

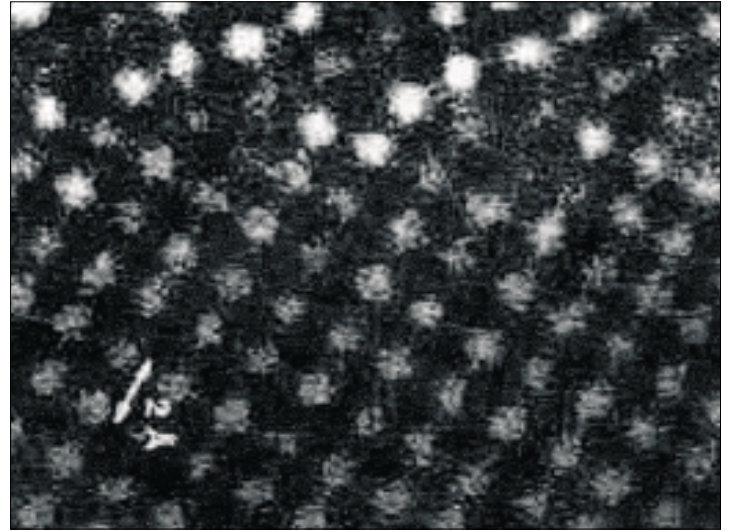
METALLURGIE EN LASMETALLURGIE

ALGEMENE BASISPRINCIPES EN BEGRIPPEN

In deze bijdrage bespreken we de rol van de metallurgie, en dit toegepast op het lassen. Daarnaast halen we de algemene basisprincipes van de metallurgie aan. Deze laten toe het metallurgisch gedrag van een basismateriaal te begrijpen (het metaal dat gelast zal worden). Om te besluiten wordt een samenvatting gegeven van een reeks aangehaalde metallurgische begrippen.



Door Laurent Carbonell (Institut de Soudure - France)
Vertaald door Ir. R. Vennekens, EWE, FWeldl en Ir. Koen Faes,
EWE (Belgisch Instituut voor Lastechniek)



Figuur 1: Structuur van een metaal (gezien met een elektronenmicroscop)

ROL METALLURGIE EN LASMETALLURGIE

• ROL METALLURGIE

Vooraleer gestart wordt met het bouwen van een constructie gaat de ontwerper een materiaal kiezen dat het meest geschikt is om te voldoen aan de dienstvoorwaarden waaraan het gelast product zal worden onderworpen. In de praktijk zijn het vooral de mechanische eigenschappen van de materialen die de keuze van de ontwerper bepalen. Men zal bijvoorbeeld een legering kiezen met een hoge treksterkte om een vakwerk te bouwen dat onderworpen is aan een hoge trekbelasting of een schokbestendig staal voor de productie van een as van een vrachtwagen. De eigenschappen van materialen zijn afhankelijk van

de metallurgische structuur (interne opbouw van het materiaal). De voornaamste rol van de metallurgie bestaat er dan ook in het metallurgisch gedrag van een materiaal te begrijpen, of eenvoudiger gezegd, te weten hoe men een metallurgische structuur kan 'scheppen of laten evolueren'. Dit met als doel de eigenschappen van de materialen te beheersen.

• WAT KAN DE STRUCTUUR VAN MATERIELEN DOEN VERANDEREN?

De metallurgische structuur (en dus de eigenschappen) van de materialen evolueert voornamelijk met:

- de chemische samenstelling (aard en hoeveelheid van de aanwezige legeringselementen in het materiaal);
- de thermische behandeling (zie ook thermomechanische behandeling) die het materiaal

ondergaat tijdens de fabricatie. Dit wil zeggen de wijze waarop het werd opgewarmd en afgekoeld tijdens of na de vormgeving van het materiaal (bijvoorbeeld de thermische behandeling van het afschrikken en ontlaten);

- de manier waarop een materiaal werd geproduceerd. We onderscheiden achtereenvolgens de gegoten producten (geproduceerd door smelten en stollen) en de producten die werden verkregen door een warmvervorming (bijvoorbeeld walsen, smeden, enz.).

• ROL LASMETALLURGIE

Tijdens het lassen wordt metallurgisch gezien alles terug in vraag gesteld. De structuren van de te verbinden onderdelen hebben namelijk de neiging om te veranderen tijdens het lasproces. Inderdaad, in het merendeel van de gevallen worden tijdens een lasproces de materialen opgewarmd door de las-warmtebron en vervolgens terug afgekoeld. De verbonden materialen ondergaan dus een nieuwe thermische behandeling. Als het daarenboven gaat om smeltlassen:

- kunnen de verbonden materialen een nieuwe chemische samenstelling krijgen wanneer ze vermengd worden met een materiaal met een andere chemische samenstelling, bijvoorbeeld met het toevoegmateriaal,
- en in alle gevallen verandert de structuur van het basismateriaal in een gietstructuur (tenminste gedurende korte tijd), vergelijkbaar met de structuur in een gietstuk, in het gebied waar het metaal

gesmolten en terug gestold is. De voornaamste rol van de lasmetallurgie bestaat erin te weten hoe de metallurgische structuur van een materiaal evolueert in de zones waar de structuur werd gewijzigd door het lasproces (gelaste zones) met als doel de eigenschappen van de las te beheersen.

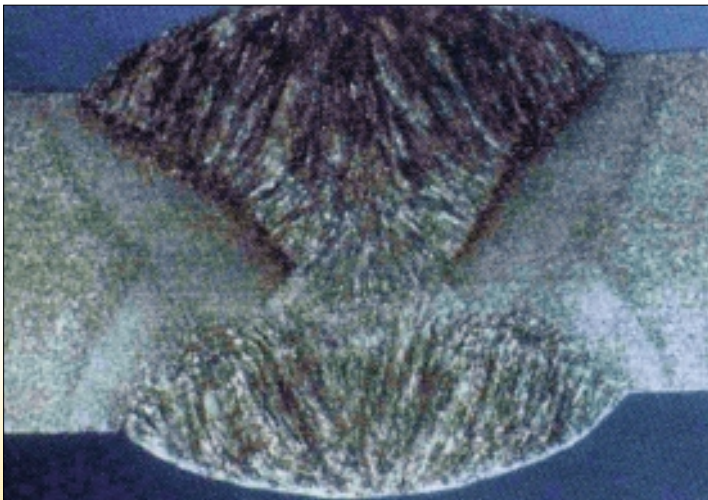
(Zie figuur 1: Structuur van een metaal, gezien met een elektronenmicroscop, en figuur 2: macrografie van een las in staal)

• HOE HET METALLURGISCH GEDRAG BEGRIPPEN?

