

Tandheelkundige Materiaalkennis

door J. N. Tekenbroek

(Vervolg)

TWEEDE GEDEELTE

HOOFDSTUK VIII. EDELMETAAL-LEGERINGEN

§ 1. Goud

Zoals uit het staal de voor de tandheelkunde thans van zoveel belang zijnde soorten roestvrij-chroomstaal, het 18-8 roestvrij-staal en de stellet-legeringen zijn ontwikkeld, zo zijn uit het goud de edelmetaal-legeringen, die in de tandheelkunde gebruikt worden, voortgekomen. In deze legeringen treft men in hoofdzaak de edele metalen goud, platina, palladium, soms ook iridium, het wat minder edele zilver, met daarnaast koper, zink, nikkel en cadmium als onedele componenten aan.

Goud is een van de eerste metalen, die de mens heeft leren kennen. Zo komen o.a. reeds in oude Egyptische wetboeken, daterende van 3600 v. Chr. regelingen voor betreffende dit ook toen al zeer begeerde metaal. De fraaie kleur, de hoge glans, de grote houdbaarheid en de gemakkelijke verwerkbaarheid zijn de eigenschappen, die de aandacht van de mens al spoedig naar het goud trokken en het begeerlijk maakten.

In de natuur komt goud veelal in gedegen toestand voor; soms vindt men het goud in grote stukken maar als regel wordt het als poeder aangetroffen, voorkomende in gesteente of zand. Uit het goudbevattende zand dan wel uit het fijngestampte steen kan het reeds voor het grootste gedeelte door een eenvoudig opslibben in water gewonnen worden. Door zijn hoge s.g. (19,32) zakt het goud daarbij op de bodem en wordt zodoende van de minerale verontreinigingen ontdaan.

Voor het samenstellen van legeringen kan goud, evenals alle andere daarbij gebruikte metalen, slechts in zuivere toestand gebruikt worden, waartoe het in de fabrieken electrolytisch wordt neergeslagen.

Zuiver goud is te zacht om als zodanig te kunnen worden gebruikt voor het vervaardigen van gebruiksartikelen (munten, sieraden, enz.); het wordt daarom met andere metalen gelegeerd, waarbij vooral zilver en koper als legeringscomponenten op de voorgrond staan.

Het goudgehalte van een legering wordt pro mille opgegeven, een legering van 750 fijn-gehalte per 1000 gewichtsdelen bevat 750 gewichtsdelen zuiver goud. Meer klassiek en ook thans nog veel in gebruik is de waardering van het edelmetaal-gehalte in karaat. Het woord karaat is afgeleid van het Arabische *kīrat*, hetgeen de Arabische naam is van het zaad der Johannis-broodboom, welk zaad in vroeger eeuwen door de Arabieren als betaalmiddel werd gebruikt. In de diamanthandel betekent karaat een gewichtshoeveelheid, namelijk

0.2 gram, bij de edelmetalen echter duidt het karaat een gehalte aan en wel het gehalte van een legering aan edele metalen, dus aan goud samen met de metalen van de platinagroep. Een legering van 24 karaat bevat 100% edelmetaal, 18 karaat komt overeen met 75% edelmetaal. Onderstaande tabel geeft het verband tussen het karaat en het fijn-gehalte aan edelmetalen van legeringen weer.

TABEL XX

karaat	o/60	karaat	o/60	karaat	o/60	karaat	o/60
24	1000	18	750	12	500	6	250
23	958.3	17	708.3	11	458.3	5	208.3
22	916.7	16	666.7	10	416.7	4	166.7
21	875	15	625	9	375	3	125
20	833.3	14	583.3	8	333.3	2	83.3
19	791.7	13	541.7	7	291.7	1	41.7

