

## Metallografie.

(MEDEDEELING I van het Laboratorium voor Materia Technica  
v. h. Tandh. Inst. der R. U. te Utrecht.) <sup>1)</sup>

„Het is mijne overtuiging, dat het N. T. G. bij voortduring belang stelt in het tandheelkundig onderwijs. Waar nu bij de laatste wetswijziging „metallurgie” als verplicht examenvak werd ingevoerd en later aan mij de opdracht werd verstrekt onderricht hierin te geven, meen ik in den geest van het Genootschap te handelen met mij aan te melden tot het houden van eene voordracht over „metallografie”.

Ongeveer deze woorden heb ik voor eenige weken gezegd in een brief aan uwen secretaris en ik herhaal ze hier om U de bedoeling van het volgende te doen kennen.

In de eerste plaats zij opgemerkt, dat, hoewel de wet spreekt van „metallurgie”, mijne aanstelling luidt: „tot het geven van onderwijs in . . . . en in de materia technica met inbegrip van de metallurgie.” De regeering is bereid gevonden in haar besluit deze omschrijving op te nemen, welke naar mijne meening juist weergeeft wát onderwezen moet worden. Op dezelfde gronden immers, waarop men het wenschelijk heeft geoordeeld den studenten een zekere dosis metaal-kunde bij te doen brengen, kan men ook betoogen, dat zij de eigenschappen van andere daaglijks te verwerken materialen dienen te kennen. Onder materia technica verstaan de docenten van het tandheelkundig instituut, de kennis van al die tandheelkundige materialen, welke niet tot de materia medica behooren. De cementen en amalgamen vallen dus ook onder de eerste rubriek. We meenden hiermee een goed afgerond

<sup>1)</sup> Voordracht gehouden in October '14 voor het Nederlandsch Tandheelkundig Genootschap.

leervak te krijgen, dat als zoodanig dan ook op den rooster zal voorkomen, in de hoop het eens examenvak te zien worden.

Het zal U in den loop van dit opstel duidelijk worden welk een aanzienlijken omvang dit vak in zijn geheel heeft.

Het te bewerken terrein is zoo reusachtig, dat meer dan ooit een systematische indeeling van den arbeid geraden schijnt. Er is derhalve een bescheiden begin gemaakt, en wel zooals vanzelf spreekt, met het stuk door den regeeringsadviseur als „metallurgie” bestempeld. Dit woord werd straks, zooals U opgemerkt zult hebben, door *metallografie* vervangen. In de laatste tientallen van jaren wil men n.l. meer en meer onder metallografie verstaan zien de geheele leer van de metalen en hunne legeringen in het licht van de physische chemie, met uitsluiting dus van de analytische chemie, voorzoover ze op de metalen betrekking heeft, en met uitsluiting óók van de kennis der processen, waardoor zij uit hunne ertsen worden gewonnen, welke kennis de eigenlijke *metallurgie* vormt. Nu dunkt mij, dat het voor de a.s. tandheekkundigen van meer belang is te worden onderwezen in de eigenschappen der metalen en van hunne legeringen en geholpen te worden in het leeren begrijpen der bestaansoorzaken dier eigenschappen, dan op het college in kennis te worden gebracht met metallurgische processen in den zoeven genoemden zin.

In de practijk hebben we met de zuivere metalen weinig te maken. Hunne technisch weinig waardevolle eigenschappen doen hen slechts voor een gering aantal doeleinden geschikt zijn. Bijna altijd is er aan een metaal een grootere of kleinere hoeveelheid van een of meer andere metalen toegevoegd om een bruikbaar materiaal te krijgen. Bijna altijd dus zijn het legeringen, die we verwerken. Deze nu zijn uit physico-chemisch oogpunt zeer bijzondere „mengsels.” Daarom dient in de eerste plaats het onderwijs in de metallografie er op gericht te

zijn, dat dit karakter der legeringen door de studenten goed wordt doorgrond. De eigenschappen der legeringen hangen n.l. nauw met dit karakter samen, en de eigenschappen van het materiaal toch zijn het, die onze belangstelling hebben, omdat van hen vaak in niet geringe mate het welslagen van ons werk afhangt.

De kennis dan van de legeringen als fysisch-chemische systemen, is in de laatste jaren met reuzenschreden vooruit gegaan. Hiertoe werd mede de weg gebaad doordat Guthrie de analogie aantoonde tusschen waterige oplossingen en gesmolten legeringen. Met één stap kwam men hier a.h.w. op bekend terrein. Vermelden we óók de ontwikkeling van de leer der heterogene evenwichten door Bakhuis Roozeboom wiens werk zeker voor de metallografie van overheerschenden invloed is geweest.

Het is hier niet de plaats om ons in uitbreiden zin met

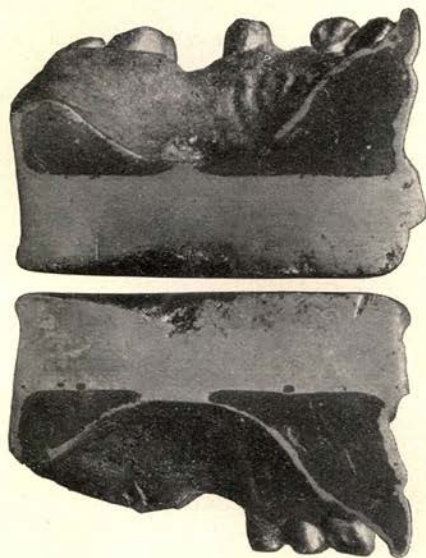


Fig. 1.

theoretische beschouwingen bezig te houden. We zullen echter een paar punten moeten bespreken, die, naar het me voorkomt niet gemist kunnen worden.

Wat kan er gebeuren als we twee metalen samen smelten?