Om het metallurgisch gedrag van een basismateriaal dat gelast wordt te begrijpen moet men het volgende kennen en bestuderen:

- Allereerst het metallurgisch gedrag van het materiaal dat men gaat lassen. Dit wordt door de lasmetallurg het basismateriaal (B/M) genoemd.
- De manier waarop een las opwarmt en afkoelt in de tijd en in de ruimte (thermische cyclus van de las), alsook de invloedsfactoren (energie, gelaste dikte...). Men spreekt van de thermische aspecten van het lasproces.
- De wijzigingen die het basismateriaal ondergaat in de zone waar het werd opgewarmd en afgekoeld zonder de smelttemperatuur te bereiken. Deze zone wordt de warmte-beïnvloede zone (VVBZ) genoemd. Indien het gaat om smeltlassen:
- De wijzigingen die het basismateriaal ondergaat in de zones waar het werd opgewarmd, gesmolten en terug afgekoeld (na het stollen) en eventueel chemisch werd gewijzigd (indien een toevoegmateriaal werd gebruikt).

Figuur 2: Macrografie van een las in staal



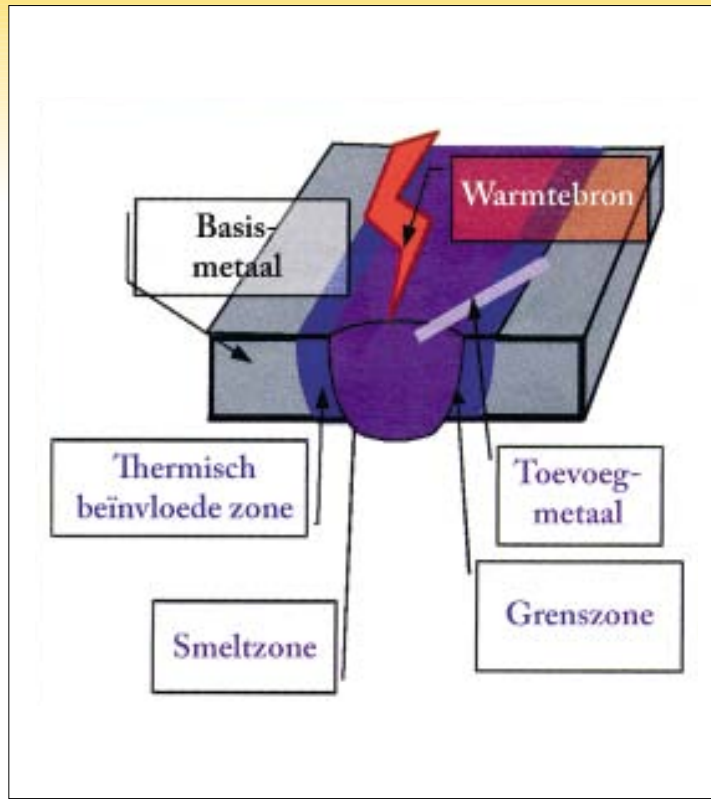
Deze zone noemt men het smeltbad of de las.
 – De speciale wijzigingen die kunnen optreden aan de grens van de las en de warmte-beïnvloede zone. Deze zone wordt de fusieliijn (FL) genoemd.
 (Zie figuur 3: Basismateriaal, warmte-beïnvloede zone, las, warmtebron, toevoegmetaal, fusieliijn)

ALGEMENE BEGRIPPEN

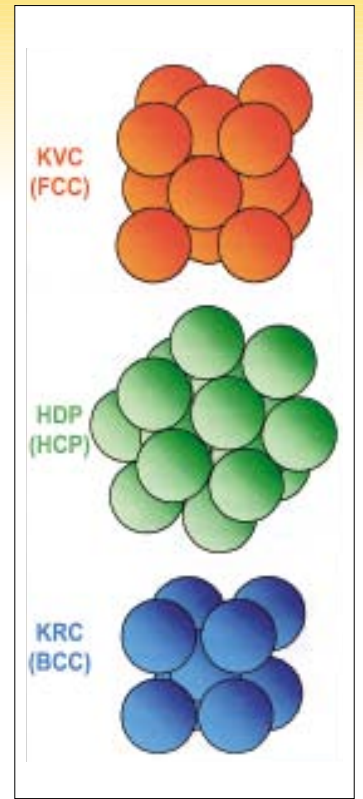
Hieronder bespreken we de algemene begrippen inzake het metallurgisch gedrag van het basismateriaal.

STRUCTUUR

De eigenschappen van de materialen hangen af van hun structuur... Hoe kan men op de meest nauwkeurige manier de metallurgische structuur van een materiaal definiëren?
 De structuur van een materiaal stemt overeen met de wijze waarop de samenstellende elementen geordend zijn in de ruimte. Naargelang van de toegepaste observatiemethode kan de structuur van een materiaal bestudeerd worden volgens 3 onderzoeksmethoden:
 – Met het blote oog onderzoekt men de macrostructuur van het materiaal of de structuur van het geheel. De resolutie is van de orde van 1 mm.
 – Met de optische microscoop onderzoekt men de microstructuur of de schikking van de korrels. De resolutie is van de orde van 0,001 mm (1 micron).
 – Een ander laboratoriummiddel zoals de X-straaldiffractie (zie transmissie-elektronenmicroscop) laat toe de opbouw en de schikking van de atomen te visualiseren (die men kan voorstellen als bollen). Men spreekt dan van de kristalstructuur. De resolutie is van de orde van



Figuur 3: Basismateriaal, warmte-beïnvloede zone, las, warmtebron, toevoegmetaal, fusieliijn



Figuur 8: Verschillende kristalroosters volgens het type van stapeling

0,0000001 mm (1 Angström). Indien de structuur van een materiaal evolueert op één van de drie genoemde niveaus zullen de eigenschappen van dit materiaal veranderen. We zullen dit in detail bestuderen, beginnende met de kristalstructuur. (Zie figuur 4: Macrografie: structuur van het geheel, men ziet bv. een lagenstructuur. Micrografie: korrelstructuur, men ziet de korrels. Kristalstructuur, men ziet de atomen)

KRISTALSTRUCTUUR

• **WAT IS EEN KRISTALSTRUCTUUR?**

Om het geheugen op te frissen bespreken we eerst de bindingen die de atomen samenhouden. In

de vloeibare toestand zijn de bindingskrachten die werken tussen de atomen zeer zwak. Ze zijn voldoende zwak zodat de gravitatiekracht het materiaal kan doen vloeien over een oppervlak. Dit kan visueel voorgesteld worden door een hoeveelheid kogels die men uitgiet op een oppervlak. (Zie figuur 5: Schematische voorstelling van een vloeibaar materiaal)
 In de vaste toestand kunnen 2 types bindingen tussen de atomen bestaan:

