

1 De basis

LEERDOELEN

Bij moderne industriële productie gaat het om het maken van de juiste keuzes om producten te produceren. Om succesvol te kunnen produceren is het van belang om steeds goed te beseffen dat de keuzes die gemaakt worden, altijd gemaakt worden om bedrijfseconomische motieven. Doordat de omstandigheden steeds veranderen (mogelijke productietechnieken, salarisniveaus, seriegroottes, levertijden enzovoort) is het belangrijk om te beseffen waarop die keuzes gebaseerd moeten worden. Na het bestuderen van dit hoofdstuk heb je inzicht verworven in deze keuzemogelijkheden.

Daarnaast wordt in dit hoofdstuk de theoretische basis gelegd waardoor je in de volgende hoofdstukken kunt begrijpen waarom bepaalde productietechnieken functioneren zoals zij doen. Bij problemen kun je, met de kennis die je hebt opgedaan, zoeken naar oplossingen.

1.1 Inleiding

Bij productie gaat het enerzijds om het produceren van onderdelen en anderzijds om het samenstellen van deze eerder gemaakte onderdelen. In de hoofdstukken 2 en 3 worden vooral de productietechnieken behandeld die gebruikt kunnen worden voor de productie van deze onderdelen. Onderdelen kunnen vervolgens worden samengevoegd tot één samenhangend geheel (bijvoorbeeld met lastechnieken). De verbindingstechnieken om onderdelen samen te voegen, worden behandeld in hoofdstuk 4. Het assembleren van onderdelen tot een subsamenstelling of tot één geheel wordt behandeld in hoofdstuk 6.

Nadat in de hoofdstukken 1, 2, 3, 4 en 6 de belangrijkste productietechnieken zijn besproken, wordt met name in de hoofdstukken 5 en 7 aandacht geschonken aan de moderne problematiek van produceren. Doordat series kleiner worden en producten nauwkeuriger gemaakt moeten kunnen worden, is het belangrijk om daar de processen op in te richten.

Hoe een materiaal zich gedraagt tijdens een productieproces is afhankelijk van de chemische samenstelling, de atoomstructuur en van de behandelingen die het materiaal al heeft ondergaan. Daarom zal in paragraaf 1.2 de theoretische achtergrond worden behandeld, zodat je bij het behandelen van de productietechnieken in de hoofdstukken 2, 3, 4 en 5 voldoende theoretische achtergrond hebt.

Elke productietechniek begint met materiaal in een bepaalde verschijningsvorm (bijvoorbeeld een staalplaat of een extrusieprofiel). De keuze van de uitgangsvorm waar men mee begint, is bepalend voor de hoeveelheid werk die er in een latere fase nog ingestoken moet worden. De inkoopkosten van een uitgangsvorm hangen samen met het werk dat de toeleverancier al in het product heeft gestoken. Zo zal een kilogram aluminium extrusieprofiel duurder zijn dan een kilogram aluminium om te gieten, en zal een stalen buis per kilogram duurder zijn dan een kilogram vlakke plaat. Om te komen tot de juiste productietechnische keuzes zal dus steeds rekening gehouden moeten worden met de inkooprijzen van de uitgangsvormen van de materialen die men toe wil passen, én met de kosten van de productiewerkzaamheden die er nog op volgen.

In dit boek ligt de focus op moderne productietechnieken en de toepassing ervan. Als je weet welke uitgangsmaterialen en productietechnieken het best gebruikt kunnen worden om te produceren, wil dat nog niet automatisch zeggen dat je voldoende kennis hebt om in de huidige tijd succesvol te

kunnen produceren. Het is namelijk net zo belangrijk om goed te weten hoe je een productieproces moet organiseren.

Als de productie niet goed wordt georganiseerd, dan zullen de gekozen productieprocessen nooit goed tot hun recht kunnen komen. Om succesvol (winstgevend) te kunnen produceren moet eerst de organisatie goed worden opgezet, waarna gekozen kan worden voor de juiste productietechnieken. In het kader van dit boek voert het te ver om aan dit succesvol produceren veel aandacht te geven. Vandaar dat hiervoor wordt verwezen naar het eerder verschenen boek *Succesvol produceren* (2004, Alphen aan den Rijn: Uitgeverij Beaumont).

1.2 Invloed van produceren op de materiaaleigenschappen

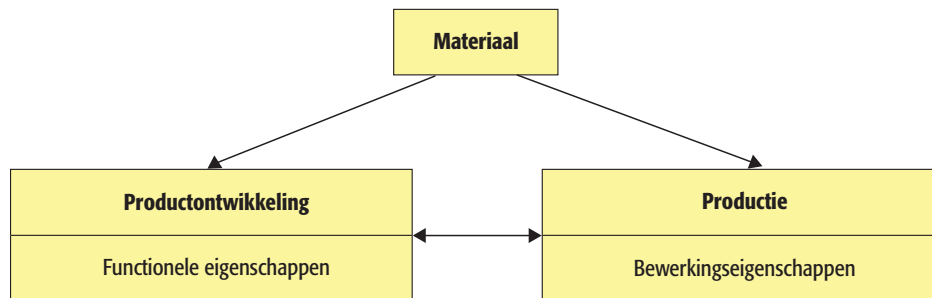
Om een product te kunnen maken, is het noodzakelijk om uit te gaan van een bepaald materiaal in een bepaalde uitgangsvorm. Daarom wordt hier eerst kort ingegaan op materialen. Wij richten ons in dit boek vooral op de materiaalgroepen metalen en kunststoffen. Veel van wat hier behandeld wordt, is echter ook van toepassing op andere materialen, zoals hout, textiel, papier, glas en keramiek.