In de eerste plaats kunnen zij als olie en water boven elkaar blijven staan. Dit doen b.v. ten naaste bij lood en zink zoolang we niet tot boven de  $920^{\circ}$  verhitten. Een van dit smeltsel gegoten model zal er op doorsnee uitzien als in figuur 1. Deze gevallen schakelen we uit en hebben in 't vervolg alleen te doen met stellen van componenten die in *vloeibaren* toestand *volkomen in elkaar oplossen*. Met deze restrictie vragen we opnieuw: hoe zullen de componenten bij stolling zich ten opzichte van elkaar gedragen? Het antwoord zal moeten zijn:

In 't algemeen zijn drie dingen mogelijk:

I. De componenten *blijven* in elkaar opgelost.

II. De componenten vormen een mechanisch mengsel.

III. De componenten vormen een chemische verbinding.

Duidelijker wordt de strekking dezer antwoorden misschien wanneer zij geformuleerd worden als terugslag op de vraag in dezen vorm: hoe zullen bij stolling van het smeltsel de *moleculen* van elk der componenten zich gedragen ten opzichte van hunne soortgenooten en ten opzichte van die der andere component?

We zouden dan kunnen zeggen:

I. De moleculen van component A. blijven ten opzichte van de moleculen der component B. in dezelfde positie, die zij in het smeltsel innamen.

De gestolde legering is dus, evenals de vloeibare, volkomen homogeen. De verhouding tusschen het aantal A- en het aantal B-moleculen is in alle *mengkristallen* dezelfde als die, waarin de componenten in de legering voorkomen. De beide metalen vormen een *vaste oplossing*<sup>1)</sup>. Een serie A-B legeringen

<sup>1)</sup> Een *vaste oplossing* is dus een speciaal geval onder de *gestolde oplossingen*.

vormt een *niet onderbroken reeks mengkristallen van dezelfde soort.*

II. De moleculen scharen zich soort bij soort.

Er ontstaan dus kristallen die òf alleen uit A-, òf alleen uit B-moleculen bestaan, en deze kristallen of kristalgroepen vormen tezamen een mechanisch mengsel.

III. De moleculen (of atomen <sup>1)</sup>) vormen met de moleculen (atomen) van de andere component eene chemische verbinding.

Behalve met de componenten A en B krijgen we dan bij bepaalde concentraties nog te maken met een derde stof: C.

Bij deze indeeling moet men verder in aanmerking nemen, dat zich verschillende tusschenvormen kunnen voordoen.

Zoo kan b.v. de eene molecule soort zich eerst als het ware verzadigen met moleculen van de andere soort en omgekeerd, waardoor de nog vloeibare rest der legering natuurlijk van samenstelling verandert en ten slotte uiteenvalt tot een mechanisch mengsel van een verzadigde A/B oplossing en een verzadigde B/A oplossing. Een serie A-B legeringen vormt dan *een onderbroken reeks mengkristallen van dezelfde soort.*

Eindelijk kan de onder III genoemde chemische verbinding C ook weer met A en B in de sub I en II genoemde relaties treden, waardoor we dan krijgen mechanische mengsels van C met B òf van C met A.; of er zal kunnen ontstaan een *reeks mengkristallen van verschillende soort.*

Nu bestaat er een nauw verband tusschen de structuur in de verschillende gevallen verkregen en de temperaturen der momenten in het stollingsproces.

Dit wordt voor elk der drie series grafisch voorgesteld

<sup>1)</sup> „..... of atomen”, omdat zeer waarschijnlijk de meeste metaalmoleculen uit één atoom bestaan.

door een z.g.n. concentratie-temperatuur-diagram, of korter een c.t. diagram (fig. 2.)

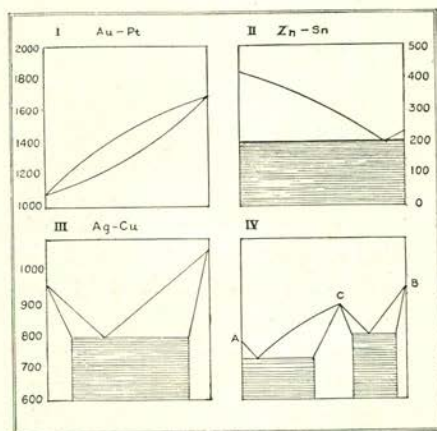


Fig. 2.

In fig. 2. zijn de diagramvelden der mechanische mengsels gearceerd. Type I is het c.t. diagram voor een niet onderbroken reeks mengkristallen van dezelfde soort, (Au-Pt.) type II is het stollingsbeeld van een legering, die een mechanisch mengsel vormt, (Zn-Sn); type III stelt voor een onderbroken reeks mengkristallen van dezelfde soort (Ag-Cu); terwijl in type IV een geval wordt weergegeven waar bij een bepaalde concentratie de componenten een chemische verbinding aangaan.

Voor we op de bespreking van deze diagrammen nader ingaan, hebben we eerst te behandelen hoe of we aan de gegevens komen voor een dergelijke figuur.

De gegevens voor de *lijnen* van een c.t. diagram te trekken zijn, als bij alle constructie, *punten*. We hebben dus de ligging van een voldoende aantal punten vast te stellen ten opzichte van een bepaald assenstelsel.

Voor binaire legeringen kiezen we als assen de x- en de

y-as loodrecht op elkaar; op de ordinaat zetten we de temperatuur af in  $C^{\circ}$  en op de abcis de procentische concentratie aan stof B. Richten we nu op de abcis in de punten die 10, 20, 30 . . . .100% B aangeven verticalen op, dan zal elk dezer lijnen mede dienen om een der gezochte punten te bepalen.

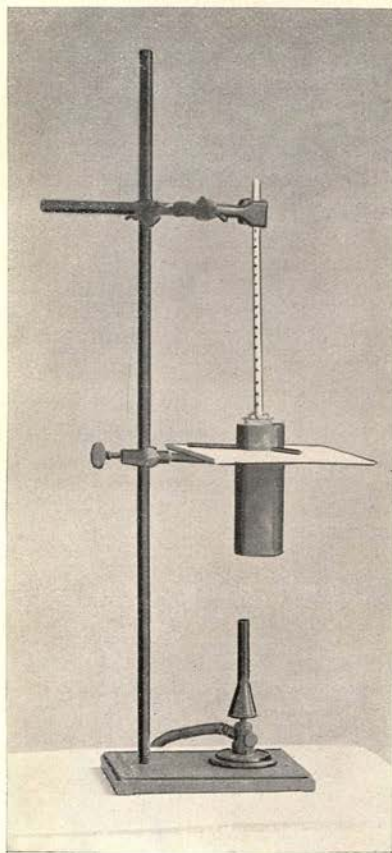


Fig. 3.