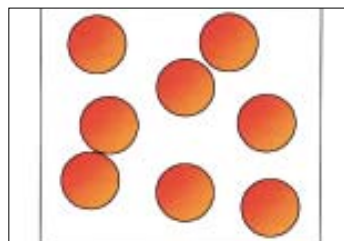
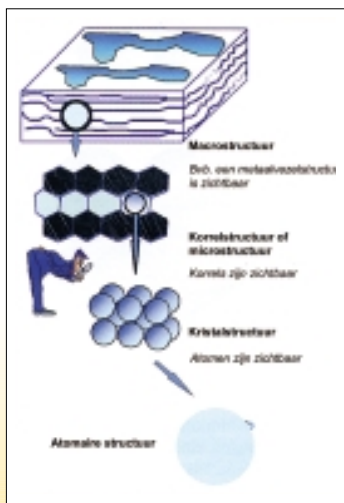
- De zeer sterke chemische bindingen die bestaan tussen verschillende atomen (in het geval ze een chemische affiniteit voor elkaar vertonen), zodat er zeer sterke chemische samenstellingen ontstaan. We denken bijvoorbeeld aan keramische materialen of carbiden die men aantreft in de staalstructuur.
- De metaalbindingen, of de ionenbindingen, die metaal atomen binden. Deze zijn zwakker dan de

chemische bindingen, wat resulteert in vaste metalen die, zoals men weet, zachter zijn dan keramiek of carbiden. Wanneer metaal atomen in vaste toestand aan elkaar gebonden zijn (bijvoorbeeld wanneer ze stollen), gaan ze zich niet willekeurig ordenen in de ruimte, maar nemen ze een regelmatige schikking aan. Hierbij hindert de ene de andere niet vanuit mechanisch oogpunt. Het geometrische aspect van deze schikking op atoomschaal wordt de kristalstructuur of het kristalrooster genoemd.

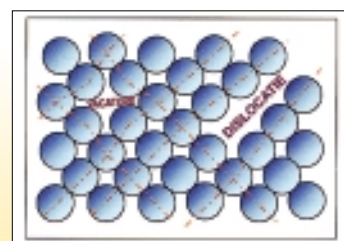
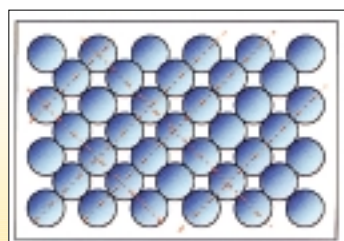
• **VERSCHILLEN IN KRISTALSTRUCTUREN**

- Een kristalrooster in evenwicht: wanneer de kristalschikking de perfectie benadert, zegt men dat het rooster in evenwicht is. In dit geval heeft het materiaal het laagste niveau van interne spanningen. Er is weinig druk tussen de atomen. Het materiaal is stabiel en heeft geen neiging meer om te evolueren in de tijd. (Zie figuur 6: Schematische voorstelling van een kristalrooster in evenwicht)
- Een kristalrooster in on-evenwicht: wanneer de opbouw van het kristalrooster werd verstoord (bijvoorbeeld bij het stollen of na een mechanische vervorming, of in bepaalde gevallen wanneer het snel werd afgekoeld (afschrikken)), bestaan er veel onvolkomenheden of stapelfouten in de sterk vervormde roosters. Deze fouten zijn van het type:
 - holte: er ontbreekt een atoom
 - dislocatie: er ontbreekt een atoomvlak.

Figuur 4: Macrografie, micrografie en kristalstructuur



Schematische voorstelling van een vloeibaar materiaal (foto 5), een kristalrooster in evenwicht (foto 6) en een rooster uit evenwicht (foto 7)



In dit geval zegt men dat het materiaal uit evenwicht is. Er is een bepaalde druk tussen de atomen en het interne spanningsniveau is hoger dan in evenwichtstoestand. De roosters in on-evenwicht hebben niet dezelfde eigenschappen als de roosters in evenwicht. Ze zijn bijvoorbeeld dikwijls veel harder. (Zie figuur 7: Schematische voorstelling van een rooster uit evenwicht)

Opmerking: de metalen die uit evenwicht zijn streven ernaar om opnieuw te evolueren naar hun evenwichtstoestand. Dit verklaart veel metallurgische fenomenen.

- Stapelingen: men onderscheidt eveneens de kristalroosters volgens het type van stapeling die ze voorstellen. Uit geometrisch oogpunt spreken we van stapelingen. In evenwichtstoestand zijn er voor de metalen slechts drie mogelijkheden. De mogelijke stapelingen zijn: kubisch vlakken gecentreerd (KVG), hexagonaal dichtst gestapeld (HDG) of kubisch ruimtelijk gecentreerd (KRG). De KVG- en HDG-roosters worden

• **BEGRIPPEN BETREFFENDE HET MECHANISCH GEDRAG, DE KRISTALSTRUCTUUR EN DE MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN**

Welk verbanden bestaan er tussen de kristalstructuren en de eigenschappen van een materiaal? Om te antwoorden op deze vraag belichten we eerst het gedrag en de mechanische eigenschappen van materialen. We beperken ons tot drie types van gedrag: het elastisch, plastisch en bros gedrag.

- Elastisch gedrag

Hierbij ontstaat er een zwakke vervorming van een metaallegering. Deze wordt opgeheven wanneer men de spanning wegneemt die deze vervorming deed ontstaan. Tijdens de vervorming verwijderen de atomen van het kristalrooster zich van elkaar over zeer kleine afstanden.

(Zie figuur 9: Schematische voorstelling van het elastisch gedrag)

- Plastisch gedrag

Bij plastisch gedrag treedt een blijvende vervorming in het materiaal op nadat de spanning wordt weggenomen die deze vervorming heeft veroorzaakt (met uitzondering echter van het elastische gedeelte van de vervorming). In dit geval gaan de atomen zich verplaatsen over grote afstanden, maar ze blijven met elkaar verbonden. De vervorming is overigens waarneembaar met het blote oog. Men verklaart dit fenomeen door de beweging van de dislocaties. Deze bestonden reeds in het metaal vóór de plastische vervorming en groeien beetje bij beetje tijdens de vervorming.