1.2.1 Materiaaleigenschappen

Als we het over materialen hebben, dan hebben we het over een bepaalde hoeveelheid massa met bepaalde eigenschappen. Ieder materiaal heeft zijn eigen eigenschappen. Deze eigenschappen kunnen we verdelen in twee hoofdgroepen:

1. functionele eigenschappen;
2. bewerkingseigenschappen.

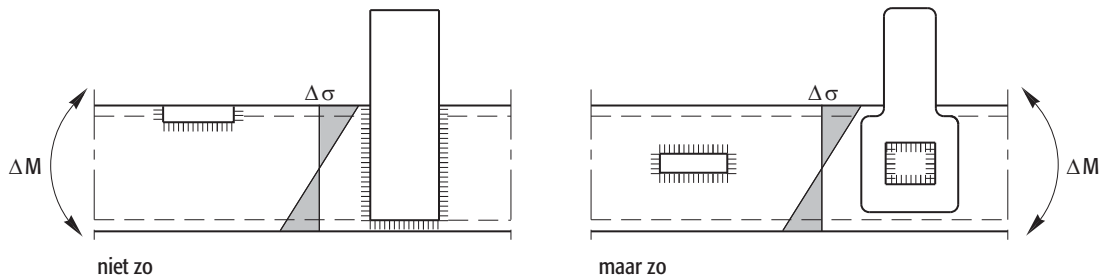
Onder functionele eigenschappen verstaan we alle eigenschappen die gebaseerd zijn op de opbouw



Figuur 1.1 Materiaaleigenschappen.

van het materiaal, zoals sterkte, elasticiteitsmodulus, taaiheid, elektrisch en warmtegeleidingsvermogen, uitzettingscoëfficiënt en materiaalkleur. Deze functionele eigenschappen worden gebruikt door productontwikkelaars om producten met bepaalde eigenschappen te maken. Bij bewerkingseigenschappen gaat het om die eigenschappen die de produceerbaarheid beïnvloeden en om de functionele eigenschappen die door productietechnieken kunnen worden verbeterd of verslechterd. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om eigenschappen als lasbaarheid, verspaanbaarheid en vervormbaarheid. Daarnaast kunnen productietechnieken de functionele eigenschappen beïnvloeden. Koudgewalste staalplaat heeft door deze koude walsbewerking een korrelverfijning gekregen waardoor de sterkte is verbeterd. Wordt deze plaat gelast, dan zorgt de plaatselijke verwarming ervoor dat de verhoogde sterkte weer een terugval krijgt. Op deze manier zullen productieprocessen altijd hun invloed hebben op de functionele materiaaleigenschappen.

Bij productontwikkeling moet al rekening gehouden worden met de verandering van functionele eigenschappen die de productietechnieken veroorzaken. Concreet kan men dit bijvoorbeeld doen



Figuur 1.2 Voorbeeld van het lassen van onderdelen daar waar het weinig kwaad kan.

door rekening te houden met waar men een las in een constructie legt (las leggen op een plaats waar de sterkte minder mag zijn en waardoor het materiaal niet krom gaat trekken). In figuur 1.2 is te zien dat door slim te construeren de lassen aangebracht kunnen worden waar ze weinig kwaad kunnen doen.

1.2.2 Waardoor hebben materialen hun eigenschappen?

We hebben gezien dat materialen zowel functionele als bewerkingseigenschappen hebben. Tijdens productieprocessen worden deze eigenschappen vaak veranderd. Vandaar dat het goed is om eerst te kijken naar de oorsprong van deze eigenschappen.

Alle materialen zijn opgebouwd uit atomen uit het periodiek systeem. De atomen in een materiaal worden op bepaalde manieren tot elkaar aangetrokken. Atomen kunnen een groot aantal aantrekkingskrachten op elkaar uitoefenen (bijvoorbeeld metaalbinding, ionbinding, vanderwaalskrachten en waterstofbruggen). We gaan hierop in dit boek niet verder in. Bij metalen zorgen de aantrekkingskrachten ervoor dat de atomen zich in een metaalrooster ordenen. In paragraaf 1.2.4 lees je daar meer over. De sterkte van dergelijke aantrekkingskrachten is afhankelijk van de temperatuur waarop de atomen zich bevinden. De materiaaleigenschappen worden bepaald door de onderlinge aantrekkingskrachten van de atomen en hun onderlinge ordening. Bij het verhogen van de temperatuur beginnen atomen steeds harder te trillen om hun evenwichtstoestand. Ook nemen de onderlinge afstanden tussen de atomen toe. Hierdoor nemen vervolgens ook de meeste bindingskrachten enigszins in kracht af. Dit is dan ook de reden dat bepaalde productietechnieken op verhoogde temperaturen worden uitgevoerd.