Het karaat van een edelmetaal-legering kan men globaal bepalen volgens een reeds eeuwenoude essayeermethode, namelijk met behulp van de toetssteen. Een toetssteen is een stuk matzwarte leiste (jaspische kwarts), welk materiaal zelf niet door sterke zuren, b.v. koningswater wordt aangetast. Met de te onderzoeken legering wordt door enige malen krachtig heen en weer strijken een streep op de toetssteen gemaakt. Daarnaast worden op dezelfde wijze eveneens strepen gemaakt met proefnaalden vervaardigd uit legeringen van bekend edelmetaal-gehalte. Vervolgens laat men op deze strepen zuren inwerken, die de onedele legeringsbestanddelen oplossen, zodat van de gemaakte strepen slechts de edele metalen onopgelost achterblijven. Door vergelijking van hetgeen van de streep, gemaakt met de te onderzoeken legering en met de verschillende toetsnaalden achterblijft, kan men zich dan oriënteren omtrent het gezochte gehalte. Deze methode van bepalen is vrij ruw; zij vereist ervaring, terwijl men bovendien vooraf georiënteerd moet zijn omtrent de bijgeleerde bestanddelen. Dit laatste vanwege het feit, dat overeenkomstig samengestelde toetsnaalden en daarbij behorende etsende vloeistoffen moeten worden gebruikt om enigszins kloppende bepalingen te kunnen krijgen. Aangezien gouden sieraden als regel uit dezelfde legeringscomponenten zijn samengesteld, kan en wordt de toetssteen door juweliërs nog steeds toegepast. Met enige ervaring is het mogelijk, tot een gehalte van 14 karaat toe, het gehalte van een onbekende legering op 1 karaat nauwkeurig vast te stellen. Voor in de tandheelkunde gebruikte goudlegeringen, die zeer wisselend en meestal ingewikkeld samengesteld zijn, is deze methode niet betrouwbaar genoeg.

Stuurt men als tandarts zijn „oud-goud” ter inwisseling voor nieuwgoud aan een essayeerinrichting dan wordt het fijn-gehalte van het opgezonden goud op andere wijze bepaald, namelijk door cuppeleren. Het ontvangen oud-goud wordt daartoe eerst tot een klomp samengesmolten, waardoor het metaal van zijn niet metallische ver-

ontreinigingen (inbedmassa, borax, cement etc.) wordt ontdaan. Van de verkregen goudklomp, die eerst gewogen wordt, zaagt of vijlt men een monster af en bepaalt het gehalte aan edelmetalen daarvan op de volgende wijze.

In een dikwandig kroesje, vervaardigd uit een poreus vuurvast materiaal wordt het afgewogen monster in een elektrische oven samengesmolten met een daaraan toegevoegde hoeveelheid zuiver lood en zilver. Bij de hoge smelttemperatuur oxyderen het lood en de onedele componenten van de te onderzoeken legering. De daarbij gevormde oxyden smelten en trekken met het loodoxyde in de poreuze wand van het cuppelleerkroesje. Het moment, dat alle onedele metalen geoxydeerd en in de kroeswand getrokken zijn, neemt men waar, doordat dan het gesmolten edelmetaal begint te „spiegelen”. Men koelt dan af en vindt in het smeltkroesje een kogeltje metaal, dat naast het toegevoegde zilver alle edele componenten van het te onderzoeken monster bevat. Dit kogeltje wordt in een wals tot een dun plaatje uitgewalst, waarop men vervolgens salpeterzuur laat inwerken. Hierbij gaat het zilver quantitief in oplossing, zodat dan slechts de edele componenten van het monster als residu achterblijven. Dit residu wordt gewogen, waarmede het gezochte gehalte aan edelmetaal gevonden is. Het zilvergehalte van het ingezonden oud-goud wordt door een eenvoudige titratiemethode afzonderlijk bepaald aan een ander monster, dat men van het samengesmolten oud-goud vijlt.

§ 2. *Cohaesief goud*

Zuiver goud is, zoals reeds opgemerkt, te zacht en te plastisch vormbaar om als zodanig voor het vervaardigen van gebruiksvoorwerpen te kunnen worden toegepast. Een uitzondering daarop maakt de toepassing van cohaesief goud in de tandheelkunde voor het maken van vullingen, zij het dan tegenwoordig wel in zeer beperkte mate. Zuiver goud is zeer smeedbaar en laat zich tot uiterst dun, zogenaamd bladgoud uitslaan. Dit bladgoud, dat zelfs tot een dikte van slechts $\pm 1/10.000$ mm vervaardigd kan worden, vertoont bij doervallend licht een groene kleur.

