



Opbouw van metalen



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 productieroute van erts via ruwijzer naar staal is in voorgaande afleveringen geschetst. Staal is een legering met als hoofdelementen ijzer en koolstof. Daarnaast komen tal van andere legeringselementen in staal voor. Voordat deze aan de orde komen, gaan we eerst in op de opbouw van metalen, waarna het element ijzer wordt beschreven.

Een metaal in vaste toestand is opgebouwd uit atomen, die volgens een bepaald patroon in de ruimte zijn gerangschikt. Een atoom bestaat uit een positief geladen kern, waaromheen zich negatieve elektronen bewegen (elektronenwolk). Het atoom is elektrisch neutraal, dus moet het aantal elektronen gelijk zijn aan het aantal protonen. De massa van het atoom is vrijwel geheel geconcentreerd in de kern (het proton is ruim 1800 keer zo zwaar als een elektron). De diameter van een atoomkern (10⁻⁶ nanometer) is echter veel kleiner dan de diameter van het atoom (0,2-0,4 nanometer).

De elektronen bewegen zich rondom de atoomkern en bevinden zich in een aantal schillen. Deze schillen liggen op steeds grotere afstand van de kern. Hoe meer protonen een element heeft, hoe meer elektronen aanwezig zijn en hoe meer schillen zullen worden opgevuld. De elektronen in de buitenste schillen, de valentie-elektronen, hebben het grootste contact met de buitenwereld en bepalen het chemische karakter van de atoomsoort. Zijn er plaatsen vrij in de bui-

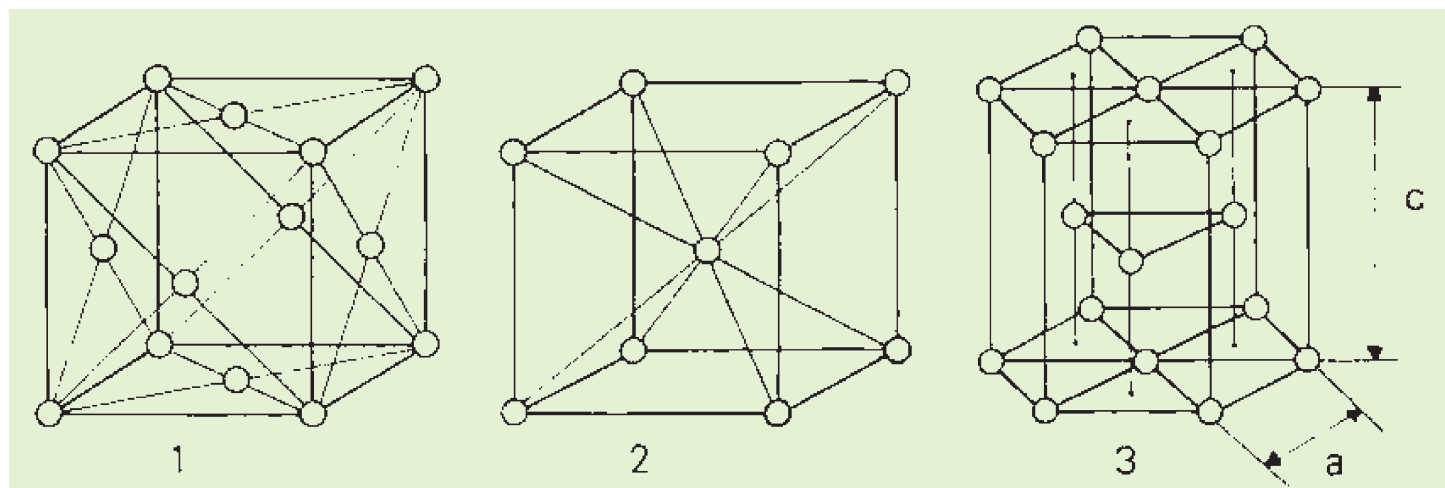
tenste schil dan kunnen elektronen van een ander atoom deze plaats tijdelijk innemen, waardoor gemeenschappelijke banen ontstaan. Deze veroorzaken een binding. Door deze bindingen worden de atomen in een vaste stof gerangschikt in kristallen. Deze rangschikking gebeurt volgens een bepaald patroon, wat het kristalrooster wordt genoemd. De vorm van het atoom (kern en aantal elektronen) bepaalt de eigenschappen van het atoom. De vorm van het kristalrooster heeft hier ook grote invloed op.

