

Tandheelkundige Materiaalkennis

door J. N. Tekenbroek.

(Vervolg)

HOOFDSTUK X

KRISTALLISATIE EN WARMTEBEHANDELING VAN LEGERINGEN

§ 1. *Kristallisatie van zuivere metalen*

Door de Brownse-beweging botsen in een gesmolten metaal de atomen met verschillende snelheden en in verschillende richtingen tegen elkaar, waarbij sommige atomen aan elkaar gebonden kunnen blijven, **conglomeraten** vormende, die na enige tijd onder invloed der warmtewerking weer geheel of gedeeltelijk uit elkaar vallen. Nadert de temperatuur het smeltpunt, dan neemt de kans op het aantal **gunstige botsingen** voor de vorming van dergelijke conglomeraten toe, waarbij ook de grootte en de levensduur van deze **kristalfragmenten** toeneemt.

Bij een temperatuur beneden het stolpunt zal de vorming van deze kristalfragmenten hun uitéenvallen door de warmtewerking gaan overtreffen en zullen deze **kristalkiemen** gaan aangroeien tot **kernen**, van waaruit de kristallisatie in het stollende metaal kan plaats grijpen. Hoe groter de onderkoeling van een gesmolten metaal, hoe talrijker en hoe sneller de kernen zich zullen vormen en hoe sneller zij zullen aangroeien tot kristallieten van het stollende metaal.

Wordt een gesmolten zuiver metaal gegoten in een gietvorm, waarvan de wanden de warmte snel afvoeren, b.v. in een metalen gietvorm, dan zullen zich tegen die wanden snel een groot aantal

kristallisatiekernen vormen. In deze kernen zijn de atomen reeds georiënteerd volgens het patroon van het betreffende metaalkristal; zij groeien niet in alle richtingen willekeurig uit, maar, zoals bij alle kristallen, geschiedt dit aangroei in de kristallographische hoofdrichtingen, welke door het kristalstelsel, waartoe de beschouwde kristallen behoren, zijn bepaald. Door dit aangroei slechts in bepaalde richtingen bestaat er van nature reeds een zekere neiging tot het vormen van naaldvormige kristallen. Deze neiging wordt versterkt voor de kristalkernen, die zich tegen de koude metaalwand van de gietvorm het eerst afzetten en vooral van die kernen, die daarbij zo georiënteerd liggen dat hun groeirichting

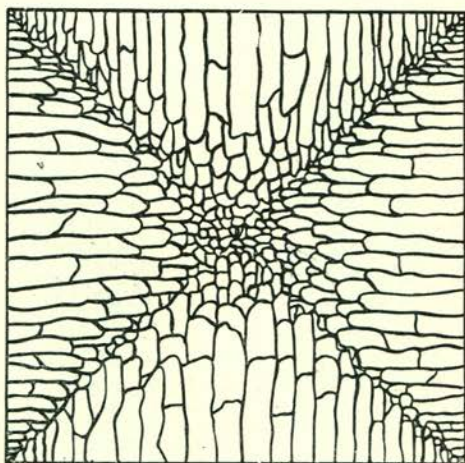


fig. 71

loodrecht op de wand staat. Immers de punt van een in die richting aangroeiend kristalliet ligt steeds in het gebied van de grootste onderkoeling, omdat de stollingswarmte, die vrijkomt, de temperatuur van de gesmolten massa zijdelings van het aangroeiende kristal wat verhoogt, waardoor de onderkoeling daar ter plaatse minder wordt dan aan de punt van het kristal.

De bekende structuur van **stengelkristallieten** gericht naar het middelpunt, die bij het gieten in een metalen gietvorm (coquille) is waar te nemen, is hiermede verklaard. (Zie fig. 71).

In een gietvorm, die op temperatuur is gebracht en waarvan de wanden gevormd worden door een materiaal dat de warmte niet zo snel afvoert, b.v. de in de tandtechniek gebruikte inbedmassa, zal de kristallisatie van een zuiver metaal anders verlopen.