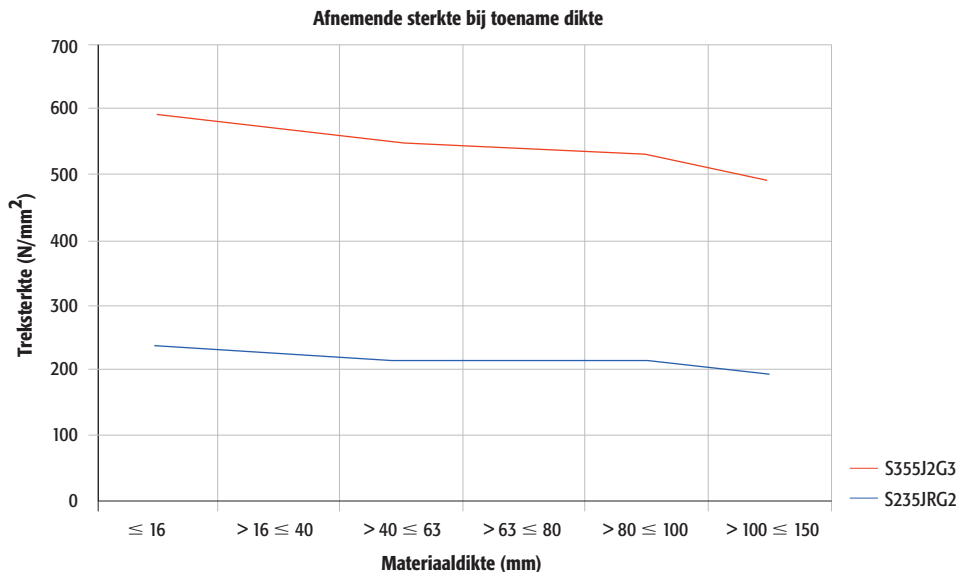
1.2.3 Veranderen van materiaaleigenschappen

De eigenschappen van een materiaal kunnen op twee manieren worden veranderd:

1. **Warmtebehandelingen.** Warmtebehandelingen kunnen ervoor zorgen dat materiaalstructuren veranderen. Door te spelen met temperaturen en de verblijftijd op een bepaalde temperatuur kunnen we de functionele eigenschappen en ook vaak de bewerkingseigenschappen van materialen veranderen. Door het harden van staal wordt het moeilijker te verspanen. Door na het harden een gloeibehandeling uit te voeren wordt het materiaal weer beter geschikt om te verspanen (zie hoofdstuk 3).
2. **Vervormen.** Door een materiaal te vervormen kunnen de eigenschappen worden veranderd. Bij het dieptrekken van een materiaal treedt koudversteving op. Hierdoor kan bij bepaalde metalen de sterkte met wel 60% toenemen.

Bij de productie van staalplaat wordt het materiaal door een walsrol vervormd. Hierdoor treedt structuurverfijning op en neemt de sterkte toe. In figuur 1.3 zien we dat het materiaal dat relatief het meest door een walsrol wordt vervormd, de meeste versteving krijgt. Een dergelijk verschijnsel is in meerdere of mindere vorm te zien bij alle plastische vormgevingsprocessen (zie paragraaf 2.3).

De manier van warmtebehandelen en/of vervormen in combinatie met de snelheid waarmee dat gebeurt, is bepalend voor zowel de functionele als de bewerkingseigenschappen van de materialen. Dit geldt voor alle technische materialen zoals metalen, kunststoffen, hout en keramiek.



Figuur 1.3 Overzicht van de invloed van de materiaaldikte op de eigenschappen van twee veel toegepaste warmgewalste staalplaatmaterialen.

Daarnaast is het mogelijk om met behulp van chemische reacties de eigenschappen van materialen te veranderen. Eigenlijk veranderen dan niet de eigenschappen van het materiaal, maar ontstaat er (eventueel plaatselijk) een ander materiaal dat weer zijn eigen eigenschappen heeft.

1.2.4 Metalen

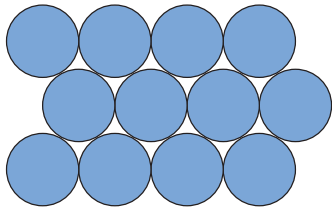
Zoals eerder is aangegeven, is ieder materiaal opgebouwd uit atomen. Deze atomen kunnen op meerdere manieren op elkaar gestapeld worden. De manier van stapelen bepaalt het kristalrooster dat ontstaat. Als atomen van zuivere materialen worden gestapeld, dan ontstaat een heel regelmatige structuur. Deze structuur is voornamelijk afhankelijk van de grootte van de atomen.

Heel zuivere materialen komen echter zelden voor. De meeste metalen worden gevormd door een basismateriaal met daarin kleine of grotere hoeveelheden van andere atomen. Hierdoor ontstaan kristalroosters die afwijken van de structuur die zou ontstaan bij een geheel zuiver materiaal. Veel productietechnieken zijn gericht op het op een slimme manier manipuleren van dergelijke kristalroosters.