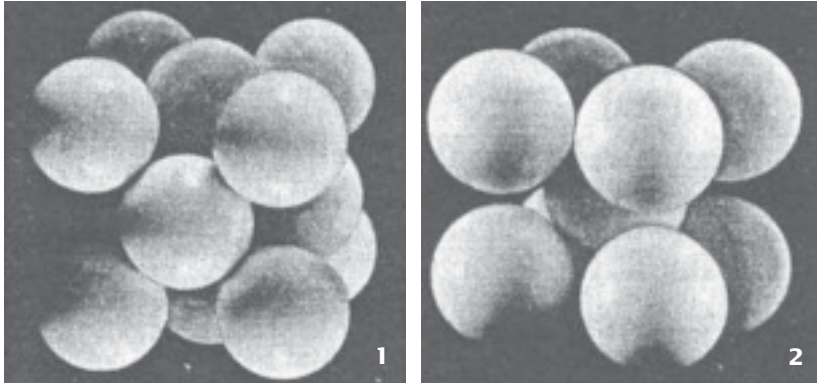
De bijzondere bruikbaarheid van ijzer is een gevolg van zijn gedrag ten opzichte van andere elementen. Niet alleen kunnen de ijzeratomen in het kristalrooster gemakkelijk worden vervangen door andere metaal-atomen, ook kunnen verschillende kleine atomen zoals koolstof en stikstof in de holten tussen de ijzeratomen in het kristal worden opgenomen.

Kristalrooster

Men spreekt van een kristallijne structuur als de atomen geordend gestapeld zijn en in alle richtingen een

Figuur 1 - De meest voorkomende kristalroosters bij metalen: het kubisch vlakken gecentreerde rooster (1), het kubisch ruimtelijk gecentreerde rooster (2) en de hexagonale dichtste stapeling (3)





Figuur 2 - Bollenmodel voor het KVG (links) en het KRG-rooster (rechts)



regelmaat vertonen. Hierbij beschouwen we de atomen voor het gemak als harde bollen (knikkers) die elkaar aantrekken. De vaste stof bestaat uit een opeenstapeling van die bollen. In de rangschikking van de bollen kan men patronen herkennen die steeds herhaald worden; de eenheidscellen. De meest voorkomende kristalroosters in metalen zijn: het kubisch vlakken gecentreerde (KVG) rooster, het kubisch ruimtelijk gecentreerde (KRG) rooster en de hexagonale dichtste stapeling (HDS), zie figuur 1.

Figuur 1.1 toont schematisch de plaats van de atoomkernen in het kubisch vlakken gecentreerde rooster. Deze afbeelding wordt de eenheidscel genoemd. Figuur 2.1 laat zien hoe de atomen van deze eenheidscel op elkaar zijn gepakt. Deze structuur wordt ook wel de dichtste bolstapeling genoemd. Elk atoom in het midden van het vlak raakt elk van de omliggende hoekatomen. Figuur 1.2 toont de eenheidscel met de atomen in het kubisch ruimtelijk gecentreerde rooster. Figuur 2.2 laat zien dat de atomen in deze structuur niet zo dicht op elkaar gepakt zijn als bij het KVG. Bij het KRG-rooster raakt het centrumatoom elk hoekatoom, maar het hoekatoom raakt de andere hoekatomen niet aan. Hierdoor is er bij het KRG-rooster meer ruimte tussen de atomen.

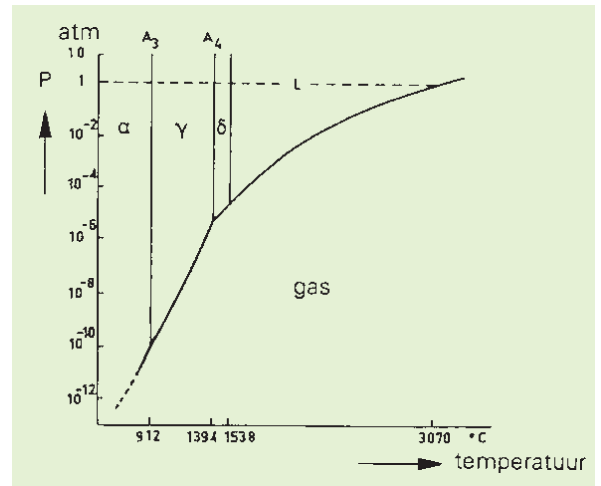
Men moet zich realiseren dat de buitenste elektronenschillen van de atomen elkaar raken. Wanneer de bindingskrachten tussen de atomen voldoende groot zijn, ontstaat een kristalstructuur met een dichtste bolstapeling waarin elk atoom het grootst mogelijk aantal naaste burens heeft (dit is het geval bij KVG en HDS). Als de bindingskrachten kleiner zijn ontstaat een iets minder dichte structuur (KRG).