Zoo'n punt zal n.l. telkens gevonden worden, als we van de legering, welker concentratie die verticale aangeeft het smeltpunt hebben bepaald. Dit smeltpunt zetten we uit op de ordinaat en trekken hierdoor een evenwijdige aan de abcis. Snijpunt van verticale en horizontale zal dan een der gezochte punten zijn.

Het bepalen van een smeltpunt is, vooral waar dit  $500^{\circ}$  niet veel te boven gaat een betrekkelijk eenvoudige zaak. Men gebruikt hiertoe een apparaat als fig. 3 laat zien en een uurwerk met een secondewijzer. Het metaal of de legering wordt gesmolten in de glazen buis, welke in het zandbad staat. Is alles goed vloeibaar, dan wordt de thermometer, voorzien van een beschermingsbuis, vóórverwarmd en in het smeltsel gebracht. We wachten nu het oogenblik af, waarop de thermometer begint te zakken en noteeren vervolgens om de minuut of om de halve minuut de temperatuur. De serie aldus verkregen temperaturen zetten we uit op de verticale as, en den tijd op de horizontale as; de snijpunten der coördinaten geven een reeks punten, welke ons b.v. voor tin een der lijnen (fig. 4) oplevert, zooals ze u allen bekend zijn, en waaruit het smeltpunt, in dit geval  $226^{\circ}$ , onmiddellijk kan worden afgelezen.

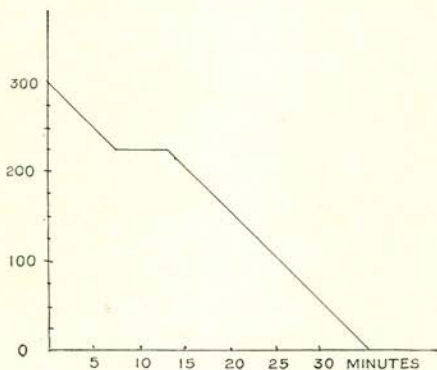


Fig. 4.



Voor metalen met hooger liggende smeltpunten kan dezelfde methode gevolgd worden. Alleen de benodigde instrumenten zijn anders. Voor temperaturen van  $500^{\circ}$ — $1200^{\circ}$  is een elektrische oven, als in fig. 7 is afgebeeld, aan te bevelen. De temperatuur is met de weerstanden gemakkelijk te regelen en wordt afgelezen op een millivolt-meter, welke aan een thermoelement Pt—Pt. Rh. is geschakeld.

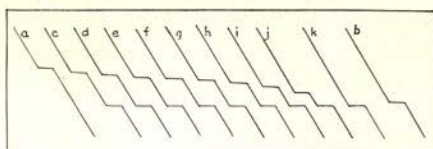


Fig. 5.

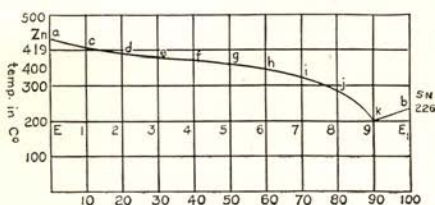


Fig. 6.

Voor een Zn - Sn serie, waarvan de concentraties met 10% opklimmen krijgen we op deze manier de lijnen a.c.d. . . . b. van fig. 5. Waar in deze lijnen twee horizontale gedeelten te vinden zijn, geeft de bovenste van dezen de temperatuur aan, waarbij de legering *begint* te stollen, de onderste waar de stolling voltooid is. We zien verder, dat er in de serie drie smeltlijnen voorkomen met één horizontaal gedeelte, n.l. die der zuivere componenten en die van één legering. Tevens merken we op, dat de onderste horizontale gedeelten allen op één hoogte liggen,

op 200° C. De gegevens uit deze lijnen vereenigen we op de boven aangegeven manier tot één diagram (fig. 6) wat ons type II van fig. 2 teruggeeft.

We kunnen uit dit diagram lezen:

- 1e. de smeltpunten van alle Zn - Sn legeringen.
- 2e. Zn. en Sn. verlagen elkaars smeltpunt.
- 3e. een legering van 94% tin en 6% Zn heeft het laagste smeltpunt ( $\pm 200^\circ$ ).
- 4e. de zuivere componenten stollen (of smelten) op één bepaalde temperatuur; dit doet ook de onder 3 genoemde legering.
- 5e. de andere legeringen smelten (of stollen) gedurende een temperatuur interval.

6e. in de gestolde legering liggen zink- en tinkristallen naast elkaar; (mechanisch mengsel Zn-Sn.)

De legering, welke van de geheele serie het laagstsmeltpunt heeft, noemt men de *eutectische* legering, of het *eutecticum* en de temperatuur, waarop ze stolt, de eutectische temperatuur.

Gedetailleerde bespreking der andere diagrammen, die op geheel overeenkomstige wijze gevoerd kan worden, zou ons hier te ver voeren.

We komen nu nog even terug op de structuur der legeringen.

Niet altijd n.l. zijn de gegevens uit de thermische analyse voldoende om een diagram tot in alle onderdeelen met zekerheid vast te stellen. Een der middelen, die in dergelijke gevallen tot aanvulling of bevestiging kunnen dienen is het microscopisch onderzoek. Dit geschiedt steeds bij opvallend licht; het is niet doenlijk metaal zoo dun te slijpen, dat men met doervallend licht zou kunnen werken. Voor het maken van een praeparaat slijpt men eerst een volkomen vlakke plek aan het te onderzoeken stuk metaal. Dit vlak wordt vervolgens gepolijst, totdat zoo mogelijk alle krassen, ook de microscopische, verdwenen zijn, en dan

meestentijds met een daartoe geschikte stof geëtt. Kristallen van verschillende samenstelling zullen in verschillende mate door het bijtmiddel worden aangetast en dien-  
tengevolge het licht niet meer evensterk reflecteeren