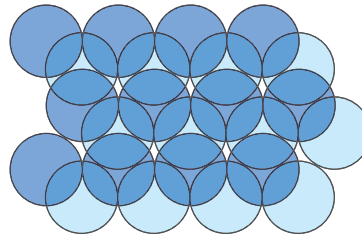
In dit hoofdstuk zullen we alleen de bij metalen belangrijkste metaalroosters kort behandelen. In de uitleg presenteren we de atomen gemakshalve als ronde voorwerpen die op elkaar gestapeld kunnen worden. In de praktijk ligt dit een stuk gecompliceerder, maar om de verschillende productietechnieken te kunnen begrijpen gaat dit ver genoeg.

Atomen trekken elkaar aan. De mate van aantrekkingskracht wordt veroorzaakt door de materiaalsoort (grootte van de atomen), de temperatuur en de onderlinge afstand. Als atomen zo ver van elkaar worden gebracht dat de onderlinge aantrekkingskracht te klein wordt, komen ze blijvend los van elkaar. Dit uit zich bijvoorbeeld in scheurvorming. Iedere structuur streeft naar een toestand waarbij de onderlinge afstand zo klein mogelijk is.

Beschouwen we de atomen als een soort knikkers, dan zijn er verschillende manieren om zo veel mogelijk knikkers in een bepaalde ruimte te krijgen. Als we alleen de beschikking hebben over knikkers met dezelfde diameter, dan is slechts één stapelwijze optimaal en hangt de maximale hoeveelheid knikkers die in de ruimte passen alleen af van de diameter van de knikker. Kiezen we voor een andere diameter knikker, dan wordt de stapelwijze anders, en daardoor kan er een ander aantal knikkers geplaatst worden. Hebben we echter de beschikking over zowel grote als kleine knikkers, dan zullen vooral de grote knikkers de hoofdstapeling bepalen en kunnen de kleine knikkers in de ruimtes tussen de grote knikkers geplaatst worden.



Figuur 1.4 Dichtste bolstapeling in één vlak.



Figuur 1.5 Een tweede laag atomen is op de eerste laag aangebracht.

Door naar atomen te kijken alsof het knikkers zijn is het eenvoudig om inzicht te krijgen in de werking van kristallen.

In figuur 1.4 is te zien hoe in één vlak de atomen zo te plaatsen zijn dat er een dichte bolstapeling ontstaat.

Op deze laag kan men vervolgens een tweede laag met atomen aanbrengen (zie figuur 1.5).

De tweede laag ligt in de holtes van de eerste laag. Als we hier nu een derde laag op willen leggen, dan hebben we twee mogelijkheden om deze laag te plaatsen:

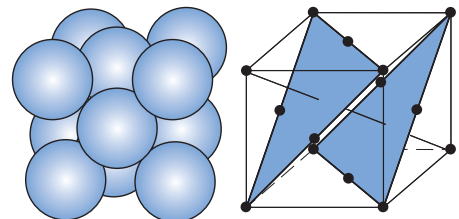
1. Recht boven de eerste laag. Hierdoor ontstaat een structuur waarbij de holtes die in figuur 1.5 te zien zijn over het gehele kristal blijven bestaan. De structuur die hierdoor ontstaat, is de hexagonale structuur.
2. Recht boven de witte openingen. Hierdoor ontstaat een geheel andere structuur, namelijk de kubisch vlakgecentreerde structuur. In eerste instantie lijkt het alsof deze verschillen niet belangrijk zijn. Op productietechnisch gebied bepalen deze structuurverschillen echter hoe goed deze materialen te bewerken zijn.

Kubisch vlakgecentreerd rooster

Een eerste belangrijke roosterstructuur is het kubisch vlakgecentreerd rooster. Hierbij worden de atomen zo gestapeld alsof zij op de hoekpunten van een kubus geplaatst zijn. Ook bevindt er zich een atoom in het centrum van ieder vlak van de kubus (zie figuur 1.6).

Er zijn veel metalen die een kubisch vlakgecentreerde structuur hebben, bijvoorbeeld aluminium, lood, goud, koper, nikkel, platina en zilver.

Daarnaast zijn er verschillende metalen die onder bepaalde omstandigheden overgaan in een kubisch vlakgecentreerde structuur (zie paragraaf 3.4). Hierbij gaat het om metalen als ijzer, kobalt, titaan en zirkoon. Door bij productieprocessen gebruik te maken van metalen die in meerdere structuren kunnen voorkomen, kunnen zowel de functionele als de bewerkingseigenschappen worden veranderd.



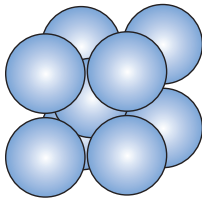
Figuur 1.6

Links: Een impressie van een vlakgecentreerd rooster.

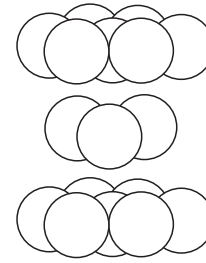
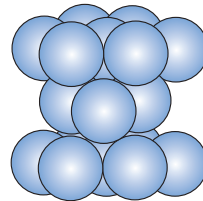
Rechts: Dit is een afbeelding van twee glijvlakken die bij deze structuur aanwezig zijn. Bij een dergelijk rooster zijn er twaalf vlakken waarover afschuiving (vergelijkbaar gemakkelijk) kan plaatsvinden.