Uitgaande van het eenvoudige bollenmodel (voorstelling van de atoomstapeling) kan men de vulgraad van de verschillende roosters bepalen en ook de holten beschrijven die in de roosters aanwezig zijn. De aanwezigheid van de holten en hun grootte zijn van essentieel belang. Als men de grootte uitrekent, dan kan men in het KVG-rooster twee typen holten onderscheiden: de tetraëdrische en octaëdrische holten. In deze holten past een bolletje met een grootte van res-

pectievelijk $0,225D$ en $0,414D$, waarin D de diameter van het betreffende atoom is. In het KRG-rooster is het type holte tetraëdrisch met ruimte voor een bolletje met een diameter van $0,154D$. In figuur 2 zijn de bollenmodellen voor KVG en KRG weergegeven. De holten zijn in deze figuur duidelijk waarneembaar. De ruimten spelen een essentiële rol bij het legeren van metalen, zoals in het vervolg zal worden besproken.

IJzer

Tijd om het element ijzer ter sprake te brengen. In het ijzerrooster komen zowel KVG- als KRG-roosters voor. Het blijkt dat afhankelijk van de temperatuur de ijzeratomen de voorkeur hebben voor één van beide roosters. De KRG-structuur, ook wel α -structuur of ferriet* genoemd, is de stabiele structuur beneden $912\text{ }^\circ\text{C}$. Tussen 912 en $1394\text{ }^\circ\text{C}$ is de KVG-structuur,



Figuur 3 - Het toestandsdiagram van ijzer

γ -structuur of austeniet*, stabiel. Boven $1394\text{ }^\circ\text{C}$ tot het smeltpunt is het rooster weer KRG, het δ -ferriet. IJzer wordt bij atmosferische druk gasvormig bij $3070\text{ }^\circ\text{C}$. De invloed van de druk op de verandering is te zien in figuur 3. Het blijkt dat de druk weinig invloed heeft op de temperatuur waarbij vaste stof-overgangen of fasetransformaties ($\alpha \rightarrow \gamma$, $\gamma \rightarrow \delta$) plaatsvinden. Bij lage drukken gaat de vaste stof direct over naar de gasfase.

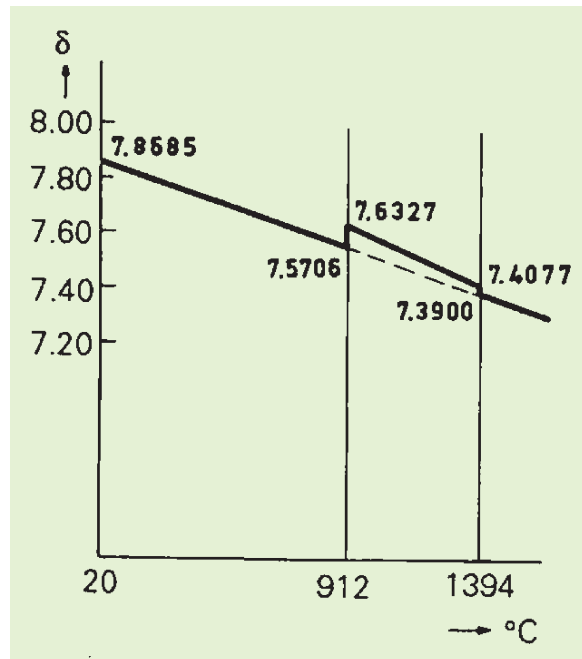
De verandering in dichtheid van het ijzer als gevolg van de verandering in rooster is duidelijk waarneembaar in figuur 4. De neergaande trend, die het gevolg is van thermische uitzetting waardoor de dichtheid afneemt, wordt onderbroken door de ferriet-austeniet en de austeniet- δ -ferriet overgang. Bij $770\text{ }^\circ\text{C}$, het Curiepunt, verdwijnt het magnetische gedrag van ijzer. In het verleden werd dit verschijnsel aangezien voor een echte fasetransformatie en aangeduid als de β -fase. Sinds is aangetoond dat kristalstructuur niet verandert, vindt men de verwijzing naar een β -fase niet meer terug. IJzer met een kubisch vlakken gecen-

treerde structuur is nooit magnetisch.

De eigenschappen van het kristalrooster van ijzer zijn niet in alle richtingen gelijk. Dit komt omdat de eigenschappen worden bepaald door onder meer de plaatsing van atomen in het rooster. Hoe verder de atomen uit elkaar zitten, hoe minder de aantrekkingskracht tussen de atomen is en des te makkelijker het is om ze uit elkaar te trekken. Dit komt bijvoorbeeld tot uiting in de elasticiteitsmodulus*, die in de kubusrichtingen 135.000 MPa, in de zijvlakdiagonaal 212.000 MPa en in de lichaamsdiagonaal 290.000 MPa bedraagt. De gemiddelde waarde, die ook in polykristallijn* ijzer wordt gevonden, is 210.000 MPa.