Bij de bespreking van de wrijving (Deel I blz. 229) werd reeds gewezen op de cohaesieve krachten, die bij oxydevrije metaaloppervlakken optreden. De zeer edele natuur van het goud voorkomt de vorming van een oxydelaag op dit metaal, wanneer het is blootgesteld aan de lucht. Wel kunnen zich door absorptie physisch gassen aan het actieve goudoppervlak binden. Dit heeft tot gevolg, dat, als een goudoppervlak enige tijd aan de lucht is blootgesteld, het een groot deel van zijn cohaesieve eigenschappen verliest. Door een temperatuurverhoging echter laten deze gassen zich van het goudoppervlak afdrijven en daarbij herstelt zich dan de cohaesieve eigenschap volledig. Aangezien echter in de gasvlam o.a. zwavelbevattende verbrandingsgassen voorkomen, die zeer sterk door een goudoppervlak geabsorbeerd worden en daarvan ook door warmtewerking moeilijk te verwijderen zijn, moet men, voor het cohaesief gloeien van het goud, het materiaal nooit in directe

aanraking met een gasvlam brengen. Het beste is natuurlijk voor het cohaesief gloeien een elektrische oven te gebruiken, maar men kan zich in deze behelpen met een niet te klein micaplaatje, dat men van onderen met een gasvlam verhit. Het goud, dat zich op het micaplaatje bevindt, komt dan niet in aanraking met de verbrandingsgassen van de vlam.

De vorm, waarin het cohaesieve goud in de tandheelkunde meestal gebruikt wordt, is die van de zogenaamde pellets. Deze worden vervaardigd door bladgoud tussen dun asvrij papier op te rollen, de daarbij verkregen rolletjes in stukjes op de gewenste lengte der pellets te knippen en vervolgens het papier door gloeiing te verbranden.

Naast deze pelletsvorm wordt soms ook sponsgoud gebruikt voor het leggen van cohaesieve goudvullingen. Sponsgoud, dat verkregen wordt door het neerslaan van goud uit oplossingen met behulp van een reductiemiddel, heeft een dofbruin, brokkelig, sponsachtig uiterlijk; het ziet er uit als wat samengeklonterd chocoladepoeder.

Het maken van een cohaesieve goudvulling vereist meer manuele vaardigheid dan het maken van vullingen met de gebruikelijke plastische materialen als amalgaam en cement. Cohaesief goud is een materiaal, dat voor zijn juiste verwerking vaardigheid, zorgvuldigheid en veel tijd verlangt; het is typisch een materiaal, dat men practisch moet leren kennen.

De meeste moeilijkheden, die men bij de verwerking van het cohaesieve goud ondervindt, worden veroorzaakt door het verschijnsel van de versteviging. Bij het ter plaatse aanbrengen en aandrukken (condenseren) van de pellets wordt het bladgoud aanzienlijk plastisch vervormd. De daarbij optredende versteviging maakt het materiaal stijver, veerkrachtiger en minder cohaesief. Ook door wrijving over het oppervlak (brunerig) heeft aan het oppervlak een versteviging plaats, die het materiaal o.a. minder cohaesief maakt.

Onjuist is de mening, en die komt voor, dat het cohaesief zijn van dit materiaal inhoudt, dat het adhaesieve eigenschappen t.o.v. de caviteitwand zou hebben. Hier is natuurlijk in geen enkel opzicht sprake van. Een nadeel van cohaesief goud is, dat goud een uitermate hoog geleidingsvermogen voor warmte heeft (ongeveer $5 \times$ die van zuiver platina) en dat de thermische uitzettingscoëfficiënt tweemaal groter is dan die van het tandweefsel.

§ 3. *Goud-legeringen*

Men is er in geslaagd goud-legeringen samen te stellen geschikt voor alle in de tandheelkunde denkbare doeleinden. Indien deze legeringen bij de verschillende bewerkingen, die zij in de tandtechniek ondergaan (gieten, solderen, persen, trekken etc.) op de juiste wijze worden behandeld — waaronder in het bijzonder een juiste warmtebehandeling te verstaan is — dan voldoen zij aan dusdanig hoge eisen, dat zij tot op heden nog niet overtroffen worden door geen of slechts weinig goud bevattende legeringen of door de verschillende soorten roestvrij-staal. Dit betreft zowel de eigenschappen als vooral de eenvoudigheid, waar-

mee goud-legeringen zich laten verwerken in vergelijking met andere in de tandheelkunde gebruikte legeringen.