De kristallisatiekernen, die zich hier vrij zwevend in de gesmolten massa bevinden, zullen eerst in één van de kristallographische hoofdrichtingen wat naaldvormig uitgroeien, maar al spoedig ook gaan uitschieten in de kristallographische hoofdrichting, die daar zoveel mogelijk loodrecht op staat, en vervolgens ook in een richting die daar weer zoveel mogelijk loodrecht op staat. Het aangroeiende kristal zal aldus zich steeds verder vertakkend een **denneboomachtige vorm** aannemen. Ook deze wijze van aangroeien laat zich verklaren uit het feit, dat het uitschietende kristal daarbij in de gesmolten massa steeds de plaatsen, waar de onderkoeling door de vrijkomende stollingswarmte het minste verandert, volgt. Zo

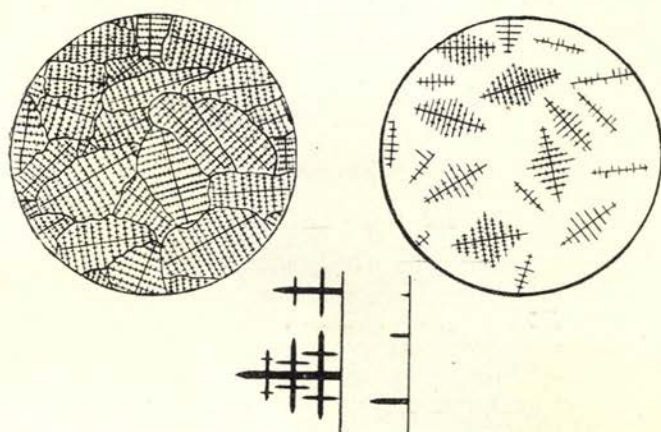


fig. 72

ontstaan de denneboomachtige structuren, **dendrieten** genaamd, die o.a. bij de ijsbloemen op de ramen overbekend zijn en waarvan fig. 72 een schematische voorstelling is.

Wordt de massa echter langzaam afgekoeld of is de stollingswarmte van het metaal niet groot, dan zullen de kernen meer de mogelijkheid krijgen om zich in alle richtingen gelijkmatiger te ontwikkelen; een meer **korrelachtige** kristalstructuur is daarvan het gevolg.

Onder bepaalde voorzorgsmaatregelen kan men water sterk onderkoelen en ook bij metalen is dit mogelijk. Vooral als een metaal enige tijd ver boven zijn smeltpunt wordt verhit en snel afgekoeld wordt tot onder het smeltpunt blijkt een sterke onderkoeling mogelijk te zijn. Bij die hoge temperatuur zijn de atoomcon-

glomeraten, de kristalkiemen, die in het gesmolten metaal voorkomen, door de warmtewerking alle uit elkaar geslagen en verdwenen. Aangezien de kansen voor een gunstige botsing, waarbij deze kiemen kunnen worden gevormd, niet groot zijn, duurt het geruime tijd alvorens er weer voldoende van deze kiemen gevormd zijn.

Snel afgekoeld van een hoge temperatuur komt het gesmolten metaal bijna kiemloos onder het smeltpunt, waardoor zich maar weinig kristalkernen kunnen vormen, waarop als centra van kristallisatie de atomen zich kunnen afzetten bij een gunstige botsing. Dit geeft niet alleen aanleiding tot een sterke **kristallisatie-vertraging**, maar bovendien tot het vormen van maar weinig kristallieten, zodat een **grof kristallijne structuur** zal ontstaan.

Een grof kristallijne structuur is met het oog op de mechanische eigenschappen meestal ongewenst, zodat ook voor het gieten in de tandtechniek de regel geldt, dat men een gietmetaal **nooit te lang en te hoog boven** zijn smeltpunt moet verhitten.

§ 2. *Gietstructuren van binaire legeringen type I*

Wordt een legering van **eutectische samenstelling** afgekoeld, dan zullen naast elkaar twee kristalsoorten tegelijk in de meest gunstige richting uitgroeien, hetgeen een afscheiding in lagen, een **lamellaire structuur** tot gevolg heeft. Bij het in de tandtechniek gebruikte melotte-metaal, dat uit een eutectisch mengsel bestaat, kan men soms fraaie waaivormige structuren opgebouwd uit kristallamellen waarnemen.

Bij snellere afkoeling wordt een groter aantal kristalkernen verkregen, waardoor de lamellen zich uit dunnere afwisselende lagen van beide metalen opbouwen.