Kubisch ruimtelijk gecentreerd rooster

Een tweede belangrijke roosterstructuur is het kubisch ruimtelijk gecentreerd rooster. Hierbij bevinden de atomen zich op de hoekpunten van de kubus en in het centrum van de kubus (zie figuur 1.7). Chroom, molybdeen, niobium, titaan, vanadium en wolfram hebben een kubisch ruimtelijk gecentreerd rooster. Daarnaast komt ook ijzer veelal in deze structuurvorm voor.



Figuur 1.7 Een impressie van een ruimtelijk georiënteerd rooster. Bij een dergelijke structuur zijn er slechts acht glijvlakken waarover de atomen (vergelijkbaar gemakkelijk) kunnen afschuiven.



Figuur 1.8 Impressie van een hexagonaal georiënteerd rooster. Hierbij zijn slechts drie glijvlakken aanwezig waarover de atomen (vergelijkbaar gemakkelijk) kunnen afschuiven.

Hexagonaal georiënteerd rooster

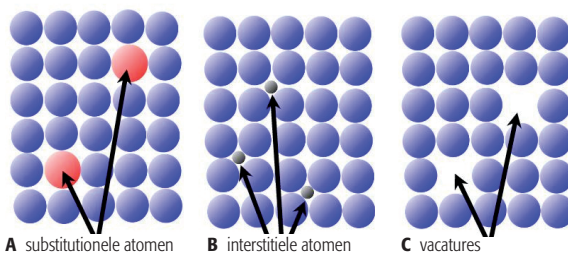
Een derde belangrijke structuur is de hexagonale structuur. Figuur 1.8 geeft aan hoe de atomen ten opzichte van elkaar liggen.

Beryllium, cadmium, zink en magnesium hebben een hexagonale structuur. Daarnaast komen ook kobalt, titaan en zirkoon (onder bepaalde omstandigheden) in deze structuur voor.

Metaallegeringen

Vrijwel geen enkel materiaal wordt in zijn zuivere vorm gebruikt. Door andere materialen aan een metaal toe te voegen, krijgt men een nieuw materiaal met andere eigenschappen. Bij het legeren worden andere atomen in het rooster van het basismateriaal gebracht. Hierbij zijn er verschillende mogelijkheden:

- De ingevoegde atomen zijn klein, waardoor zij zich (vrijwel geheel) in de holtes tussen de atomen van het basismateriaal kunnen plaatsen. Hierdoor worden de eigenschappen van het rooster verbeterd. Hierbij wordt het rooster niet of slechts licht verstoord. Vaak kunnen kleine concentraties van zulke atomen de eigenschappen van het basismateriaal aanzienlijk verbeteren. Bij het vormen van staal wordt aan ijzer een kleine hoeveelheid koolstof (C) toegevoegd. Staal heeft hierdoor veel betere eigenschappen dan het oorspronkelijke ijzer (zie ook figuur 1.9 B).
- Door in het rooster een atoom te vervangen door een ander atoom met vergelijkbare afmetingen kan de roosterstructuur (vrijwel) intact blijven (zie ook figuur 1.9 A). De eigenschappen veranderen echter aanzienlijk. Als voorbeeld kunnen we hierbij kijken naar ijzer waaraan Cr (chromium) wordt toegevoegd. Het Cr kan in de roosterstructuur op de plaats van een ijzeratoom gaan zitten. In de praktijk passen de atomen echter toch niet 100% goed in de roosterstructuur. Hierdoor wordt het kristalrooster enigszins gedeformeerd. Zulke deformaties hebben hun invloed op de eigenschappen van het materiaal.



Figuur 1.9 Een aantal manieren waarop vreemde atomen zich in een metaalrooster kunnen positioneren. Bij 1.9 A zijn atomen van het basismateriaal vervangen door atomen van een ander materiaal. Voorwaarde is dat de afmetingen vergelijkbaar zijn. Zijn de vreemde atomen groter of kleiner, dan worden extra spanningen in het rooster gebracht. Daarnaast kunnen de vreemde atomen ook veel kleiner zijn dan die van het basismateriaal (zie 1.9 B). Zulke kleine (interstellaire) atomen verstoren het grote rooster nauwelijks. Wel werken zulke atomen als een soort wig om vervormingen tegen te gaan. Tot slot zien we bij 1.9 C een voorstelling van vacatures.

- Doordat de vreemde atomen in de minderheid zijn, zal de structuur van het gevormde materiaal niet op alle plaatsen dezelfde eigenschappen hebben. Verschillen in homogeniteit kunnen hun invloed hebben op bepaalde eigenschappen. Daar waar dit relevant is zullen we bij de betreffende productietechnieken hier verder op ingaan.

Involed kristalstructuur op productie-eigenschappen

Doordat geen materiaal 100% homogeen is zullen de eigenschappen van het materiaal altijd afhangen van de uiteindelijke structuur ter plaatse. Er kunnen verschillende onregelmatigheden in de kristalstructuur voorkomen:

- vacatures;
- dislocaties;
- vreemde atomen.