Bij deze bewegingen van de dislocaties zullen de materiaallagen ten opzichte van elkaar glijden volgens de vlakken met een hoge atoomdichtheid. De plastische vervorming ontstaat wanneer atomen die met elkaar in contact zijn mekaar wegduwen onder de invloed van de spanningen. De totale hoeveelheid plastische vervorming die een materiaal kan opnemen voor het breekt (ductiel), wordt de verlenging genoemd in procent (A%). Om dit uit te drukken in termen van spanningen, de nodige hoeveelheid aan kracht per vierkante millimeter om een materiaal tot breuk te brengen (al dan niet ductiel), wordt de breuklast genoemd (R_m in N/mm^2).

Nog steeds in termen van spanningen; de grens van een gegeven materiaal tussen het zuiver elastisch en het plastisch gedrag, of anders gezegd de benodigde kracht per vierkante millimeter om een materiaal te brengen tot plastische vervorming, wordt de elasticiteitsgrens genoemd (R_e in N/mm^2).

De waarden $A\%$, R_e en R_m worden bepaald via een trekproef. (Zie figuur 10: ductiele breuk bij een trekproef)

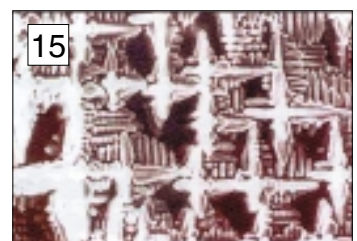
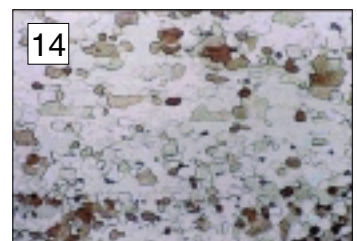
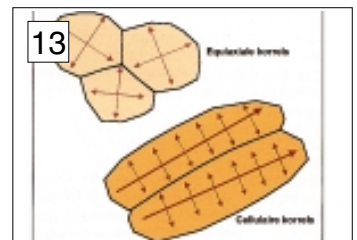
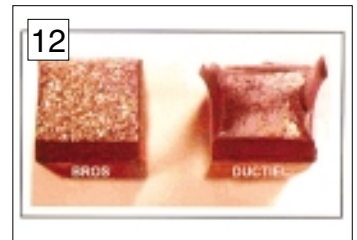
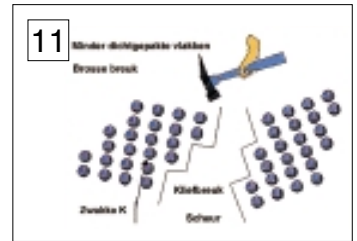
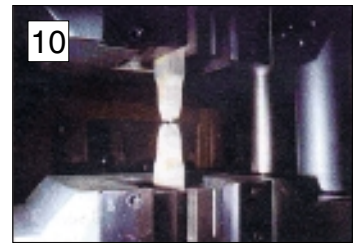
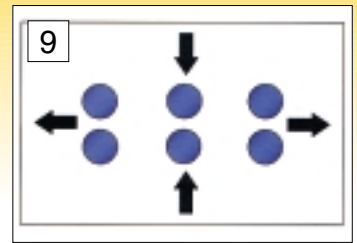
- Bros gedrag

Laten we het nu even hebben over het bros gedrag van een materiaal. Een bros materiaal biedt weinig weerstand tegen schokbelastingen, het kan zeer gemakkelijk breken (zoals glas) en dit zonder plastische vervorming, zelfs indien de stootbelasting waaraan het werd onderworpen weinig energie-inhoud heeft. In dit geval is de breuk plots en brutaal. Wanneer het gaat over een transkristallijne of transgranulaire breuk - we zullen verder zien wat dit betekent - treedt de breuk op tussen de atomen gelegen in de vlakken met een lage atoomdichtheid (daar waar de atomen niet in contact zijn met elkaar). Dit zijn de plaatsen waar de bindingen tussen de atomen het zwakst zijn. Men spreekt van een splijtbreuk. De weerstand van een materiaal tegen brosse breuk (KV of KU) wordt gemeten in Joule. Deze waarde wordt gemeten met een kerfslagproef. (Zie figuur 11: Schematische voorstelling van een brosse breuk)

Opmerking: wanneer de breuk een zuiver bros karakter bezit, dit wil zeggen zonder enige plastische vervorming, dan zijn R_e en R_m gelijk.

We gaan het nu hebben over het verband tussen kristalstructuren en de mechanische eigenschappen. Het mechanisch gedrag van een materiaal hangt voornamelijk af van het gemak waarmee de atoomlagen kunnen glijden over elkaar; of meer in het bijzonder het gemak waarmee dislocaties kunnen verplaatst worden door een spanning zodat een plastische vervorming ontstaat. (Zie figuur 12: proefstaven gebroken tijdens een kerfslagproef)

Bijvoorbeeld:
- De structuren die niet in evenwicht zijn hebben een hogere elasticiteitsgrens dan de structuren



LEGENDE FIGUUR 9 T.E.M. 16

Figuur 9: Schematische voorstelling van elastisch gedrag
Figuur 10: Ductiele breuk bij een trekproef

Figuur 11: Schematische voorstelling van een brosse breuk
Figuur 12: Proefstaven gebroken tijdens een kerfslagproef

Figuur 13: Vormen van de korrels
Figuur 14: Equiaxiale korrels in een thermisch behandeld staal

Figuur 15: Cellulaire korrels in gegoten koper
Figuur 16: Dendriten zoals geobserveerd met raster-elektronenmicroscopie

BIJ LAGE TEMPERATUUR ZIJN DE MATERIELEN GEVOELIG VOOR BROSE BREUK OMDAT DE KLEINE HOEEVEELHEID AAN THERMISCHE AGITATIE DIE ZE BEZITTEN HET GLIJDEN VAN DE ATOOMVLAKKEN VERSTOORT

compact genoemd omdat de aanwezige atomen zeer dicht bij elkaar zitten. We zullen verder zien waarom koper, nikkel en aluminium (KVG) of titaan en zirconium (HDG) materialen zijn die gemakkelijk vervormbaar zijn, terwijl ijzer en chroom (KRG) moeilijk te vervormen zijn. (Zie figuur 8)

- **THERMISCHE AGITATIE EN DIFFUSIE**

De atomen bevinden zich niet vast binnen een rooster: ze trillen, en dit des te meer naarmate de temperatuur hoger is. Men noemt dit de thermische agitatie. Bijvoorbeeld bij kamertemperatuur trillen de ijzeratomen met een frequentie van 1013 Hertz. Dit wil zeggen dat ze hun gemiddelde positie 1 miljoen miljard keer per seconde verlaten en er ook terugkeren! Deze thermische agitatie bevordert de verplaatsing van de atomen binnen het kristalrooster. Men spreekt van diffusie. Tijdens de diffusie verplaatsen de atomen zich via het netwerk van holtes en dislocaties. Dit verklaart bijvoorbeeld waarom men warmte gebruikt om de atomen te verplaatsen om de metallurgische structuur te wijzigen (bij een thermische behandeling) om zó de eigenschappen van het materiaal te veranderen...