Het voornaamste bezwaar tegen goud is echter zijn kostbaarheid en dit bezwaar is in de laatste jaren steeds zwaarder gaan wegen. In bijna alle landen is door de gelddevaluatie de prijs van het goud aanzienlijk gestegen, terwijl de tandheelkunde zich mede op minder kapitaalcrachtige bevolkingsgroepen is gaan richten. Dit zijn dan ook de redenen waarom in de laatste decennia zich zoveel andere metaallegeringen als plaatsvervangers van het goud in de tandheelkunde hebben ontwikkeld. Doch in dit verband zij hier nogmaals met nadruk vermeld, dat slechts de kostbaarheid het tandheelkundig gebruik van goud in de weg staat; vanuit materiaal-standpunt beschouwd is het goud (met zijn legeringen) het voor de tandheelkunde meest aangeezwen materiaal.

Het zoeken naar een vervanging van het goud is door de nood van de eerste wereldoorlog het eerst in Duitsland begonnen. De goud-„ersatz“-alliages, waarmede dat land uit de eerste wereldoorlog te voorschijn trad, waren wel van zeer gering allooi; het waren feitelijk messing-legeringen. Het behoeft geen betoog, dat deze zelfs voor de gezondheid van de patiënten niet zonder gevaar zijnde legeringen wel zeer spoedig van de markt verdwenen.

Tussen de beide wereldoorlogen hebben zich ter vervanging van het goud, naast de verschillende soorten roestvrij-staal en de stelling-legeringen, vooral de zilver-palladium-legeringen ontwikkeld. Bij deze laatste betreft het legeringen van twee minder kostbare edele metalen, waaraan men door het toevoegen van andere metalen in kleinere hoeveelheden de gewenste eigenschappen tracht te geven. Bij deze eigenschappen staan op de voorgrond de corrosiebestendigheid van de legering tegenover het milieu van de mond en het „vergütbar“ zijn van de legering.

„Vergütbar“ noemt men in het Duits een legering als een daarmede vervaardigd werkstuk zich door een bepaalde warmtebehandeling in eigenschappen laat verbeteren. Een voorbeeld daarvan is een voorwerp vervaardigd uit staal, dat immers na zijn vervaardiging te verharden is. Een legering, die zich laat verharden is natuurlijk ook zacht te maken, hetgeen de vervaardiging van een voorwerp uit zo'n legering gemakkelijker maakt. In analogie met het bekende verharden van staal zal in het vervolg niet van „vergütbare“, maar van te verharden legeringen gesproken worden. Men moet zich daarbij echter wat los maken van de gebruikelijke inhoud van het begrip verharden, waarbij velen slechts aan staal denken. Het verharden immers, zo menen zij, is het op hoge temperatuur brengen van een stuk metaal om het vervolgens snel in water af te koelen. Een dergelijke bewerking echter op een goud-legering toegepast heeft juist het tegenovergestelde effect als bij staal; de goud-legering wordt als gevolg daarvan zacht gemaakt.

De eigenschap van vele in de tandheelkunde gebruikte legeringen om zich door een bepaalde warmtebehandeling te laten verbeteren heeft in ons land niet de aandacht, die deze eigenschap feitelijk verdient.

Voor een deel is daarvan onkunde de oorzaak met daarnaast het feit, dat goed tandheekkundig werk in ons land niet voldoende gehonoreerd wordt, waardoor de verfijning van de tandtechniek in ons land ten achter moet blijven.

Deze feiten verminderen echter de noodzakelijkheid niet om bij de bespreking van de materialen aan het verhardbaar zijn van legeringen aandacht te schenken. Een van de voornaamste doelstellingen, die een fabrikant bij het samenstellen van een legering nastreeft, is het materiaal verhardbaar te maken; zonder begrip van deze zaken blijft men buiten de kennis van de metallische materialen staan.