Bij langzamere afkoeling zullen de kernen ook in andere richtingen uitgroeien, waardoor meer korrelige structuur ontstaat en vooral als de eutectische samenstelling een overwegend groot percentage van de ene legeringscomponent bevat, vormen de kristallen daarvan een grondmassa (matrix), waarin de kristallen van de andere component verspreid voorkomen.

Bij zogenaamde onder- of boven-eutectische mengsels scheiden zich eerst de primaire kristallen af van de legeringscomponent, die in een percentage hoger dan de eutectische samenstelling aanwezig is. Deze kristallisatie kan verlopen als bij zuivere metalen; bij snelle afkoeling kan daarbij dendrietvorming optreden, welke de gehele

massa doortrekt, terwijl zodra de moederloog tussen de dendrieten de eutectische samenstelling bereikt, zich op die plaatsen het eutecticum afzet.

Wordt niet te snel afgekoeld, waardoor de primaire kristallen zich niet als dendrieten maar meer korrelvormig afscheiden en wijkt daarbij de samenstelling van de legering niet veel van de eutectische samenstelling af, dan kan de micro-structuur van de vaste legering er uitzien zoals aangegeven in fig. 73 IV en V.

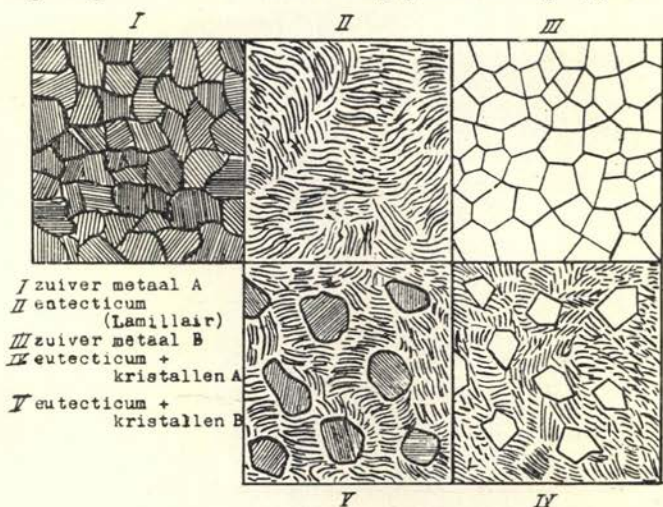


fig. 73

§ 3. Gielstructuren van binaire legeringen type II

Het binaire legeringstype II heeft geen eutecticum, maar evenals bij zuivere metalen kristalliseert hier slechts één kristalsoort uit, namelijk een mengkristal tussen beide componenten.

De kristallisatie geschiedt hier echter niet zoals bij zuivere metalen bij een constante temperatuur, het smeltpunt, maar hier doet zich een **smelttraject** voor, zoals bij een nadere beschouwing van fig. 74 duidelijk zal zijn. Bij de temperatuur T_1 wordt de liquidus bereikt en begint de stolling, die eerst volledig zal zijn als bij de temperatuur T_2 de solidus is bereikt.

De kristallisatieverschijnselen bij dit legeringstype vereisen een nadere bespreking, omdat zij voor de tandheekkundige materiaal-kennis van belang zijn vanwege het feit dat o.a. de goudlegeringen tot dit legeringstype behoren.

Zodra bij afkoeling de liquidus is bereikt, begint de stolling met

de uitscheiding van een mengkristal van de samenstelling S_1 (zie fig. 74), dat zeer rijk is aan de hoogst smeltbare component A. De **stollingswarmte van mengkristallen** is belangrijk minder dan bij zuivere metalen en een geringe stollingswarmte vermindert plaatselijk de onderkoeling niet zo sterk, zodat er in de gesmolten massa geen voorkeursrichtingen voor de kristalgroei ontstaan, die aanleiding kunnen geven tot dendrietvorming of tot vorming van stengelkristallieten. Er vormt zich direct een groot aantal kristalkernen, die door de gehele massa een kristalbrij, een **kristalskelet**, doen ontstaan, bestaande uit nog kleine kristallieten van de samenstelling (S_1) gelijk aan die, welke het toestandsdiagram voor de eerst zich vormende mengkristallen aangeeft. Bij het verder dalen