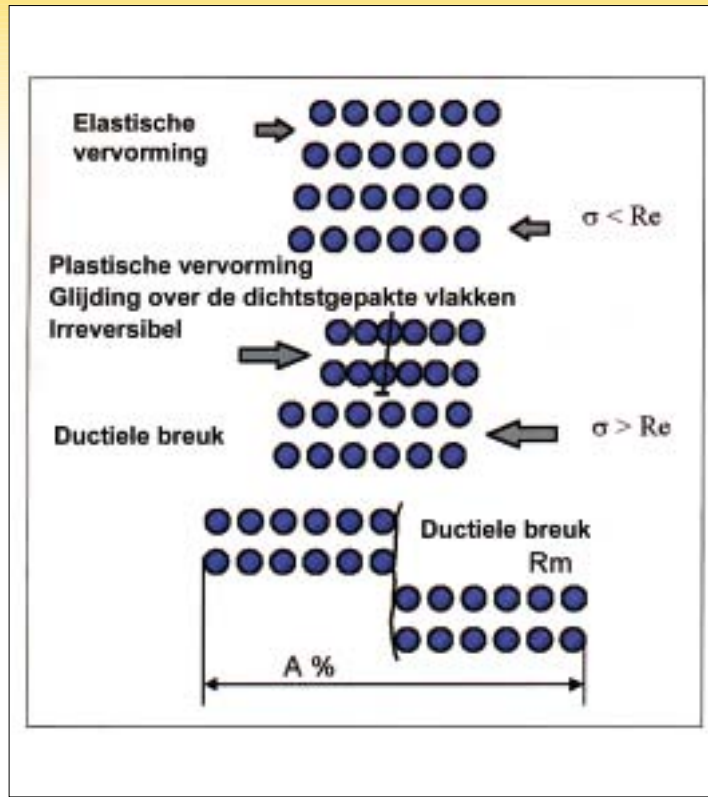
in evenwicht, omdat het groot aantal storingen in de kristalroosters het glijden van de atoomvlakken verhindert (of het bewegen van de dislocaties). Inderdaad, de talrijke aanwezige dislocaties storen elkaar bij hun verplaatsingen. Je zou dit kunnen vergelijken met een oververzadigde autoweg waar alle voertuigen zich tegelijkertijd snel willen verplaatsen en mekaar dus hinderen.

- De meer dichte KVG-structuren gaan gemakkelijker plastisch vervormen omdat ze in alle richtingen een dichte stapeling hebben. De atomen die hier in contact zijn, gaan elkaar gemakkelijk wegduwen om plastische vervormingen te veroorzaken. In dezelfde gedachtegang kan men stellen dat KVG-structuren dikwijls vrijwel ongevoelig zijn voor brose breuk omdat ze in veel richtingen een hoge atoomdensiteit hebben, wat het glijden van de atoomvlakken vergemakkelijkt. Ze hebben geen enkel vlak dat een voldoende lage atoomdensiteit heeft om splijtbreken te doen ontstaan.

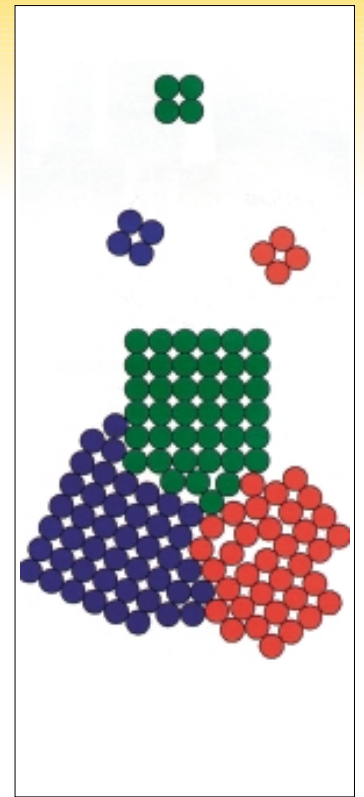
- Noteren we hier eveneens de invloed van de temperatuur. Bij lage temperatuur zijn de materialen gevoelig voor brose breuk omdat de kleine hoeveelheid aan thermische agitatie die ze bezitten het glijden van de atoomvlakken verstoort. (Zie tabel: samenvatting van het verband dat bestaat tussen structuur, temperatuur en mechanische eigenschappen) (Zie figuur 14: evenwichtsstructuur, structuur uit evenwicht KVG-structuur, KRG-structuur, Hoge temperatuur, Lage temperatuur H=Hardheid)

MICROSTRUCTUUR

Wat ziet men wanneer men de metaalkristallen bekijkt met de microscop? De vorming van een kristalrooster



Figuur 17: Schematische voorstelling van plastisch gedrag



Figuur 18: Schematische voorstelling van de nucleatie en groei van metaalkristallen

van een metaal gebeurt door kiemvorming, gevolgd door korrelgroei. Zoals bijvoorbeeld in het begin van de stolling in een gietpan gevuld met vloeibaar metaal, ontstaan de kristalkiemen zowat overal en in alle richtingen. Daardoor is elke gevormde kiem verschillend georiënteerd ten opzichte van zijn burens. Vervolgens zal elke kiem een kristal ontwikkelen dat relatief in evenwicht is indien de temperatuur voldoende hoog is om diffusie toe te laten. Bij het einde van deze ontwikkeling daarentegen, kunnen de gevormde kristallen zich enkel verenigen via een vervormd netwerk dat in on-evenwicht is, maar dat zich tracht aan te passen

aan de verschillende oriëntaties van de kristalroosters. Het resultaat van deze vorm van kristalgroei is een geheel van kristalroosters die ten opzichte van elkaar in evenwicht zijn, maar vooral verschillend georiënteerd zijn en die verbonden zijn door kristalroosters die niet in evenwicht zijn. De kristalroosters in evenwicht en verschillend georiënteerd ten opzichte van elkaar worden korrels genoemd. De roosters die niet in evenwicht zijn en die de verbinding vormen tussen deze korrels worden de korrelgrenzen genoemd. Wanneer men na een speciale metallografische

voorbereiding een doorsnede van een metallisch materiaal bekijkt met een metaalmicroscop, dan verschijnen de kristallen onder de vorm van korrels en korrelgrenzen. Men spreekt dan van de microstructuur.