Zuiver ijzer is, net als andere zuivere metalen, een zacht en goed vervormbaar metaal. Het heeft een treksterkte van circa 200 MPa, een 0,2-rek grens van ongeveer 100 MPa en een rek van meer dan 40 procent (bij kamertemperatuur). De Brinellhardheid ligt rond 50 HB. Deze eigenschappen veranderen al dramatisch bij kleine hoeveelheden verontreiniging (onder andere stikstof, koolstof en fosfor). Ook de korrelgrootte van het materiaal speelt een belangrijke rol. In tabel 1 wordt een overzicht gegeven van de fysische en mechanische eigenschappen van ijzer.

De bijzondere bruikbaarheid van ijzer is een gevolg van zijn gedrag ten opzichte van andere elementen. Niet alleen kunnen de ijzeratomen in het kristalrooster gemakkelijk worden vervangen door andere metaal-atomen, ook kunnen verschillende kleine atomen zoals koolstof en stikstof in de holten tussen de ijzeratomen in het kristal worden opgenomen. De hol-



Figuur 4 - De dichtheid van ijzer als functie van de temperatuur

ten in de verschillende roosters hebben verschillende afmetingen. Voor het ijzer, met een atoomdiameter van $2,56 \times 10^{-10}$ m, kan men de diameter van de holten berekenen (zie tabel 2).

In tabel 3 zijn de atoomdiameters van enkele elementen opgenomen. Vergelijkt men de diameter van de holten met de diameter van 'kleine' atomen dan blijkt dat de atomen eigenlijk te groot zijn voor de beschikbare ruimte. Hoe groter het verschil, hoe kleiner de oplosbaarheid van het element in het ijzerrooster is.

Atoomgewicht		55,85
Atoomnummer		26
Kristalstructuur	beneden 912 °C	krf (α -ijzer)
	912 - 1394 °C	kvg (γ -ijzer)
	1394 - 1538 °C	krf (δ -ijzer)
Smeltpunt		1538 °C
Soortelijke massa (20 °C)		7870 kg/m ³
Soortelijk warmte	α -ijzer (20-900 °C)	$4,4-8,5 \times 10^2$ J/kg°C
	γ -ijzer (900-1400 °C)	$6,7-7,1 \times 10^2$ J/kg°C
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	α -ijzer (20 °C)	$12,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
	α -ijzer (20-600 °C)	$16 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
	γ -ijzer (900-1100 °C)	$21-23,5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$
Elektrische soortelijke weerstand	20 °C	9,5 $\mu\Omega$ cm
	900 °C	114 $\mu\Omega$ cm
Warmtegeleidingscoëfficiënt	20 °C	75 J/m s °C
	800 °C	30 J/m s °C
Magnetische eigenschappen	Curiepunt	770 °C
Elasticiteitsmodulus		21.0000 MPa
Treksterkte		180-290 MPa
0,2-rek grens		100-170 MPa
Rek		40-50%
Hardheid		45-55 HB

Tabel 1 - Fysische en mechanische eigenschappen van ijzer





Type holte	Diameter (Å)
KVG	0,576
KVG	1,060
KRG	0,394

Tabel 2 - Diameter van holten in KVG- en KRG-roosters

Het ijzerrooster zal door de aanwezigheid van de andere atoomsoort lokaal worden opgerekt. Dit veroorzaakt spanningen in het rooster waardoor het materiaal sterker wordt.

Element	Atoomdiameter (Å)
H	0,64
C	1,54
N	1,50
O	1,46
P	2,12
Fe	2,34
Mn	2,34
Si	2,22
Ni	2,30
Cr	2,36

Tabel 3 - Atoomdiameter van enkele elementen

Gebaseerd op de kennis van de opbouw van een metaal, kunnen de eigenschappen worden aangepast. Bij het legeren van ijzer worden vreemde atomen in het rooster ingebracht. Deze atomen kunnen, als ze klein genoeg zijn, in de holten van het rooster plaatsnemen (interstitiele atomen). Grotere atomen passen daar niet meer in en zullen posities innemen waar de ijzeratomen zaten (substitutionele atomen). Hierop zal in het vervolg van deze serie uitvoerig worden teruggekomen, startend met het belangrijkste element in staal: koolstof. ■

** Een verklaring van dit woord is opgenomen in de Vakjargonlijst elders in deze uitgave*

Referenties

- G. den Ouden, B.M. Korevaar, Metaalkunde deel 1, DUM, ISBN 90-6562-117-2, 1991.
- B.M. Korevaar, G. den Ouden, Metaalkunde deel 2, DUM, ISBN 90-407-1282-4, 1998.
- Smithells metals reference book, 7th ed., Butterworth Heinemann Ltd., Ed. E.A. Brandes en G.B. Brook, 1992, ISBN 0-7506-1020-4.