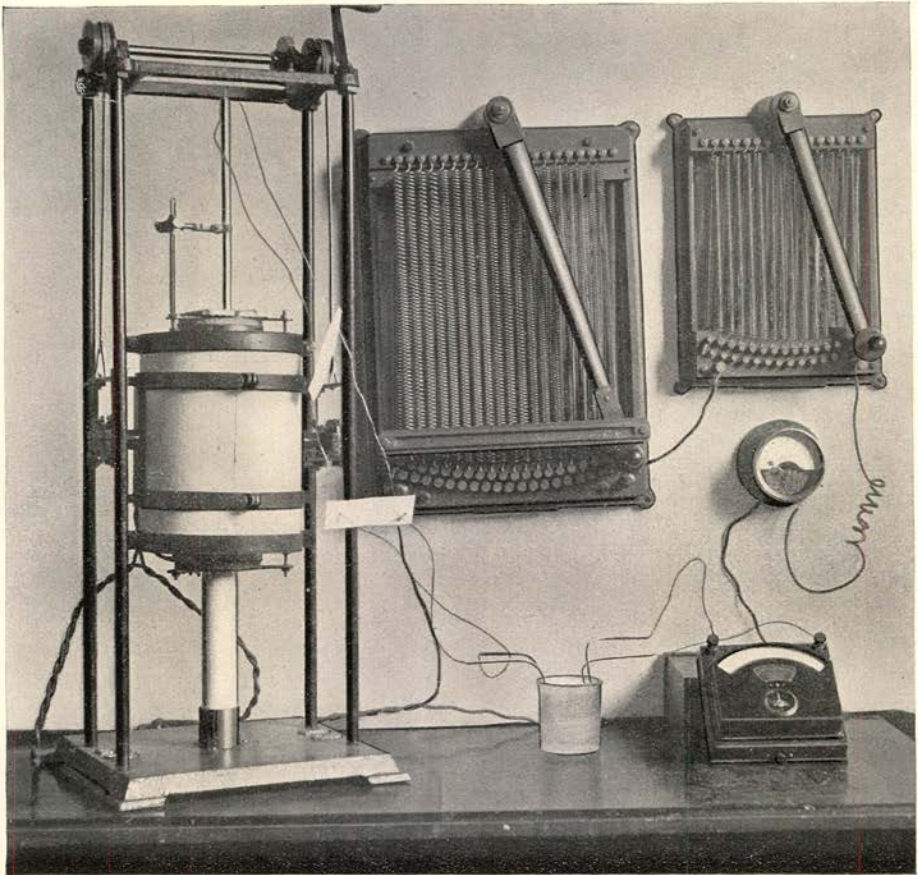


Fig. 7.

Met een speciaal geconstrueerd metaal-microscop (fig. 8) is het ons nu mogelijk een gedifferentieerd beeld te verkrijgen.

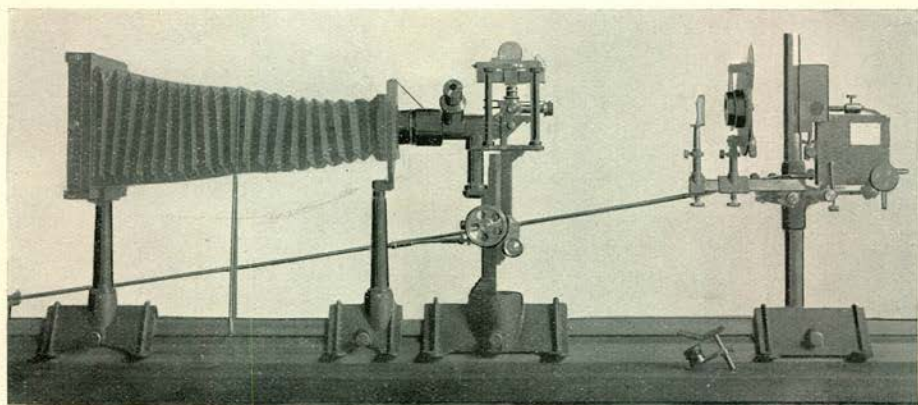


Fig. 8.

Lichtbron is een booglampje. Door een stel spiegels en prisma's kunnen de stralen door het objectief heen tegen het object worden geworpen, dat zoowel voor subjectieve beschouwing door het, in het afgebeelde instrument zijdelingsch aangebrachte oculair, als voor fotografische opname voldoende verlicht wordt. (zie serie foto's Sb-Pb, achter dit artikel.)

Verdere bevestiging van het c.t. beeld kan ons tenslotte o.a. nog door electriciteits- en volumemetingen worden gegeven, op welke methodes we hier evenwel niet in zullen gaan.

Aangenomen nu, dat het ons mogelijk is geweest van verschillende legeringen de c.t. diagrammen zuiver te construeeren, wat van een overgroot aantal combinaties inderdaad reeds het geval is, dan rijst de vraag, „waartoe dit alles?”

Ten eerste heeft deze grafische methode hare voordeelen als zoodanig; dwz, het gemakkelijk overzicht, dat zij ons over tal van gegevens verstrekt. Waar b.v. de smeltpunten van goud-zilver- of goud-koper-legeeringen ons interesseeren, geeft een zeer eenvoudige lijn ons antwoord op al wat we dienaangaande zouden kunnen vragen. (fig. 9 en 10.) Ook blijft van een dergelijke figuur veel meer in ons geheugen hangen, dan er van een serie cijfers ooit zou achterblijven.

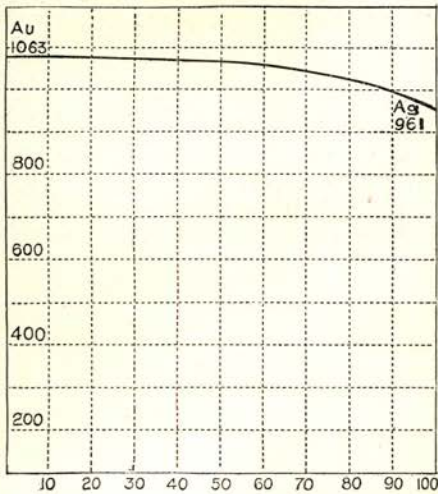


Fig. 9.

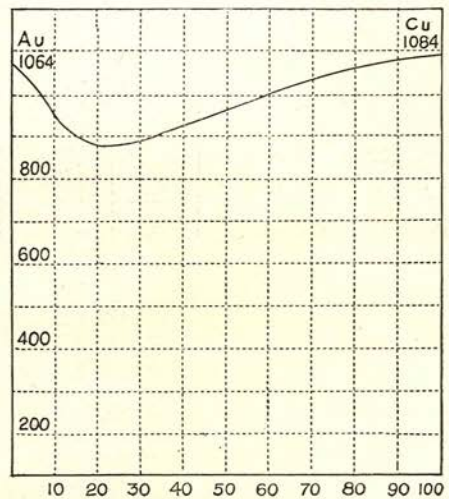


Fig. 10.

