hebben deze fouten op het gedrag van materialen?

De defecten in de kristalstructuur kunnen worden onderverdeeld in:

- Puntfouten: substitutionele en interstitiële atomen, vacatures
- Lijnfouten: dislocaties
- Oppervlaktefouten (korrelgrenzen, tweelingen)

Als een metaal bestaat uit twee atoomsoorten worden de roosterplaatsen door één van beide atoomsoorten bezet. In sommige gevallen kunnen de beide atomen in een willekeurige verhouding met elkaar gemengd worden; men spreekt dan van een mengkristal. De atomen zitten onregelmatig op de beschikbare atoomplaatsen. De opgeloste atomen zijn substitutioneel geplaatst (zie figuur 1a). Dit kan alleen als de atomen niet te veel in grootte verschillen en een zelfde aantal elektronen in de buitenste schil hebben. Vaak is de oplosbaarheid echter beperkt.

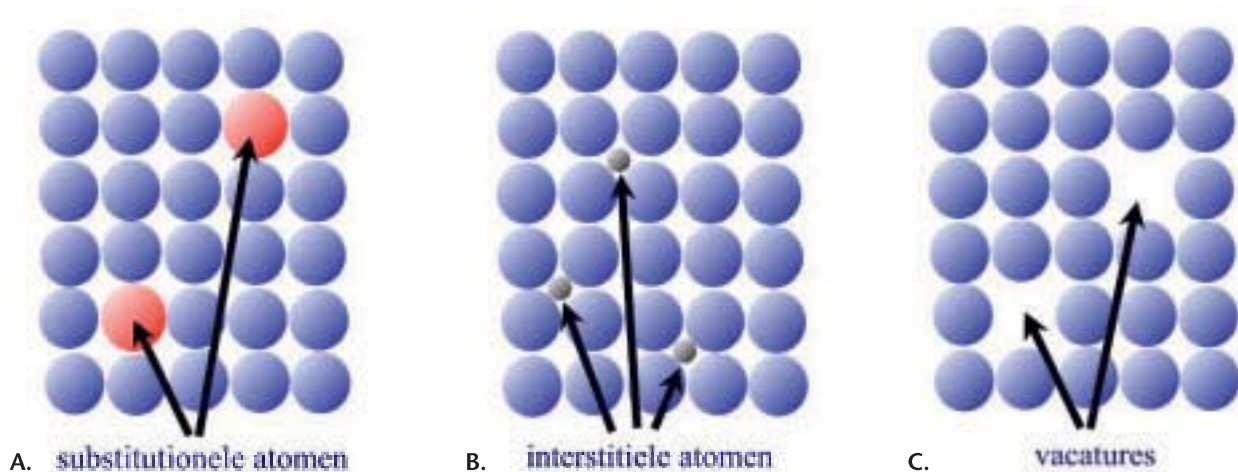
In het geval dat de opgeloste atomen een plaats vinden in de holtes van het rooster van het metaal, spreken we van interstitieel opgeloste atomen (zie figuur 1b). Dit komt vooral voor bij atomen met een kleine afmeting. Ook hier is de oplosbaarheid vaak beperkt. Dit is bijvoorbeeld het geval voor koolstof in staal. In ferriet (kubisch ruimtelijk gecentreerd KRC) kan maximaal 0,022 gewichtsprocent koolstof oplossen. In austeniet met een kubisch vlakken gecentreerd (KVG-) rooster is de oplosbaarheid veel hoger. Bij circa 1150 °C kan ongeveer 2,2 gewichtsprocent koolstof oplossen. Omdat door toevoeging van een tweede soort atomen het oorspronkelijke metaalrooster wordt vervormd, ontstaan er spanningen in het rooster. Deze vervormingen en spanningen hebben gevolgen met betrek-

king tot de mechanische eigenschappen van metalen. Als een zuiver metaal gelegeerd wordt, zal het sterker worden.

Vacatures zijn lege roosterplaatsen (zie figuur 1c). Bij temperaturen in de buurt van het smeltpunt is circa 0,1 tot 0,01 % van de roosterplaatsen onbezet. De vacatures kunnen zich door een kristal verplaatsen als naburige atomen de plaats van de vacature opvullen. Op deze manier is materiaaltransport door een metaalrooster mogelijk. Vacatures en dus ook atomen verwisselen 10.000.000.000 tot 100.000.000.000 keer per seconde van plaats op verhoogde temperatuur. Metaal dat er op macroschaal perfect en solide uitziet, kan dus op atomaire schaal vol met imperfecties zitten. Deze defecten hebben grote invloed op de uiteindelijke eigenschappen van het metaal.