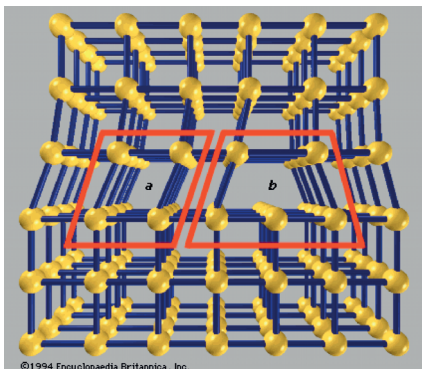
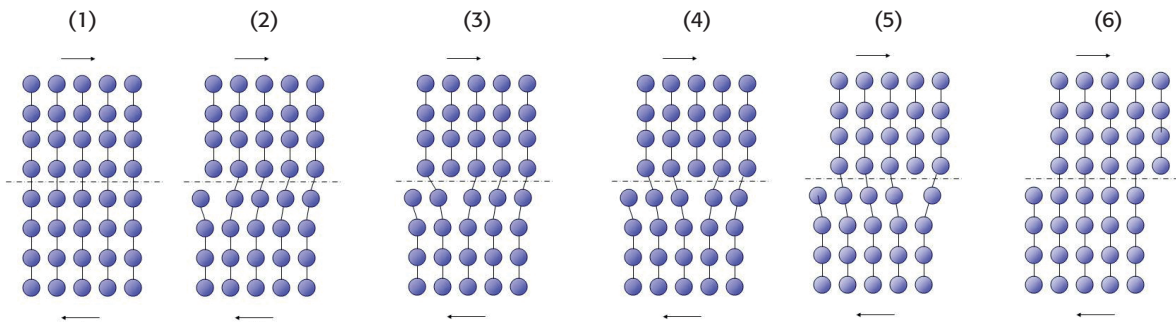
Vacatures

Vacatures zijn plaatsen in het kristalrooster waar als het ware een atoom ontbreekt. Deze vacatures kunnen aanleiding zijn tot het verschuiven van atomen.

Dislocaties

Dislocaties zijn onregelmatigheden in de roosterstructuur doordat kristalgrenzen niet exact op elkaar passen. Zulke dislocaties spelen een belangrijke rol bij het plastisch vervormen van metalen. Een dislocatie uit zich dikwijls als een lijnfout (zie figuur 1.10).

In het rooster is als het ware een extra gedeeltelijk roostervlak aanwezig. Hierdoor komt een deel van het rooster onder drukspanning te staan en een ander deel onder trekspanning. Hierdoor heeft het rooster ter plaatse van de dislocatie een verhoogd energieniveau. Bij koud vervormen brengen we extra energie in het kristalrooster. Hierdoor ontstaan dislocaties die op hun beurt ervoor zorgen dat de sterkte toeneemt (hierdoor verstevigt het materiaal).



Figuur 1.10 In stappen 1 tot en met 6 worden de achtereenvolgende stappen bij het plastisch deformeren van een metaal getoond. Dit verschuiven vindt plaats op de zwakste plaats (daar waar bijvoorbeeld vacatures of dislocaties zijn). In de figuur hiernaast is een schematische afbeelding van een dislocatie die zich uit als een lijnfout.

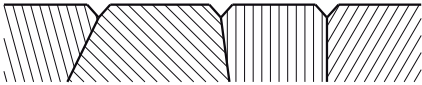
©1994 Encyclopaedia Britannica, Inc.

Vreemde atomen

Afhankelijk van de hoeveelheid vreemde elementen in het rooster zullen in het regelmatige rooster op sommige plaatsen atomen vervangen zijn door andere atomen. Zo zijn bij bijvoorbeeld roestvaststaal-soorten een deel van de Fe-atomen (ijzer) vervangen door Cr-atomen. Deze vreemde atomen passen meestal niet helemaal in het rooster. Hierdoor ontstaan extra spanningen in de kristalstructuur. Ook dit is een reden waarom de eigenschappen van een materiaal niet overal exact hetzelfde zullen zijn. Verder kunnen kleine atomen zich in de openingen tussen de atomen nestelen (interstellaire atomen).

Kristalroosters en rekristallisatie

Kijken we naar de kristalroosters, dan zien we dat ieder rooster zijn eigen oriëntatierichting heeft (zie figuur 1.11).

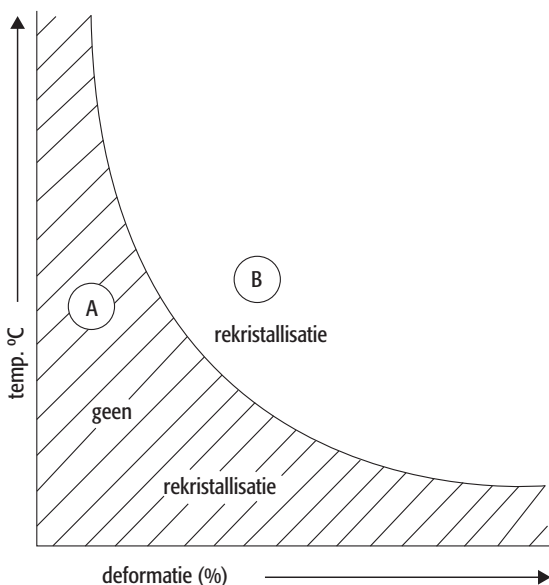


Figuur 1.11 Elk kristal (ordelijke rangschikking van atomen) heeft zijn eigen oriëntatierichting. De eigenschappen per kristal zijn dan ook niet in iedere richting gelijk (anisotroop). Door de kristallen zo klein mogelijk te maken, en doordat ze allemaal hun eigen oriëntatierichting hebben, ervaren we de materiaaleigenschappen in alle richtingen vaak toch als gelijk (isotroop).