§ 4. *Het verharden van edelmetaal-legeringen*

Zuivere metalen zijn door een warmtebewerking niet te verharden; men kan ze wel door koude plastische vervorming verstevigen, waarbij dan ook de hardheid toeneemt. Deze versteviging en toename in hardheid gaan echter verloren bij verhitting van het metaal, waarbij men dan bovendien nog de kans loopt, dat onder invloed der warmtebewerking door secundaire rekristallisatie kristallietvergroving optreedt, waardoor het metaal nog zachter wordt.

Ook de binaire legeringen van het type I zijn door warmtebewerking niet te verharden. Dit legeringstype immers is opgebouwd uit kristallieten van twee legeringscomponenten. De trekvastheid, de hardheid en andere mechanische eigenschappen van een dergelijke legering liggen in tusschen die van de beide legeringscomponenten en aangezien zuivere metalen niet gevoelig zijn voor warmtebehandeling, moet dit eveneens het geval zijn bij dit legeringstype.

Anders wordt dit reeds bij het binaire legeringstype II, waarbij zich mengkristallen vormen. Zoals vroeger besproken (Deel I blz. 168), zijn legeringen met mengkristallen harder dan hun legeringscomponenten.

Eén van de voorwaarden, waaraan een legering moet voldoen om verhardbaar te zijn, is, dat de legering mengkristallen vormt. Daarnaast moet echter nog aan een tweede voorwaarde voldaan worden.

Omtrent het vormen van mengkristallen zij hier nogmaals op het volgende gewezen. Als twee metalen met eenzelfde kristalpatroon kristalliseren — men spreekt dan van isomorfe metalen — kunnen hun atomen wederzijds plaatsen in het kristalrooster van het andere metaal innemen en wordt het ontstaan van substitutionele mengkristallen bevorderd. Nu zijn practisch alle metalen, die als legeringscomponenten in edelmetaal-legeringen gebruikt worden, isomorph. Zowel goud, platina, palladium, zilver en koper hebben de in de zijvlakken gecentreerde kubus als elementaircel.

Tusschen twee isomorfe metalen vormt zich een onafgebroken reeks mengkristallen (legeringstype II), als de atoomdiameters van beide metalen niet te veel uiteenlopen. Dit is b.v. het geval bij goud en zilver, wier atoom-diameters resp. 2.878 ÅE en 2.883 ÅE zijn. Het toestandsdiagram van Au-Ag ziet er in overeenstemming daarmee uit als fig. 46 weergeeft; het is een voorbeeld van het binaire legeringstype II.

Wederzijds kunnen de atomen Au en Ag elkaars plaats in het kristalrooster innemen. Het betreft hier, en ook bij de mengkristallen van de andere edele metalen, substitutionele mengkristallen. De plaatsing van de atomen in het kristalrooster is, evenals bij een gewone oplossing, een willekeurige. Door diffusie kunnen de metaalatomen zich in de vaste oplossing verplaatsen op dezelfde wijze, zij het veel langzamer, als de moleculen in een gewone oplossing.

Door het geringe verschil in atoomdiameter, zoals dit bij goud en zilver het geval is, zal, als roosterpunten door de andere atoomsoort worden bezet, het oorspronkelijke rooster van het zuivere metaal slechts weinig verwrongen worden. De glijvlakken in de mengkristallen zijn daardoor maar weinig gestoord en deze mengkristallen zullen daardoor