• VERSCHIEDENHEID MICROSTRUCTUUR

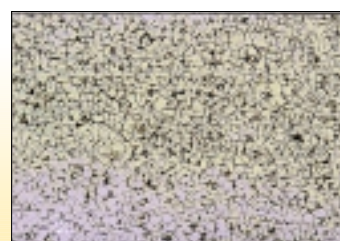
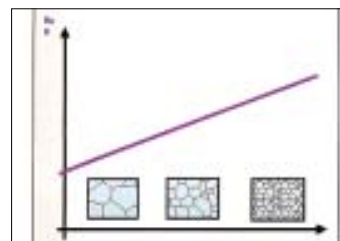
Hoe onderscheidt men de verschillende microstructuren? Men onderscheidt eerst en vooral de korrels volgens hun vorm.

- Equiaxiale korrels
Wanneer het groeien van de korrels quasi uniform gebeurt in alle richtingen, zoals bijvoorbeeld tijdens een thermische behandeling, dan nemen de korrels een evenwichtsvorm aan die qua vorm dicht bij een bolvorm ligt. Men spreekt dan van equiaxiale korrels.

- Stengelstructuren
Wanneer de korrelgroei verloopt volgens een bevoorrechte richting, bijvoorbeeld tijdens een stolling, dan nemen ze een langgerekte vorm aan die aan de uiteinden minder in evenwicht is. De korrels vormen een dendrietstructuur bij het stollen. Men spreekt dan van een stengelstructuur. (Zie figuur 13: equiaxiale korrels, stengelstructuur, vorm van de korrels - Figuur 14: equiaxiale korrels van een thermisch behandeld staal - Figuur 15: stengelstructuur van gegoten koper - Figuur 16: Dendrieten bekeken met een elektronenmicroscop)

- Korrelgrootte
Men onderscheidt vervolgens korrels volgens hun grootte. Om redenen die verder in dit artikel

Boven (Figuur 19): Schematische voorstelling van de wet van Petch en Hall; onder (Figuur 20): korrels in een genormaliseerd staal



Tabel: Samenvatting van het verband dat bestaat tussen structuur, temperatuur en mechanische eigenschappen

	Re	A%	K	H
EVENWICHTS-STRUCTUUR				
NIET-EVENWICHTS-STRUCTUUR				
FCC-STRUCTUUR				
BCC-STRUCTUUR				
HOGE TEMPERATUUR				
LAGE TEMPERATUUR				
H = hardheid				

zullen worden uitgelegd kan de korrelgrootte zeer verscheiden zijn. Deze is genormaliseerd volgens een nummer dat de korrelgrootte aangeeft. Men spreekt dan van een fijnkorrelstructuur indien het nummer voor de korrelgrootte groter is dan 6 en van een grove korrelstructuur wanneer het nummer voor de korrelgrootte gelijk aan 2 is.

• **MICROSTRUCTUUR EN MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN**

Welk verband bestaat er tussen de microstructuur en de mechanische eigenschappen?

Eerst en vooral valt er op te merken dat equiaxiale korrels quasi isotrope mechanische eigenschappen hebben. Dit wil zeggen dezelfde eigenschappen in alle richtingen, terwijl een stengelstructuur anisotrope eigenschappen vertoont. Het belangrijkste is te weten dat het vooral de korrelgrootte is die het gedrag bepaalt van een legering wat betreft de trek- en schokbelasting. Petch en Hall hebben aangetoond dat de elasticiteitsgrens van een materiaal toeneemt wanneer de korreldiameter afneemt. Hetzelfde geldt voor de schokweerstand. (Zie figuur 20: schematische voorstelling van de wet van Petch en Hall)

Inderdaad, hoe meer korrelgrenzen er zijn, hoe meer hindernissen er zijn voor het glijden en voor het voortplanten van een slijpbreak. (Zie figuur 21: ijzer en

vervormbare staalsoorten, regeneratie en oververhitting, onafhankelijk van de uitgangstoestand)

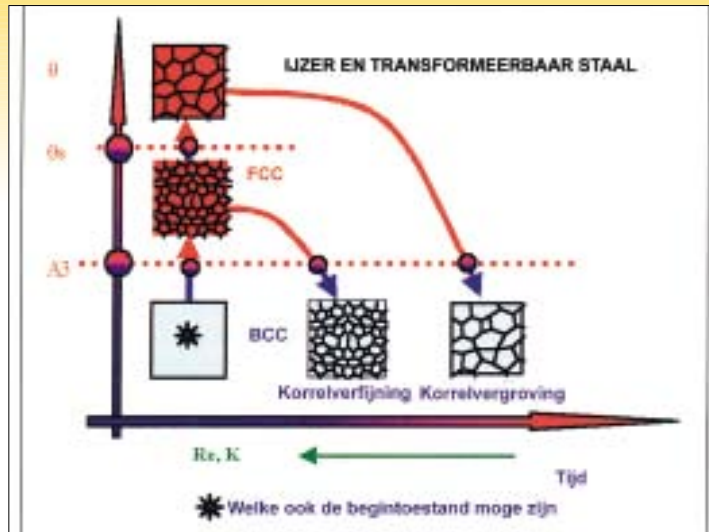
• **EVOLUTIE VAN DE KORRELGROOTTE**

Hoe kan men de korrelgrootte beïnvloeden?

We beperken ons tot een voorstelling van de drie metallurgische fenomenen die de korrelgrootte van metaallegeringen beïnvloeden: herstel van transformeerbare staalsoorten, oververhitting en koudvervorming/rekristallisatie.

– Herstel van transformeerbare staalsoorten

Ijzer en de meeste staalsoorten (niet- en laaggelegeerde stalen en martensitische roestvaste stalen in het bijzonder) worden transformeerbaar genoemd. Dit wil zeggen dat de kristalstructuur verandert met de temperatuur. Bij kamertemperatuur zijn deze staalsoorten kubisch ruimtelijk gecentreerd. Wanneer ze opgewarmd worden tot boven de A3-temperatuur worden ze helemaal kubisch vlakken gecentreerd. Ze worden opnieuw kubisch ruimtelijk gecentreerd wanneer ze terugkeren naar kamertemperatuur. De A3-temperatuur situeert zich rond de 900 °C. Dit kristallijn gedrag is gekoppeld met de korrelgrootte.



Figuur 21: IJzer en transformeerbaar staal

Een wijziging van kristalstructuur wordt vergezeld van een korrelverfijning. Men spreekt van herstel.