Bovenal echter is het diagram van belang, omdat het ons in één blik de kristal-structuur van een geheele serie legeeringen doet zien en omdat van deze structuur voor een goed deel de mechanische, de technische eigenschappen der legering afhankelijk zijn.

De aard dezer afhankelijkheid wordt, voorzover zij de hardheid betreft, volgens den Rus K u r n a k o w, weergegeven in fig. 11. Het eenvoudigst doet zij zich voor bij

de mechanische mengsels. De hardheid is recht evenredig met de verhouding der componenten. Deze onderlinge betrekking is voor te stellen door een rechte lijn.

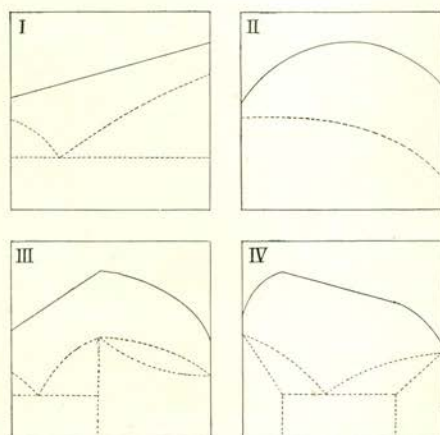


Fig. 11.

In een niet onderbroken reeks mengkristallen zien we reeds bij de zwakke concentraties het hardheidscijfer snel stijgen. Ergens in de serie wordt een maximum bereikt, dat evenwel steeds te vinden is in een naar beneden concave lijn. Een legeering van twee metalen, die ook in vasten toestand in elkaar opgelost blijven, is dus steeds aanzienlijk harder dan elk van hare componenten. Verassingen in dien zin, dat naast kleinere veranderingen in het percentage der componenten zich belangrijke hardheidsverschillen zouden voordoen, staan ons hier niet te wachten.

Wel kunnen deze zich voordoen in het derde geval, waar een chemische verbinding wordt gevormd. Van de eigenschappen dezer nieuwe stof valt, zooals vanzelf spreekt, vooraf minder te zeggen. In het H. diagram is zij evenwel steeds door een maximum vertegenwoordigd. (fig. 11 III.)

Men houde in het oog, dat deze figuur slechts schematisch bedoeld is. De werkelijke H. waarden zijn natuurlijk voor elke legering verschillend. In verreweg het grootst aantal der bekende combinaties groeit echter het hardheidscijfer zóó snel met het optreden der nieuwe verbinding, dat eene legering, waarin zij in belangrijke mate voorkomt, door hare groote brosheid ten eenenmale waardeloos is.

In fig. 11. IV. wordt de hardheidslijn gegeven voor eene legering, waarvan de componenten tot aan een zeker percentage in elkaar opgelost blijven. De lijn bestaat daarvoor uit drie gedeelten, een stijgend gebogen deel voor elk mengkristalgebied en een recht voor het tusschengelegen gebied der mechanische mengsels van deze twee soorten mengkristallen.

Weet men nu verder, dat er voor elke legering een coëfficiënt is vast te stellen voor de hardheid en de andere technische eigenschappen, dan wordt het duidelijker, dat het diagram ons meer heeft te zeggen dan een reeks temperaturen. Dan zien we in de zooeven getoonde fig. 9 en 10, dat goud zich in alle verhoudingen met zilver zoowel als met koper kan vereenigen tot een doorlopende reeks mengkristallen, en dat deze legeringen dus waarschijnlijk bruikbaar zullen zijn. Met het diagram voor ons kunnen we zien, hoe goud en tin chemische verbindingen vormen en dus waarschijnlijk daarom elkaars geslagen vijanden zijn. Met de diagrammen voor ons eindelijk wordt het mogelijk ook vooraf te zeggen, welke metalen we samen moeten smelten en in welke verhouding, om met de meeste kans op succes een doelmatig materiaal te verkrijgen.

Ten slotte zou ik, door een meer uitgewerkt voorbeeld willen trachten ook den practicus van de voordeelen dezer „grafische methoden” te overtuigen.

Het is U bekend, dat de z.g.n. lichtvloei-bare legeringen, zooals Roses-, Woods- en Watts-metaal in groot aantal

en in varieerende samenstelling op de markt voorkomen. Zij bestaan echter bijna allen uit lood, tin en bismuth. Gesteld nu, dat ons de opdracht werd verstrekt voor een nieuw te maken fabrikaat behoorlijk gemotiveerd de verhouding tusschen deze metalen te geven; hoe zouden wij ons dan van dien last kwijten?

We stellen vooraf de eischen vast waaraan het fabrikaat zal moeten voldoen. Deze hebben, met het oog op het gebruik dat van de legering gemaakt zal worden, in hoofdzaak betrekking op het smeltpunt en op de hardheid, terwijl den fabrikant natuurlijk ook de kostende prijs zal interesseeren.

Om een overzicht te kunnen krijgen van de smeltpuntkwestie zullen we een c.t. diagram willen construeeren. Hier stuiten we echter op iets nieuws. Tot nog toe hebben we alleen gesproken over binaire legeringen en over de diagrammen hiervan. Thans hebben we met drie metalen te maken. Daarom zij mij toegestaan even de constructie van een ternair diagram te bespreken. In plaats van door een punt op een lijn geven we voor drie componenten de concentratie aan door een punt in een vlak en wel in een gelijkzijdigen driehoek. We maken dan gebruik van het feit, dat de som der drie loodlijnen, van uit een willekeurig punt binnen den driehoek op de zijden neergelaten, gelijk is aan de hoogte van den driehoek; dus dat  $PD + PF + PE = h$ . (fig. 12) en dat tevens de som van de drie lengten der lijnen, van uit P evenwijdig aan de drie zijden getrokken, gelijk is aan de lengte van een driehoekszijde; dus dat  $PG + PT + PH = AB = BC = CA$ .