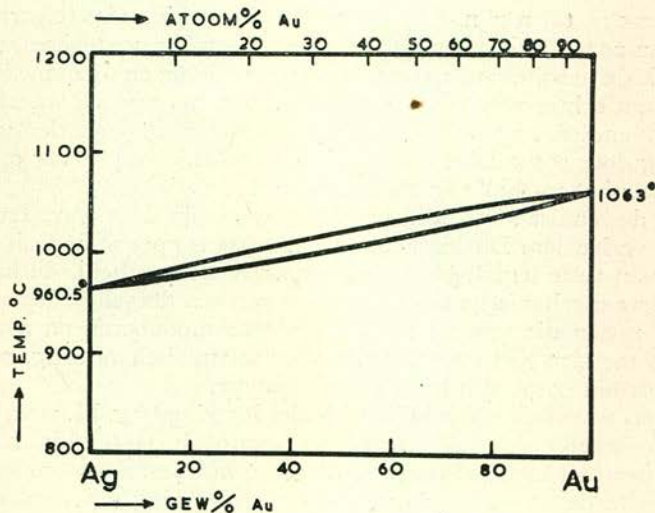


Fig. 46

nog maar weinig harder zijn dan de oorspronkelijke kristallen van zuivere componenten. De legeringen van dit type zijn dan ook nog betrekkelijk zacht, hetgeen dan ook o.a. het geval is bij de hier ter sprake zijnde Au-Ag-legering.

Verschillen de atoomdiameters der beide legeringscomponenten meer in afmeting, zoals zich dat b.v. voordoet bij de legeringen van goud en koper, van welke metalen de atoomdiameters resp. 2.878 ÅE en 2.551 ÅE zijn, dan wordt het kristalrooster in hun mengkristal meer verwrongen en zullen de glijvlakken meer verstoord worden. De mengkristallen zijn dan reeds belangrijk harder dan de kristallen van de oorspronkelijke metalen. Bovendien doet zich bij deze mengkristallen met verwrongen rooster om energetische redenen meestal het verschijnsel voor, dat beneden een bepaalde temperatuur in de vaste oplossing een nieuwe ordening der atomen onderling optreedt; er vormt

zich dan een zogenaamd superrooster, (zie Deel I blz. 52) een intermetallische binding tussen de beide legeringscomponenten. Bij goud en koper is dat dan ook, zoals reeds vroeger besproken werd, inderdaad het geval. Uit het hier nogmaals afgedrukte Au-Cu-diagram blijkt, dat, afhankelijk van het Cu-gehalte, zich bij $\pm 400^\circ$ uit de vaste oplossing de intermetallische verbindingen AuCu en Au₃Cu vormen. Aangezien zich in de edelmetaal-legeringen om redenen, die in verband staan met de corrosiebestendigheid zeker nooit meer dan 50% Cu zal bevinden, is alleen de verbinding AuCu voor ons hier van belang. Het superrooster van deze verbinding behoort niet,

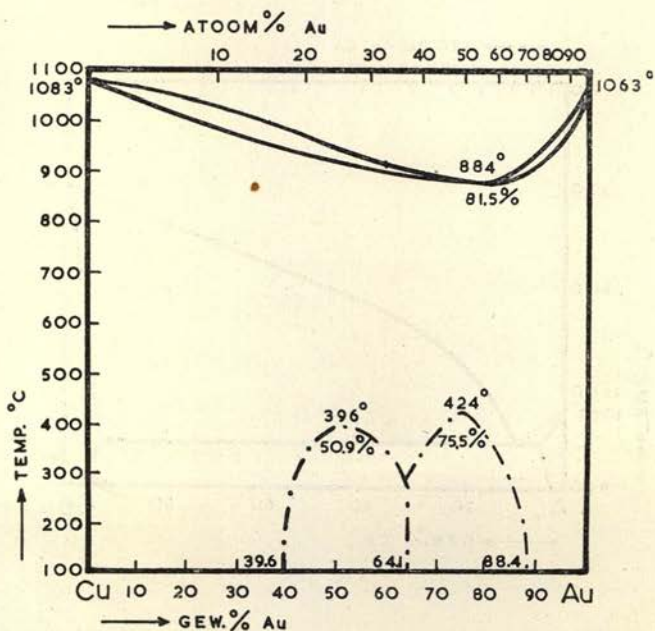


Fig. 47

zoals dat van de kristallen der beide zuivere legeringscomponenten en hun mengkristallen tot het reguliere maar tot het tetragonale stelsel. Het plaatselijk zich in de mengkristallen vormen van kristallen van een nieuwe vaste fase (AuCu) verstoort de glijvlakken in de mengkristallen bijzonder sterk. De mengkristallen en de legering nemen daardoor aanzienlijk in hardheid, sterkte enz. toe.