(Zie figuur 20: Korrels van een genormaliseerd staal)

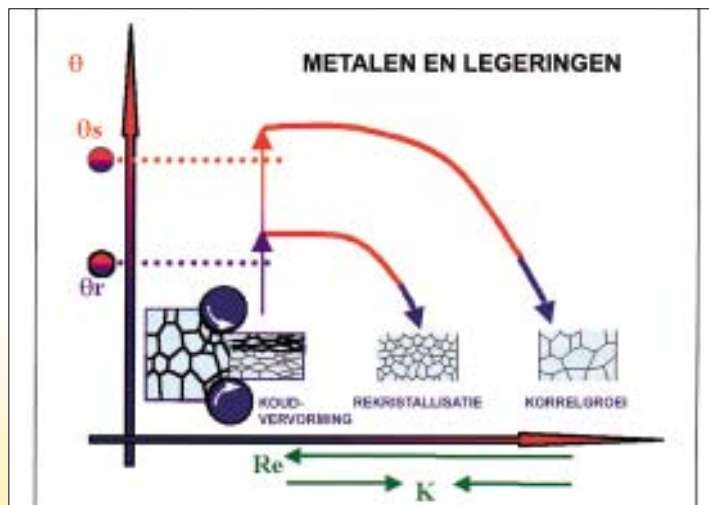
Dit fenomeen wordt veel gebruikt door de metallurgen bij de thermische behandeling van transformeerbare staalsoorten. Om een fijnere korrel te verkrijgen volstaat het deze staalsoorten te verhitten tot juist boven de A3-temperatuur en ze dan te laten afkoelen in rustige lucht. Men spreekt van een normalisatiebehandeling.

– Oververhitting
De korrelstructuren vertonen onvolkomenheden van het rooster langs de korrelgrenzen. Wanneer een metaallegering op hoge temperatuur wordt gebracht, bijvoorbeeld enkele tientallen graden onder het smeltpunt, dan wordt de thermische agitatie zo groot dat roosters de neiging vertonen om zich te verenigen en dezelfde oriëntatie aan te nemen. De onvolkomenheden tussen de roosters worden dan uitgewist. Het resultaat van dit mechanisme tussen

de kristallen is eenvoudig: de korrels gaan zich verenigen, worden minder talrijk en dus groter. Zoals we weten gaan de mechanische eigenschappen dalen wanneer de korrelgrootte toeneemt. De metallurgen spreken van oververhitting.

– Koudvervorming/rekristallisatie en oververhitting
Wanneer een materiaal bij kamertemperatuur wordt vervormd, spreekt men van een koudvervormd materiaal. Door koudvervorming wordt een kristalrooster bekomen dat uit evenwicht en instabiel is en dat wil evolueren naar een evenwichtstoestand. Wanneer een voldoende koudvervormd materiaal wordt opgewarmd, zal het rekristalliseren om terug te keren naar een meer stabiele evenwichtstoestand. Er worden dan nieuwe korrels gevormd. Men kan korrelverfijning verkrijgen door een sterk koudvervormd materiaal terug te verhitten tot juist boven de rekristallisatietemperatuur. Dit principe wordt toegepast bij het gecontroleerd walsen. Daarentegen, wanneer een

Figuur 22: Metaal en vervormbare metaalsoorten



koudvervormd materiaal wordt opgewarmd tot een te hoge temperatuur, ontstaat er korrelgroei, een fenomeen van oververhitting dat wordt waargenomen bij alle legeringen.

Opmerking: de rekristallisatietemperatuur van een legering is ongeveer gelijk aan de helft van de smeltemperatuur. Opmerking betreffende een mechanische koudvervorming: wanneer een legering wordt koudvervormd zullen de hierdoor gecreëerde dislocaties in het materiaal het glijden van de atoomvlakken bemoeilijken. Dit glijden ligt aan de basis van de plastische deformatie. Praktisch gezien heeft het resultaat van een koudvervorming een mechanisch effect: de elasticiteitsgrens en de treksterkte verhogen.

Omgekeerd heeft rekristallisatie dit effect op. (Zie figuur 23: koudvervormd koper - figuur 24: gerekristalliseerd koper en figuur 25: oververhit koper)

MACROSTRUCTUUR

Wanneer men na een speciale metallografische bereiding een metaaldoorsnede met het blote oog bekijkt, spreekt men van een macro-onderzoek of van een onderzoek van de macrostructuur.

• **MACROGRAFISCHE DIVERSITEIT**

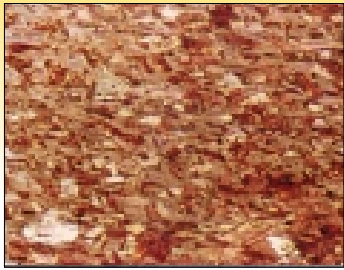
Welke zijn de diverse macrostructuren die men kan waarnemen?

Macroscopisch gezien onderscheidt men in grote lijnen de gietstukken en de producten die werden gevormd bij hoge temperatuur (walsen, smeden, extrusie...).

– Eigenschappen van gietstukken
Door het feit dat gegoten producten lang op hoge temperatuur verbleven, vertonen ze een grove korrelstructuur, soms zichtbaar met het blote oog. Langs de andere kant hebben de korrels van de gegoten producten meestal een stengelstructuur. Deze vorm ontstaat uit de oriëntatie die de korrels van de gegoten producten aannemen tijdens de stolling. Het stollen start aan de rand van de gietvorm, die het eerst afkoelt. Het einde van de stolling vindt plaats in het midden van de gietvorm die het laatst koelt.

– Opmerking in verband met segregatie bij gietstukken
Gietstukken vertonen in de giettoestand chemische heterogeniteiten die men segregaties noemt. Dit betekent dat de chemische samenstelling van deze producten plaatselijk kan variëren.

Men onderscheidt op macroschaal de grotere segregatie, op microschaal de kleine segregatie (ook wel intergranulaire segregatie genoemd) en op kristalschaal de kleine dendritische segregatie.