Punt P is door de lengten dezer lijnen volkomen bepaald, maar omgekeerd is door punt P ook de lengte van elk der stukken P G, P T en P H. gegeven. Laten we nu door de lengte dezer stukken de concentratie van elk der drie componenten aangeeven, een driehoekszijde op 100 stellende, dan is dus door elk willekeurig punt binnen den driehoek de samenstelling van een ternaire legering be-



paald. We plaatsen vervolgens op elk der driehoekszijden een vlak loodrecht op het vlak van den driehoek. Deze drie vlakken zullen elkaar snijden langs lijnen in A, B en C loodrecht op het grondvlak staande, welke lijnen de ribben vormen van het aldus ontstane prisma. Op elk der prismazijden teekenen we op gelijke schaal een der binaire diagrammen Pb-Sn, Sn-Bi en Bi-Pb en wel zoo, dat Pb aan Pb, Sn aan Sn en Bi aan Bi sluit. We krijgen hierdoor figuur 13. De temperaturen worden dus uitgezet op elk der drie ribben van het prisma. We kunnen ons nu vlakken denken door de overeenkomende punten dezer drie temperatuurschalen. Deze vlakken zullen evenwijdig aan het grondvlak zijn en de temperatuur voor het geheele ternaire systeem aangeven; we noemen ze daarom de temperatuurvlakken. Verder kunnen we nog vlakken brengen door de smeltlijnen. Deze zullen het *smeltvlak* vormen, welk smeltvlak op bepaalde hoogten door de temperatuurvlakken gesneden kan worden. De snijlijnen van het smeltvlak met de temperatuurvlakken noemen we de *isothermen*

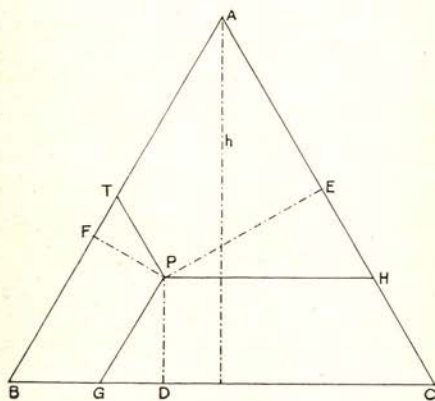


Fig. 12.

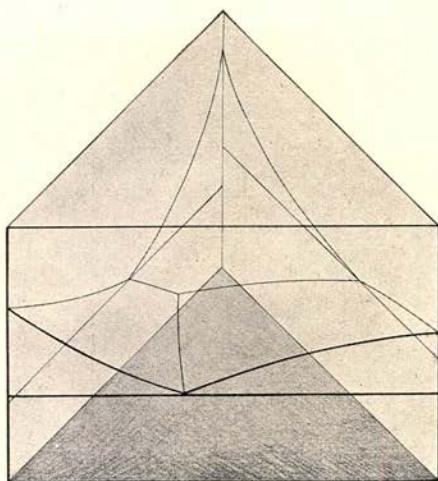


Fig. 13.

(fig. 14). Projectie van dit alles op het grondvlak, waarop reeds een coördinatensysteem geteekend is, geeft in fig. 15 de bruikbare vorm van een ternair diagram, zooals dit het eerst door Charpy is geconstrueerd. Het stelt ons in staat naar willekeur in verschillende concentraties series aan lood-tin-bismuth uit te zoeken van elk gewenscht smeltpunt tusschen 327 en 96 C°. Omtrent den eersten eisch kunnen we onzen fabrikant van een zoo volledig mogelijk advies dienen.

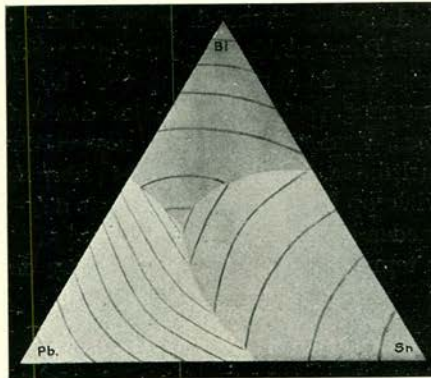


Fig. 14.

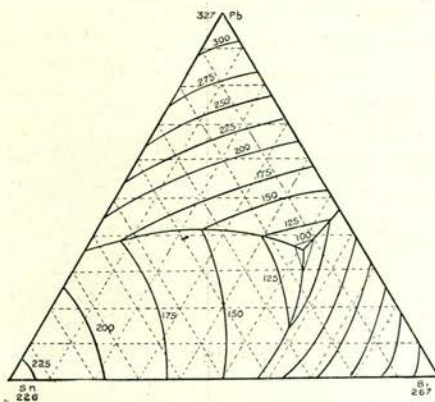


Fig. 15.

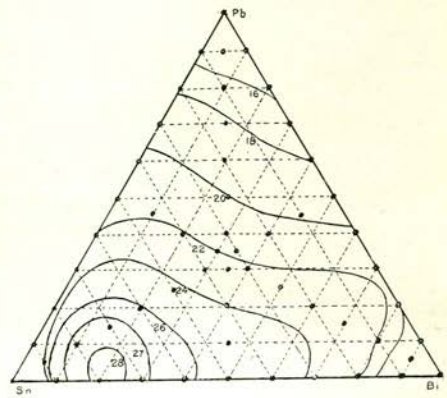


Fig. 17.

Thans komt de tweede eisch aan de orde, die der hardheid. Nu zijn de binaire diagrammen Bi-Pb, Pb-Sn, en Sn-Pb zooals ze door Charpy zijn aangegeven niet geheel juist. In plaats dat alle concentraties bij stolling mechanische mengsels vormen, bezitten de componenten ten opzichte van elkaar eene partieele oplosbaarheid. Waar, zooals gezegd, we bij mechanische mengsels als hardheid slechts het procentisch gemiddelde van de hardheden der componenten bereiken, is in een mengkristalgebied altijd een sterke stijging te verwachten.

De aanwezigheid dezer gebieden in het onderhavige geval, doet ons dus eene gunstige prognose stellen. We willen evenwel trachten een volledig overzicht te krijgen van de verschillende graden van hardheid, welke we met combinaties van de drie genoemde metalen kunnen bereiken.

Te dien einde zullen we trachten, op geheel gelijksoortige wijze als waarop het c.t. diagram Pb-Sn-Bi verkregen werd, een *ternair hardheidsdiagram* te construeeren.

Onmisbaar hierbij is natuurlijk een instrument, waarmee de hardheid van verschillende legeringen kan worden vastgesteld. In het metallurgisch laboratorium van het tandheelkundig instituut wordt de kogeldrukmaschine van Brinell gebruikt (fig. 16).