### Lijnfouten

Naast puntfouten komen ook fouten voor die er lijnvormig uitzien. Men moet zich blijven realiseren dat roosters een driedimensionale stapeling van atomen hebben. Lijnfouten kunnen in twee typen worden ingedeeld: randdislocaties en schroefdislocaties. In figuur 2 is schematisch een randdislocatie weergegeven in een eenvoudig kubisch rooster. In het midden is een extra atoomlaag te zien. De bovenste begrenzing van dit extra halfvlak vormt een lijnvormige fout, de randdislocatie. Het is duidelijk te zien dat de atoomvlakken door de aanwezigheid van het extra halfvlak gebogen zijn. Dit geeft aan dat er rond een dislocatie spanningen aanwezig zijn. Onder de dislocatie worden de atomen naar elkaar toegevoerd, boven de dislocatie worden de atomen enigszins uit elkaar getrokken.



Figuur 1 - De verschillende atoomsoorten en geheel rechts de lege roosterplaatsen

Een tweede type dislocatie is de schroefdislocatie. Figuur 3 geeft schematisch weer hoe de atoomvlakken ten opzichte van de dislocatielijn verschoven zijn. Meestal komen deze lijnfouten niet in de boven beschreven zuivere vormen voor, maar zal er sprake zijn van mengvormen. Dislocaties spelen een essentiële rol bij plastische deformatie van metalen. Hierop wordt later teruggekomen. Om een idee te geven van de dislocatiedichtheid in metalen: per kubieke centimeter metaal is de totale lengte van deze lijnfouten ongeveer 10 tot 1000 kilometer.

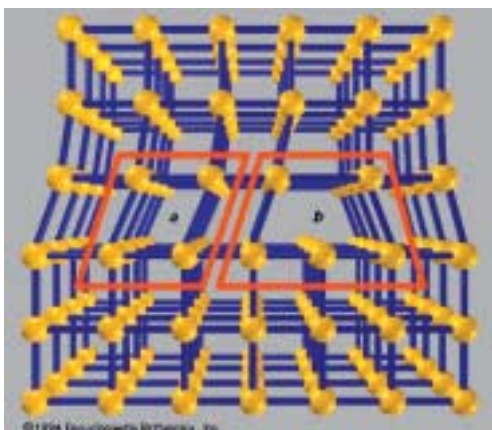
### Oppervlaktedefouten

Metalen zijn over het algemeen polykristallijn, wat wil zeggen dat ze uit vele kleine kristallen of korrels bestaan. De kristallen grenzen aan elkaar met vlak-

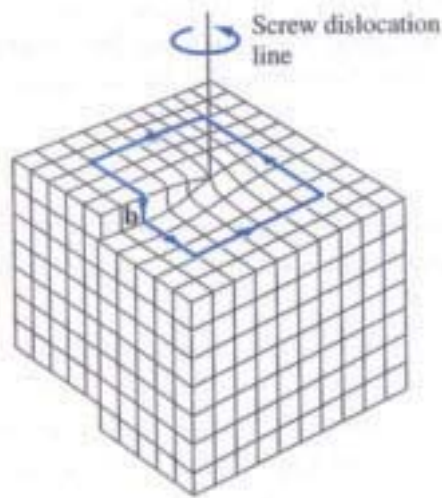
ken: de korrelgrenzen. Hoewel de korrels een zelfde kristalstructuur hebben, zal de oriëntatie van de korrels verschillen en is er tussen de korrels een discontinuë overgang. In de grenslagen zijn de atomen minder regelmatig gerangschikt. Ook de korrelgrenzen hebben invloed op de mechanische eigenschappen en de transportmogelijkheden van atomen. Fijnkorrelige staalsoorten zijn sterker en taaier dan grofkorrelige. Hierop is feitelijk ook de sterkteverhoging ten gevolge van normaalglueien gebaseerd. Door het normaalglueien van staal zullen, door het ondergaan van faseformaties (ferriet - austeniet - ferriet), nieuwe kiemen worden gevormd. Dit resulteert in meer en kleinere korrels en dus meer grensvakken.