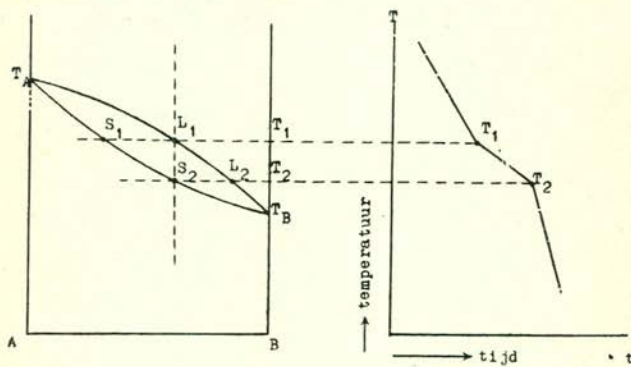


fig. 74

van de temperatuur zullen deze kleine kristallieten aangroeien, maar de nieuwe laag, die zich als een **schil** om de reeds bestaande kern afzet, heeft een samenstelling, die afwijkt van de oorspronkelijke.

Door diffusie in de vaste toestand moet het uitgroeiende kristal liet er voor zorgen homogeen van samenstelling te blijven, wil de kristallisatie verlopen volgens het schema van het toestandsdiagram. Gewoonlijk echter blijft deze evenwichtinstelling door de langzame diffusie tenachter bij het aangroeien der kristallen, waardoor een verschijnsel bij dit legeringstype ontstaat, dat de naam van **kristalsegregatie** draagt.

Liep de diffusie ideaal snel, dan zouden bij de temperatuur T_2 (zie fig. 74) als de solidus is bereikt, alle gevormde kristallieten homogeen de samenstelling S_2 hebben en de legering geheel vast zijn.

Zou daarentegen in het geheel geen diffusie plaats hebben, dan zullen (zie fig. 75) bij een bepaalde temperatuur T_2 de gemiddelde

samenstelling van de kristallen gemiddeld meer aan component A bevatten dan overeenkomt met de samenstelling aangegeven door het betreffende punt der solidus. Immers de kern van het kristal heeft de samenstelling S_1 en de buitenkant de samenstelling S_2 , de gemiddelde samenstelling zal daartussen liggen, b.v. S_K . Het gehele evenwicht is thans verstoord. Bij de temperatuur T_3 , waarop de legering bij het volledig instellen van het evenwicht volgens het toestandsdiagram geheel vast moet zijn, hebben de kristallieten een gemiddelde samenstelling, die gelegen is tussen de samenstelling S_1 van de kern en S_3 de samenstelling van de buitenste schil. Deze gemiddelde samenstelling is in het diagram aangegeven als S_3' . Hieruit volgt dat de legering bij de temperatuur T_3 thans nog niet ge-

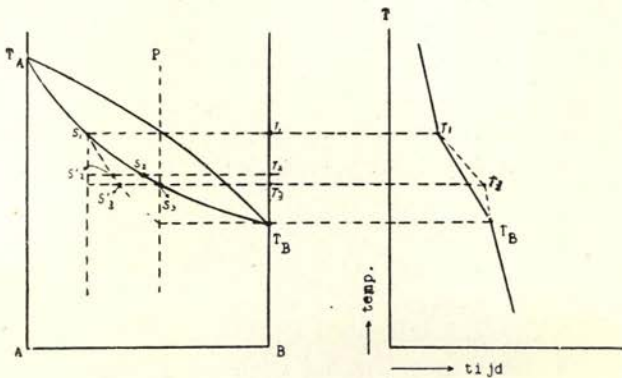


fig. 75

heel vast kan zijn, omdat de gemiddelde samenstelling van de kristallen dan gelijk zou moeten zijn aan de samenstelling van de gehele legering. Het stoltraject zal zich daarom verlengen en eerst bij de temperatuur T_B , het smeltpunt van de component B, waarbij zich als buitenste schil op de kristallieten de zuivere component B afzet, zal de legering geheel vast worden. Het **smeltraject** heeft zich van T_2 tot T_B **verlengd**, terwijl de vaste legering is opgebouwd uit **niet-homogene kristallen**.