Als een vloeibaar metaal afkoelt, komen de atomen dicht bij elkaar, zodat ze hun positie in het rooster in kunnen nemen. Op bepaalde plaatsen ontstaan kiemen waaruit de kristallen worden opgebouwd. Hoe meer kiemen ontstaan, hoe fijner de structuur zal zijn. De kristallen blijven groeien totdat ze tegen de atomen van een naastgelegen kristal vastlopen. Op deze plaatsen ontstaan de kristalgrenzen. Doordat de kiemen willekeurig uitgroeien tot kristallen, zal ieder kristal zijn eigen oriëntatierichting hebben. Om een fijne structuur te kunnen bereiken, worden bij bepaalde metalen extra chemische elementen ingemengd die kiemvorming bevorderen.

Als het nodig is, dan is het mogelijk om bij metalen het kristallisatieproces opnieuw in te zetten (zonder dat het materiaal gesmolten wordt). Dit wordt rekristallisatie genoemd. De rekristallisatie is afhankelijk van:

- de deformatiegraad;
- de temperatuur;
- de tijd.



Figuur 1.12 Rekristallisatie als functie van temperatuur en deformatiegraad.

In figuur 1.12 is de relatie tussen deformatie en temperatuur te zien. Hoe hoger de deformatiegraad, hoe lager de temperatuur waarop rekristallisatie kan optreden. Hierbij treden de deformaties als kiem voor kristalopbouw op.

Als een materiaal met slechts een geringe deformatiegraad wordt gerekristalliseerd, ontstaat vaak een grovere structuur. Kijken we echter naar een materiaal dat een hoge deformatiegraad heeft, dan zijn er veel plaatsen van verhoogde energie die het rekristallisatieproces kunnen initiëren. Hierdoor kan een fijne structuur ontstaan.

Homogeniteit van metalen

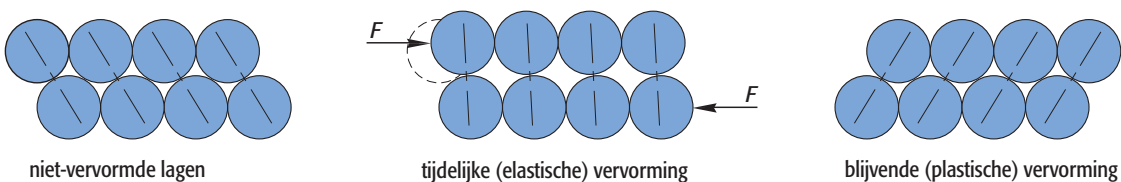
Men denkt vaak dat materialen homogeen zijn, maar dat is zelden het geval. Maar zelfs als een materiaal wat betreft chemische samenstelling 100% homogeen is, dan nog zullen de eigenschappen in verschillende richtingen vaak anders zijn (oriëntatie van de kristalroosters, vervorming van de roosters door middel van vervormingsprocessen en dergelijke). Ook de dislocaties die in het materiaal aanwezig zijn, kunnen voor inhomogeniteit zorgen. Een laatste aspect waar vaak niet aan gedacht wordt is de tolerantie op de chemische samenstelling van materialen. Kijken we als voorbeeld naar roestvaststaal AISI 304, dan zien we als chemische samenstelling (in gewichtspercenten): C (koolstof) $\leq 0,08\%$, Cr = 19% en Ni (nikkel) = 9,2%; de rest is Fe (ijzer).

Zoals eerder is aangegeven, zorgen de C-atomen die zich in de holtes bevinden ervoor dat staal sterker is dan het oorspronkelijke ijzer. De eigenschappen van staal hangen erg samen met het koolstofpercentage. Hierdoor kan de sterkte dus behoorlijk fluctueren. Dat is dan ook de reden dat treksterktes vaak met een behoorlijke tolerantie worden opgegeven. Door zulke inhomogeniteiten kunnen de productieprocessen die we in hoofdstuk 2 behandelen echter weer minder stabiel en voorspelbaar worden.

Materialen die wel erg homogeen zijn, kunnen tijdens het productieproces van structuur veranderen. Door de veranderde structuur kunnen atomen een andere positie innemen. Afhankelijk van bijvoorbeeld afkoelnelheden kan dan een deel van de interstellaire atomen weer worden uitgescheiden en zich eventueel binden aan andere elementen. Zulke processen vinden plaats bij het verwarmen en later weer afkoelen van staal. Als men een materiaal van boven de austenitiseringstemperatuur (temperatuur waarbij het kristalrooster van kubisch ruimtelijk gecentreerd omslaat in kubisch vlakgecentreerd; zie paragraaf 3.4) snel afkoelt, dan ontstaat martensiet. Als het blok metaal echter erg dikwandig is, dan zal het oppervlak sneller afkoelen dan het binnenste deel. Hierdoor kan een verschil in structuur ontstaan tussen kern en randen van het materiaal. In hoofdstuk 3 lees je hier meer over.