### Plastische deformatie

Om een metaal blijvend te vervormen - plastisch te deformeren - is een bepaalde kracht nodig. Bij plastische deformatie ontstaan aan de oppervlakte van het metaal kleine treden. Dit is een aanwijzing dat atoomvlakken zich hebben verplaatst door langs elkaar te glijden (zie figuur 4). Bij dit glijden moeten natuurlijk de bindingen tussen atomen verbroken worden en bindingen met andere atomen weer worden aangegaan. Het is mogelijk om een kritische afschuifspanning te berekenen voor een ideaal rooster. Het blijkt dat uit dergelijke berekeningen een kritische schuifspanning komt die veel hoger ligt (een factor 1000) dan experimenteel gevonden waarden. Dit verschil kan verklaard worden door de afwezigheid van roosterfouten in een ideaal rooster. Vooral dislocaties spelen daarin een



Figuur 2 - Schematische voorstelling van een randdislocatie bij b



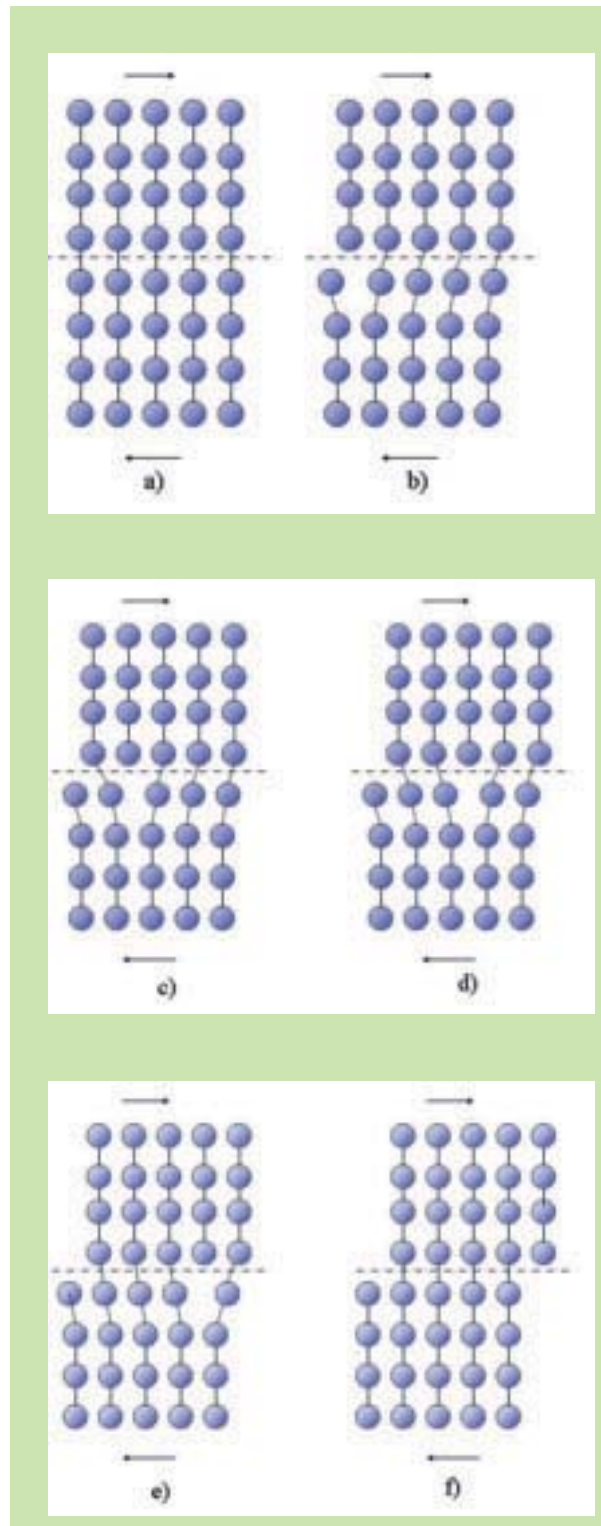
Figuur 3 - Schematische voorstelling van een schroefdislocatie [2]

belangrijke rol. De aanwezigheid van deze lijnfouten kan de lagere schuifspanning in een echt rooster verklaren.