Door deze machine wordt een kogel van gehard staal met een bepaalde kracht in de oppervlakte van het te onderzoeken materiaal geperst. De grootte van de op deze manier verkregen indruk dient als basis voor de berekening der hardheid. Deelt men het aantal K.G. der belasting door het aantal  $\text{mm}^2$ . van het bol-oppervlak van de indruk, dan krijgt men den uitgeoefenden druk per  $\text{mm}^2$ . Dit getal is nu als maat voor de hardheid aangenomen en wordt het *Brinell-hardheidscijfer* genoemd.

Het hardheidscijfer werd aldus bepaald van de 57 legeringen, welke concentraties door de zware punten in fig. 17 zijn aangegeven. Hierdoor wordt het mogelijk drie *binaire*

H. diagrammen te construeeren uit de verkregen cijfers voor de legeringen langs de driehoekszijden. De waarden, welke correspondeeren met de punten in de drie hoogtelijnen van den driehoek, geven verder aanwijzing, hoe door

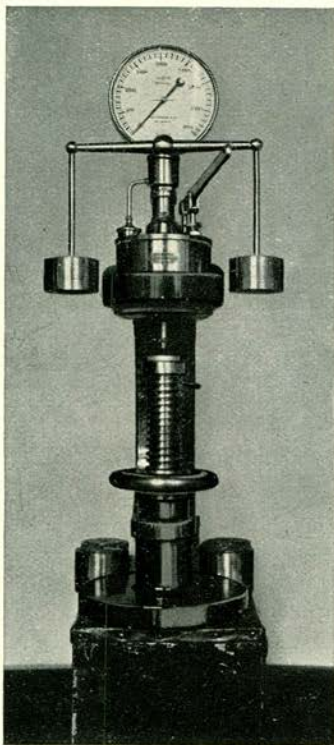


Fig. 16.

de binaire krommen het (ternaire) hardheidsoppervlak te brengen. De snijlijnen eindelijk van horizontale vlakken met dit hardheidsoppervlak zijn de „gelijke-druk-lijnen”, als analogen van de isothermen. Zoo'n lijn geeft dus een serie legeringen aan, die alle van dezelfde hardheid zijn.

Enkele dezer druklijnen zijn met opgave van het bijbehorend hardheidscijfer in fig. 17 geprojecteerd. Ter vergelijking zijn enkele H. cijfers van bekende materialen hieraan toegevoegd. (Zink 40, Babbitt 38, Watts-metaal 28, Melotte 14). Fig. 17 is dus het ternaire H. diagram Pb-Bi-Sn.

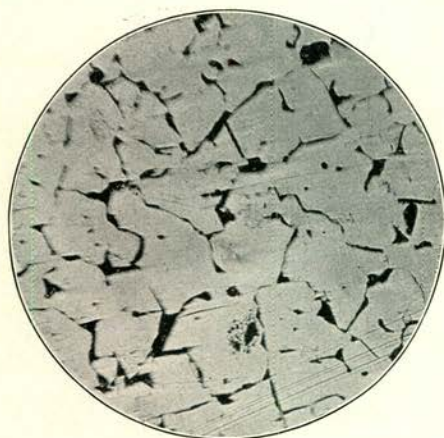
De beide diagrammen samen, desgewenscht in één tekening vereenigd, stellen ons in staat om in één oogopslag van elke willekeurige legering, die uit Pb, Sn en Bi is samengesteld, te beoordeelen in hoeverre zij voldoet aan de door ons straks gestelde eischen betreffende het smeltpunt en de hardheidsgraad. Men ziet, dat de vereeniging van de laagste smeltpunten en de hoogste hardheidsgraad een niet te verwerkelyken verlangen is. Daarom zal men goed doen eene legering uit te zoeken speciaal geschikt voor het werk, dat men van plan is te maken.

Voor stukken van kleineren omvang uit zacht materiaal, als b.v. het stampen van een kroondeksel, zal men gemakshalve eene legering wenschen met een laag smeltpunt, terwijl het feit, dat men zich dan met een hardheid van ongeveer 21 moet vergenoegen, tegen het gebruik van een op de isotherm van 100° voorkomende combinatie geen bezwaar behoeft te zijn. Omgekeerd is echter bij het gebruik in een Jacobsberg-apparaat voor het stampen van heele of partieele platen, een grootere hardheid, b.v. die van B a b b i t t, gewenscht, terwijl het klimmen van het smeltpunt tot 175 à 200°C geen noemenswaarde verzwaring is van dit toch reeds omvangrijker werk.

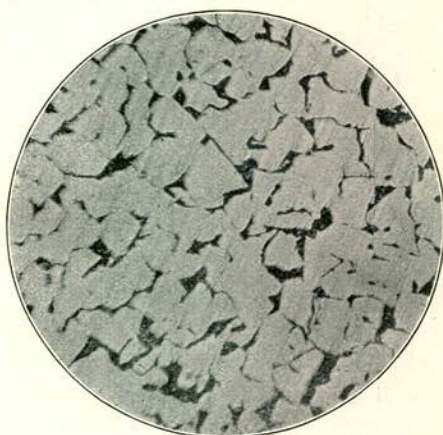
Met het bovenstaande heb ik willen trachten een blik te geven in het wezen van moderner metaalkennis dan in onze, trouwens zeer verouderde, leerboeken te vinden is. Een volledig overzicht kon uit den aard der zaak een voordracht van deze lengte bezwaarlijk bieden. Zij heeft dan ook allerminst de pretentie dit te zijn, nòch in haar geheel, nòch in de details. Ik hoop evenwel den belangstellenden in ons tandheelkundig instituut den geest te hebben doen kennen, waarin ik dit voor ons nieuwe vak, wensch te onderwijzen.

Utrecht, 1 October 1914.

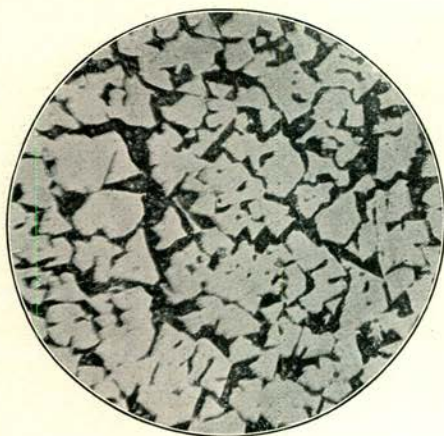
B. R. BAKKER.