In werkelijkheid zal de diffusiesnelheid tussen oneindig snel en nul liggen, afhankelijk van de snelheid van koelen en van de aard der legering, zodat de temperatuur, waarbij de legering geheel vast wordt, ergens tussen T_2 en T_B zal liggen.

Zoals opgemerkt draagt dit niet-homogeen zijn van de kristallen de naam van kristalsegregatie.

Het middel om de kristalsegregatie op te heffen en daarmee de legering homogeen te maken is verhoging der temperatuur, waardoor in de vast geworden legering de diffusie versneld wordt en zich na enige tijd het evenwicht in de kristallen kan instellen. Dit homogeen gloeien wordt, met het oog op de diffusiesnelheid het beste bij een zo hoog mogelijke temperatuur uitgevoerd (even onder het stolpunt van de legering), waarbij de legering gedurende enige tijd op die temperatuur gehouden moet worden. De juiste temperatuur en de tijdsduur voor het homogeen gloeien loopt bij de verschillende legeringen uitéén.

Bij dit legeringstype kan nog een andere wijze voorkomen van niet-homogeen zijn der gegoten massa, die aangeduid wordt als **bloksegregatie**. Wordt namelijk tegen een koude wand gegoten, dan zullen de eerste, snel groeiende kristallen, die zich tegen de koude wanden rijkelijk afzetten, de samenstelling hebben van het bovenste deel der solidus en dus rijk zijn aan de hoogst smeltende component. De moederloog in het midden zal daardoor meer van de laagsmeltende componenten en van eventuele verontreiniging bevatten, zodat in het verkregen gietblok een verschil in samenstelling bestaat tussen de buitenkant en het midden.

Ook door de **zwaartekracht** kan een ontmenging, een niet homogeen zijn van de legering veroorzaakt worden. Als de eerste zich vormende mengkristallen door hun hoger soortelijk gewicht naar de bodem van de gietvorm uitzakken zal er in de vaste legering een verschil in samenstelling zijn tussen de boven- en onderzijde van het gietstuk.

§ 4. *Metaalpreparaten*

Bij het kristalliseren van het legeringstype III doet zich een combinatie van de mogelijkheden voor, die bij de vorige typen zijn omschreven. Vormen of ontleden zich in de vaste toestand bovendien nog chemische verbindingen tussen de componenten zoals bij het type IV het geval is, dan vermeerdert daardoor het aantal mogelijkheden bij de kristallisatie, te weten dendrietvorming, afscheiding eutectica, segregatie, enz. nogmaals.

Kortom er kunnen zich bij het vastworden van legeringen tal van complicaties voordoen, die alle invloed hebben op de microscopische bouw van de legering. Het beoordelen van de **microscopische preparaten** van metaallegeringen is dan ook in vele gevallen slechts toe te vertrouwen aan daarin ervaren onderzoekers.

Deze preparaten worden vervaardigd door een tot hoogglans gepolijst plaatje van het te onderzoeken materiaal te etsen met een chemisch middel, dat voor de verschillende metalen uiteenloopt.

De aantasting van de kristallografisch verschillend georiënteerde kristallieten door het etsmiddel zal verschillend snel verlopen. Zoals fig. 76 duidelijk maakt; heeft dit tot gevolg, dat een op het preparaat vallende lichtstraal op verschillende wijze zal worden gereflecteerd, hetgeen de kristallietstructuur onder het microscoop zichtbaar maakt.

In de gesmolten metalen kunnen verschillende verontreinigingen voorkomen. Niet oplosbare en zwevend gebleven verontreinigingen, zoals slakdeeltjes, vindt men tussen de kristallieten ingesloten in de vaste legering terug. Zij veroorzaken, wanneer zij bij het polijsten aan het oppervlak komen, kleinere of grotere putten of gaten.

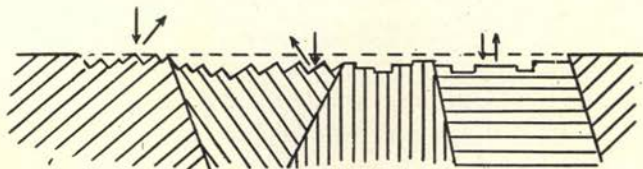


fig. 76

De opgeloste verontreinigingen zullen in de vaste toestand terug te vinden zijn langs de kristallietgrenzen of binnen de dendrieten. Zij vormen een bros netwerk in het gietstuk, dat het metaal bros kan maken.