Als er een extra halfvak in het rooster aanwezig is, zijn de naburige atomen al min of meer uit hun evenwichtspositie gedrukt. De schuifspanning tracht het atoom nog verder uit positie te drukken. Uiteindelijk wordt het voordeliger om een directe binding aan te gaan met het andere atoom. De dislocatie is daardoor één positie opgeschoven en er zijn maar relatief weinig atoombewegingen bij betrokken geweest. De kracht die hiervoor nodig is, is ook minder. De afschuiving door de dislocatiebeweging gaat atoomlaag voor atoomlaag. Dit in tegenstelling tot het mechanisme van een ideaal rooster, waar een heel blok tegelijk moet afschuiven. Vergelijk het maar met het verplaatsen van een groot tapijt. Als men aan één kant gaat trekken, zal het veel kracht kosten om het tapijt verplaatst te krijgen. Als er een kleine bobbel in het tapijt wordt gelegd, dan is deze bobbel vrij eenvoudig te verplaatsen. Het tapijt zal, als de bobbel aan de andere kant van het tapijt verdwijnt, over een kleine afstand zijn opgeschoven.

### Invloed van defecten

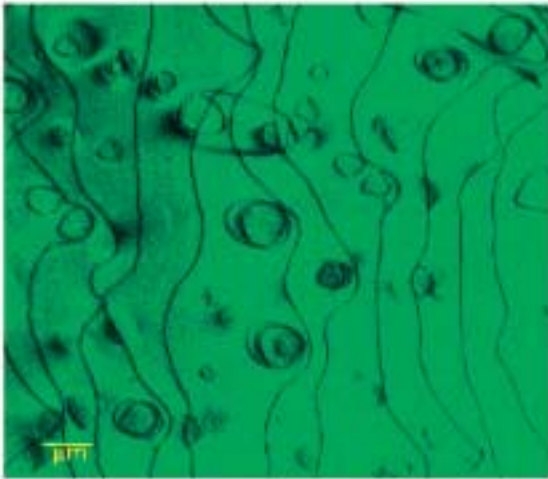
Om een materiaal sterker te maken, is het dus noodzakelijk om de beweging van de dislocaties te beperken. Als je een zuiver metaal legeert en dus andere typen atomen aan het zuivere metaal toevoegt, zal de bewegelijkheid van dislocaties afnemen doordat het metaalrooster ter plaatse enigszins wordt vervormd. Door legeren worden metalen sterker. Hetzelfde effect wordt verkregen als er andere deeltjes in het metaal zitten, zoals precipitaten (zie figuur 5). Ook hier ondervindt de dislocatie een obstakel en zal niet zo makkelijk door het rooster lopen. Bij korrelgrenzen verandert



Figuur 4 - Schematische voorstelling van afschuiven langs een glijvlak door verplaatsing van een randdislocatie

de oriëntatie van de atoomvlakken en wordt de dislocatiebeweging ook beperkt.

Ten slotte zullen ook dislocaties elkaar beïnvloeden. Als metalen sterk worden vervormd, neemt de dislocatiedichtheid aanzienlijk toe. Men zou kunnen verwachten dat het hierdoor makkelijker wordt om de afschuiving te bewerkstelligen. Echter, door de sterke inter-



Figuur 5 - Dislocatielijnen. Als dislocaties om een deeltje in de matrix lopen, laten ze een ringvormige dislocatie achter rond het obstakel. Het obstakel wordt daardoor nog groter

actie van de dislocaties wordt hun beweging bemoeilijkt.

Koudvervormde metalen hebben een hoge dislocatiedichtheid. Deze verhoogde dichtheid is verantwoordelijk voor het optreden van versterking, dat gepaard

gaat met een hogere rekgrens en treksterkte en een verminderde vervormbaarheid. Door warmtebehandelingen zoals spanningsarmgloeien wordt de dislocatiestructuur beïnvloed en zal de dislocatiedichtheid afnemen. In de warmtebeïnvloede zone van de las zal dit verschijnsel dus ook optreden. De laszone wordt daardoor zwakker dan het basismateriaal.

Ook in legeringen die hun sterkte-eigenschappen ontleenen aan de aanwezigheid van precipitaten zal de structuur worden aangepast, door de warmte-inbreng als gevolg van het lassen. De precipitaten zullen groter worden en de atomen gaan zich zo rangschikken dat ze het metaalrooster minder vervormen. Dit wordt ook wel oververoudering genoemd. De effectiviteit om de beweging van dislocaties te beperken, neemt hierdoor af en de laszone wordt zwakker. ■

#### Literatuur

- [1] G. den Ouden en B.M. Korevaar, Metaalkunde deel 1, ISBN 90-407-1281-6, Delftsche Universitaire Pers.
- [2] W.F. Smith, J. Hashemi, Foundations of Materials Science and Engineering, McGraw-Hill, ISBN 007-125690-3.