Elastisch en plastisch vervormen

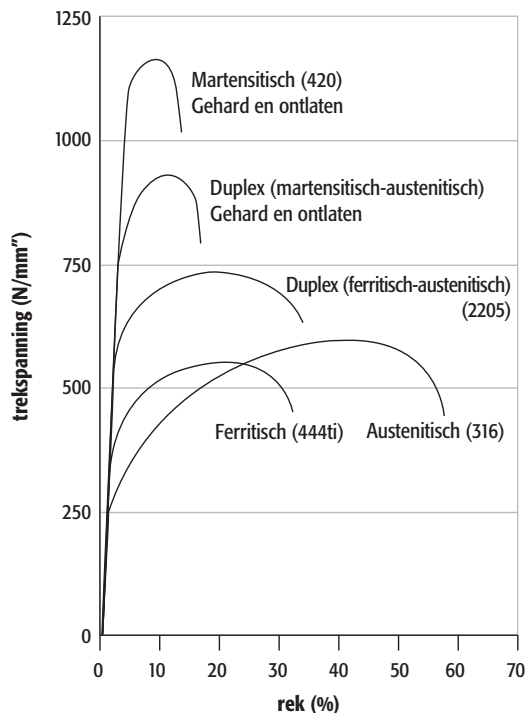
Als er op een metalen staaf een trekkracht wordt uitgeoefend, zal deze staaf iets langer worden. De verlenging hangt af van de materiaalsoort, de uitgeoefende kracht en van de doorsnede van de staaf. Tot een bepaalde verlenging zal de verlenging elastisch zijn: de staaf veert weer terug in zijn oorspronkelijke vorm zodra de kracht wordt verwijderd. In figuur 1.13 zie je dat de vervorming elastisch is zolang de verschuiving niet meer dan een halve atoom is. Als de vervorming meer wordt, schuift de structuur door naar de volgende holte tussen atomen en is de vervorming dus plastisch (blijvend).



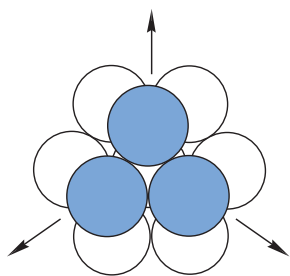
Figuur 1.13 Elastische en plastische vervorming.

Kijk je naar de trekkromme van een materiaal, dan zie je dat er gedurende een lange tijd een lineair verband is tussen de opgelegde spanning en de daardoor veroorzaakte rek. Deze vaste verhouding wordt de elasticiteitsmodulus (E) genoemd. In figuur 1.14 zie je dat voor verschillende roestvaststaal-soorten deze verhouding vrijwel gelijk is. Lichte aanpassingen in de roosterstructuur hebben dan ook vrij weinig invloed op de elasticiteitsmodulus.

Eerder in dit hoofdstuk is gesproken over de diverse roosterstructuren. Daarbij is ook aangegeven dat elk rooster over een bepaald aantal glijvlakken beschikt. Deze glijvlakken zijn van groot belang bij de vormgevingstechnieken die in hoofdstuk 2 worden behandeld. Hoe meer glijvlakken, hoe gemakkelijker een materiaal te vervormen zal zijn (zie figuur 1.15).



Figuur 1.14 Trekkromme van diverse roestvaststaalsoorten.



Figuur 1.15 In de figuur is te zien dat een verschuiving van de bovenste laag het gemakkelijkst kan verlopen in een van de drie aangegeven richtingen. Hoe meer richtingen als glijvlak op kunnen treden, hoe gemakkelijker een glijvlak van het ene kristal overeenkomt met een glijvlak in het volgende kristal.

ASTM	Korrels/mm ²	Benaming
-3	1	
-2	2	
-1	4	
0	8	
1	16	
2	32	
3	64	
4	128	Grofkorrelig
5	256	
6	512	
7	1024	
8	2048	Fijnkorrelig
9	4096	
10	8200	
11	16400	
12	32800	

Tabel 1.1 Materialen voldoen aan de ASTM-norm als 70% van het materiaal aan de gestelde ASTM-norm voldoet.

Invloed grootte kristalstructuur op materiaaleigenschappen

Eerder las je dat ieder kristalrooster zijn eigen glijvlakken heeft waarover het materiaal het gemakkelijkst plastisch te deformereren is. Zou een materiaal uit één kristal bestaan, dan liggen de glijvlakken allemaal in dezelfde richting. Hierdoor is een metaal relatief gemakkelijk te deformereren. Als een materiaal bestaat uit een groot aantal kristallen, dan zullen deze kristallen kriskras zijn georiënteerd. Hierdoor zijn ook de glijvlakken in de diverse kristallen onder andere hoeken geordend. Dit leidt tot een hogere sterkte. Hoe fijner de kristalstructuur is, hoe sterker het materiaal en hoe homogener het materiaal zich zal gedragen. In tabel 1.1 is de internationale normering (ASTM) voor het aantal korrels per mm² weergegeven.

1.2.5 Kunststoffen

Bij de metalen (zie subparagraaf 1.2.4) is gesproken over de rangschikking van atomen. Naast een dergelijke opbouw van atomen worden veel materialen gevormd doordat atomen zich groeperen tot moleculen. Een molecuul is hierbij een combinatie van twee of meer atomen die door onderlinge aantrekkingskrachten