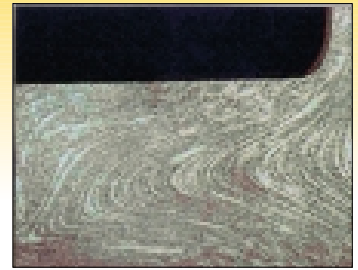
Figuur 23: Koudvervormd koper



Figuur 24: Gerekristalliseerd koper



Figuur 25: Oververhit koper



Figuur 26: stuk van gesmeed staal

Hoe kan men de segregatieverschijnselen verklaren? Segregatie vindt zijn oorsprong in de stolling. Bijvoorbeeld in het geval van staal, een ijzer-koolstoflegering, is het eerste element dat kristalliseert tijdens de stolling het element dat het meest voorkomt, dit wil zeggen ijzer. Daaruit volgt dat de elementen die in kleine hoeveelheden voorkomen, zoals koolstof en zwavel, de neiging vertonen om gevangen te raken in zones die nog vloeibaar zijn en als laatste stollen. Dit resulteert voor dergelijke legeringen dat zowel op macro-, micro- en kristalschaal er zones voorkomen met koolstof- en zwavelsegregaties. (Zie figuur 27: gietstuk, grote/kleine segregatie)

- Warmvervormde producten
- Voor de warmvervormde producten wordt uitgegaan van gegoten producten.
- Dit is het geval voor gewalste, gesmede of geëxtrudeerde producten. (Zie figuur 28: warmvervormd product)
- Tijdens deze vervorming hebben de korrels de neiging om zich te verfijnen door het samengaan van fenomenen van koudvervorming en rekristallisatie. De gesegregeerde zones worden platgedrukt en uitgerokken volgens de vervormingsrichting. Deze segregaties ziet men bij het metallografisch onderzoek als lijntjes, die de insluitselbanen worden genoemd. (Zie figuur 26: stalen gietstuk)

• **MACROSTRUCTUREN EN MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN**

Welk verband bestaat er tussen de macrostructuur en de eigenschappen? De gegoten producten hebben de neiging om anisotrope eigenschappen te vertonen. Deze variëren met de oriëntatie van de spanningen, ten gevolge van de oriëntatie van de korrels. Gietstukken waarbij de structuur achteraf niet thermisch werd behandeld, vertonen een toestand van natuurlijke oververhitting. Dit heeft voor gevolg dat de mechanische eigenschappen lager zijn. Segregatiezones in gietlegeringen, en meer in het bijzonder de grote segregaties, zijn plaatsen met een verhoogde brosheid, door de hogere concentraties aan onzuiverheden in deze zones. De warmvervormde producten hebben anisotrope eigenschappen. De mechanische eigenschappen in dikterichting verschillen van deze in langsricting (in het vlak van de plaat). De korrelverfijning die ontstaat bij warmvervormde producten (warmtebehandeling met een koudvervorming en rekristallisatie) resulteert in betere mechanische eigenschappen.

BESLUIT EN SAMENVATTING

• **ROL METALLURGIE LASMETALLURGIE**

De voornaamste rol van de metallurgie is te weten hoe men de

metaalstructuur van een metallisch materiaal kan 'vormen of laten evolueren' met als doel de eigenschappen die voortvloeien uit de structuur te beheersen. Tijdens het lassen wordt alles terug in vraag gesteld. De voornaamste rol van de lasmetallurgie is te weten hoe de metallurgische structuur van een metaal evolueert tijdens een lasproces, met als evident doel de eigenschappen van een las te beheersen. In de lasmetallurgie bestudeert men het basismateriaal (BM), de thermische evolutie, de warmte-beïnvloede zone (WBZ), de las en de fusielijn (FL).

• **ALGEMEEN METALLURGISCH GEDRAG BASISMATERIAAL**

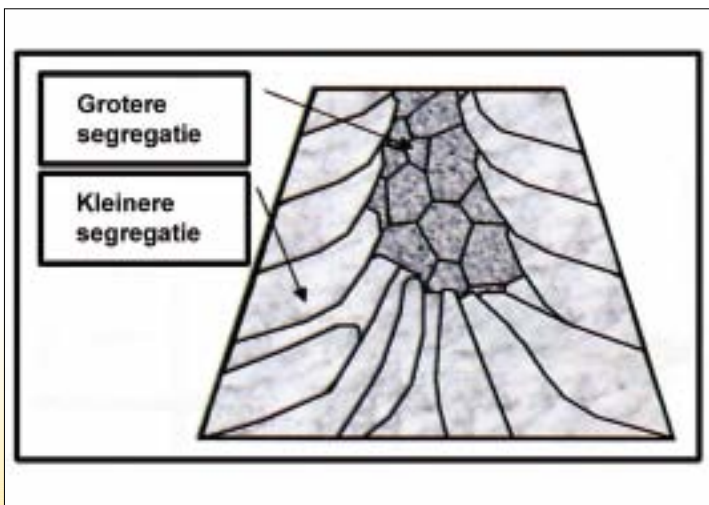
De metallurgische structuur (en dus de eigenschappen) van een materiaal evolueert voornamelijk met de chemische samenstelling, de thermische (thermomechanische) behandeling en de vormgeving. In de metallurgie onderscheidt men de macro-, micro- en kristalstructuren. Men onderscheidt kristalstructuren volgens hun niveau van evenwicht en het roostertype. Met de optische microscoop ziet men de kristallen als korrels. Men onderscheidt de metallografische structuur naargelang van de korrelgrootte en hun vorm. Macroscopisch onderscheidt men de gietstukken, die over het algemeen segregaties en grote stengelstructuren vertonen, en de warmvervormde producten, die

een vezelstructuur met een fijne korrel vertonen.

• **STRUCTUREN EN EIGENSCHAPPEN**

- De structuren in on-evenwicht (bijvoorbeeld koudvervormde materialen) en/of kubisch ruimtelijk gecenterd structuren (bijvoorbeeld ijzer of chroom): zijn de hardste, vertonen een goede treksterkte en hebben een bros karakter (dit is meer uitgesproken bij lagere temperatuur).
- De evenwichtstructuren (gegloeide legeringen) en/of kubisch vlakken gecenterde structuren (bijvoorbeeld nikkel en aluminium) en/of hexagonaal dichtst gestapelde structuren (bijvoorbeeld titaan of zirkoon): zijn zachter, hebben een goede weerstand tegen schokbelasting en vertonen een lagere treksterkte (en dit vooral bij stijgende temperatuur).
- In het merendeel van de gevallen geldt: hoe fijner de korrel, hoe beter de mechanische eigenschappen (koudvervormde en gerekristalliseerde legeringen of transformeerbare staalsoorten na herstel).
- De eigenschappen van de macrostructuur hangen af van: de invloed van segregatie, de invloed van een gelaagde structuur en de afmeting van de korrels.
- Kernwoorden: metallurgie, structuur, eigenschappen, chemische samenstelling, behandeling, vormgeving, lassen, kristal, korrel, macrostructuur, segregatie, gelaagde structuur. □

Figuur 27: gegoten product



Figuur 28: Warmvervormd product