§ 5. Warmtebehandeling van legeringen

Het **spanningsvrij gloeien** en de warmtebehandeling met het doel **rekristallisatie** in een metaal te doen plaats hebben, zijn besproken bij het plastisch vervormen van metalen. Hetgeen daar besproken is voor zuivere metalen geldt zonder meer voor die legeringen, die evenals de zuivere metalen uit één kristal soort zijn opgebouwd. Ook voor de legeringen met verschillende kristallietsoorten is van toepassing hetgeen vroeger over plastische deformaties en de daarmee in verband staande warmtebehandelingen is behandeld.

De regel, dat een fijnere microkristallijne structuur betere elastische eigenschappen, vormbestendigheid, hardheid en een hogere

trekgrens garandeert dan een grovere kristalstructuur, geldt voor legeringen mogelijk in versterkte mate. Komt immers een zeer zachte en smeedbare kristalsoort in de legering voor, dan zal aan de plastische vervorming van die weinig weerstandbiedende kristallieten eerder paal en perk gesteld worden door de mede aanwezige stuggere kristallietsoorten, wanneer het materiaal fijn kristallijn van structuur is. Waar vormbestendigheid en veerkracht belangrijke eisen zijn, die aan in de mond toegepaste materialen gesteld moeten worden, is het van belang er bij de verschillende bewerkingen voor zorg te dragen, dat in het materiaal in zijn geheel of plaatselijk geen kristalvergroving optreedt.

Naast de bovenvermelde warmtebehandelingen, die in verband staan met het koud bewerken, worden op legeringen warmtebehandelingen toegepast, die betrekking hebben op de evenwichten tussen de componenten. **Het homogeen gloeien** bij kristalsegregatie was daarvan reeds een voorbeeld. Omtrent de diffusiesnelheid in de vaste toestand, die bij deze warmtebewerkingen een voorname rol speelt, kan nog opgemerkt worden, dat deze snelheid bij kamertemperatuur in metalen met een laag smeltpunt om begrijpelijke redenen groter is dan bij de hoogsmeltende metalen.

In mengkristallen met interstitiële plaatsing zullen de atomen bij het overschrijden van de potentiaaldrempel door het opvoeren van de temperatuur ruimere plaatsingsmogelijkheden in hun omgeving vinden en daardoor een grotere diffusiesnelheid vertonen dan mengkristallen met substitutionale plaatsing, waar de atomen voor het vinden van een nieuwe oriëntering slechts aangewezen zijn op de zogenaamde dislocaties in het kristal.

Het vastvriezen of afschrikken van een evenwicht is een warmtebewerking, die tot doel heeft om een evenwichtstoestand, welke bij een hogere temperatuur in de legering bestaat, maar bij een lagere temperatuur zou overgaan in een evenwichtstoestand met een minder gewenste structuur voor het materiaal, toch bij kamertemperatuur te laten voortbestaan. Door snelle afkoeling doorloopt men het kritische temperatuurtraject snel en trekt dan voordeel uit het feit, dat bij kamertemperatuur de diffusiesnelheid zo klein is dat de gewenste structuur, een evenwichtstoestand, behorende bij een hogere temperatuur, toch blijft bestaan.

Het ontlaten is een warmtebehandeling, waarbij men de temperatuur van een legering, die reeds snel tot kamertemperatuur was afgekoeld, verhoogt om door vergroting der diffusiesnelheid de bij

de kamertemperatuur behorende evenwichtstoestand, zich te laten instellen.

Zowel voor het afschrikken als voor het ontlaten zijn de voorschriften afhankelijk van het toestandsdiagram der betreffende legeringen. Bij de bespreking van het staal, waarvan een wat nadere kennis o.a. met het oog op de juiste behandeling van de handinstrumenten gewenst is en van de „vergütbare” goudalliages, komen deze beide thermische behandelingswijzen aan de hand van concrete voorbeelden nader ter sprake.

(Wordt vervolgd)