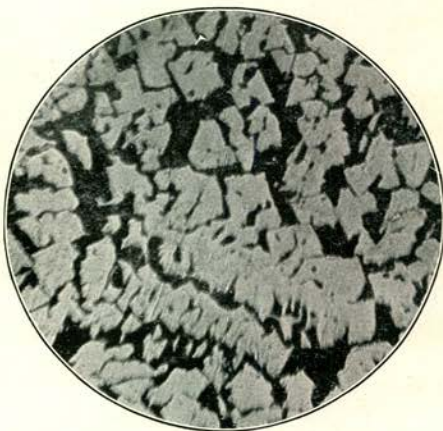
Sb. 90 — Pb. 10.



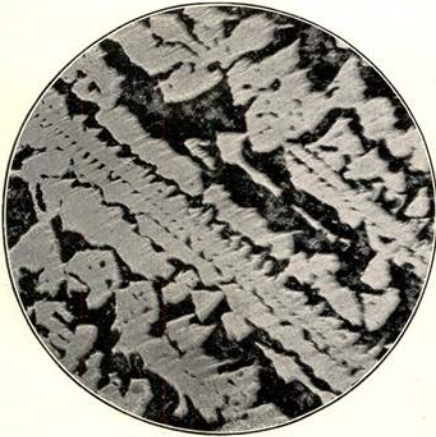
Sb. 80 — Pb. 20.



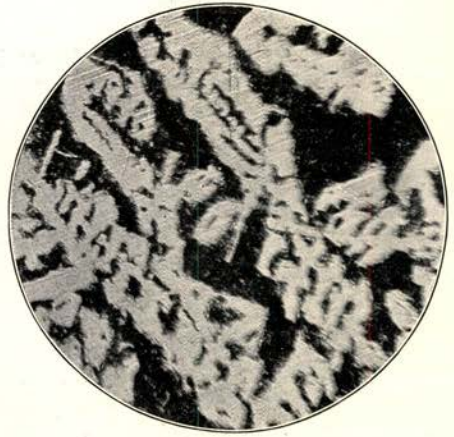
Sb. 70 — Pb. 30.



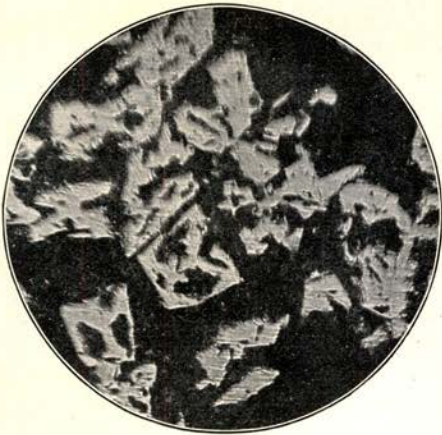
Sb. 60 — Pb. 40.



Sb. 50 — Pb. 50.



Sb. 40 — Pb. 60.



Sb. 30 — Pb. 70.



Sb. 20 — Pb. 80.

### Discussie.

De voorzitter wijst op de voordeelen, die voor de studenten voort-spruiten uit lessen en het genre als zoeven door den Heer Bakker werden medegedeeld en brengt hem hulde voor zijn klare en interessante voordracht.

De Heer Schl. Boerma wenscht te weten of de Heer Bakker reeds positieve onderzoeken heeft verricht omtrent legeringen, zooals we die in de praktijk gebruiken, b.v. True Dental Alloy enz., en of hij reeds de verhouding der metalen tot kwik heeft nagegaan, ook voorzoover chemische verbindingen worden gevormd, ten einde ons den weg te wijzen waar het optimum te vinden is.

De Heer Bakker antwoordt dat het aantal zijner plannen nog grooter is dan zijn resultaten; trouwens hij is pas een jaar met dezen arbeid bezig. Echter kan hij wel iets vertellen over tin en zilver en legeringen. In dit verband wijst hij op het z.g. „aging” waarvan Black spreekt; de eigenschappen der legering veranderen op den duur; door het vijlsel te verwarmen kan deze verandering in de hand worden gewerkt. Bij lage temperatuur is de verandering het geringst.

Wanneer wij onze metalen afkoelen geschiedt geregeld te snel om een evenwichtstoestand der moleculen te verkrijgen; het z.g. „abschrecken” der metalen. Ook Black's Ag + Sn is in onvolkomen evenwicht.

De chemische verbinding van tin en zilver in het alliage is waarschijnlijk ten deele tijdelijk, en valt uiteen wanneer kwik als derde wordt toegevoegd. Positieve resultaten zijn haast niet anders te verwachten dan door samenwerking tusschen mannen der praktijk en der theorie.

Dr. Dentz herinnert aan het palladium-amalgaan, dat hij indertijd verwerkte; dit ontwikkelde bij het aanmaken een belangrijke hoeveelheid warmte: dus wijst dit op een chemische verbinding.

De Heer Bakker meent, dat bij het verwerken van palladium in amalgaan-legeringen grooter commercieel belang dan wel nut voor de praktijk werd beoogd.

Den Heer Duyvensz heeft het bij de zoeven gehoorde rede weer eens gefrappeerd hoe de theoretische wetenschap voor de praktijk ook van belang is wat niet steeds wordt aanvaard. Ook blijkt het, dat we den fabrikanten niet al te gauw de schuld van een mislukking in de schoenen mogen schuiven.

Nog zou de vraag kunnen rijzen welke rol de lucht speelt tijdens het smeltproces.

De Heer Bakker antwoordt, dat wanneer de invloed van de lucht ter sprake komt, we den atmosferischen druk kunnen uitscha-



kelen. De zuurstof van de lucht heeft zeker invloed; deze echter kan sterk verminderd worden bij smeltingen beneden  $700^{\circ}$  wanneer we met een reageerbuisje werken van moeilijk smeltbaar Jena-glas, en dit afdekken eerst met asbestwol, daarna met houtskoolpoeder, welk laatste de zuurstof bindt, dus verbrandt.

Komt het er nog meer op aan de zuurstof uit te sluiten, dan smelten in een atmosfeer van stikstof.

Hierna wordt de discussie gesloten, met een woord van dank door den voorzitter geuit.