De disperse afscheiding van een nieuwe fase in de kristallen van de vaste oplossing — men spreekt in verband daarmee van dispersieharding — kan ook nog op een andere wijze dan door het vormen van een superrooster optreden. Deze tweede mogelijkheid doet zich bij het legeringstype III voor.

Indien de samengelegerde metalen nog meer in atoomdiameter uiteenlopen, dan zullen zij onderling geen onafgebroken reeks van meng-

kristallen kunnen vormen, maar treedt het legeringstype III op de voorgrond, waarvan een beperkte wederzijdse oplosbaarheid van de metalen in vaste toestand het kenmerkende is. Dit is b.v., om bij goudlegeringen te blijven, het geval bij het samenleggen van goud met cobalt. De atoomdiameters van deze beide metalen zijn resp. 2.878 ÅE en 2.507 ÅE en het toestandsdiagram van hun binaire legering is van het type III (zie fig. 48).

Voor de bespreking van de tweede mogelijkheid van dispersieharding is als voorbeeld beter het zilver-koper-diagram te gebruiken. In de eerste plaats komen deze beide metalen naast elkaar wel in de hier ter

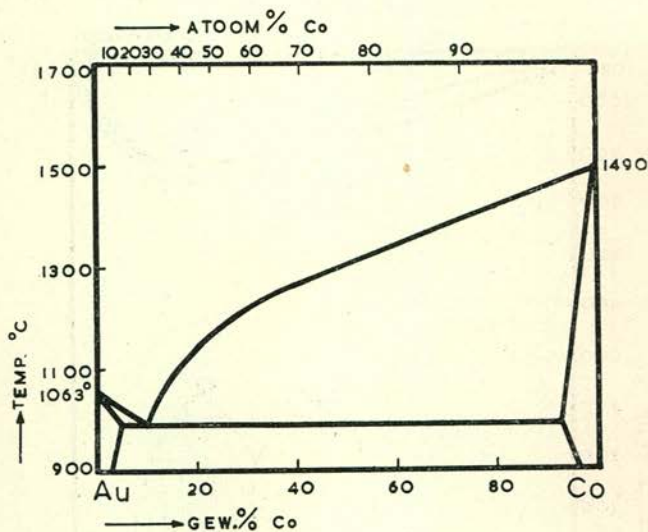


Fig. 48

sprake zijnde edelmetaal-legeringen voor en bovendien leent dat toestandsdiagram zich beter voor de bespreking van de onderhavige kwestie.

Uit dit diagram (fig. 49) blijkt, dat bij $\pm 700^\circ$ meer koper in het zilver oplosbaar is dan bij lagere temperatuur. Koelt men een gesmolten AgCu-legering, die ongeveer 5% Cu bevat, snel af, dan wordt de grens tussen de coëxistentie gebieden I en II snel gepasseerd en wordt bij kamertemperatuur een met Cu oververzadigd mengkristal (α) vastgevroren. Door nu de temperatuur van de legering te verhogen, waardoor de diffusiesnelheid toeneemt, zal zich uit de oververzadigde vaste oplossing een nieuwe vaste fase afzetten en wel, zoals het toestandsdiagram aangeeft, een mengkristal (β) van bijna zuiver Cu met weinig Ag. Deze afscheiding geschiedt, evenals de reeds besproken vorming van superroosters, verspreid op verschillende plaatsen in het mengkristal en dit heeft eveneens een verharding van de mengkristallen en daarmee van de legering tot gevolg. Dus zowel door het vormen van een

superrooster (ordening-harding) als door het neerslaan van een nieuwe vaste fase (precipitation-harding) kan een legering verhard worden.

Voor het verharden van een legering moet de temperatuur opgevoerd worden om door verhoging van de diffusiesnelheid het vormen van de nieuwe vaste fasen te bevorderen. Natuurlijk moet daarbij zorggedragen worden, dat men bij de opvoering van de temperatuur binnen het gebied van het nieuw te bereiken evenwicht blijft. Bij sommige legeringen is voor het verharden geen temperatuurverhoging nodig, maar treedt de afzetting van de nieuwe vaste fase reeds na enige tijd bij kamertemperatuur op en men spreekt dan van het verouderen van de legering bij kamertemperatuur (age-harding). Dit laatste ver-

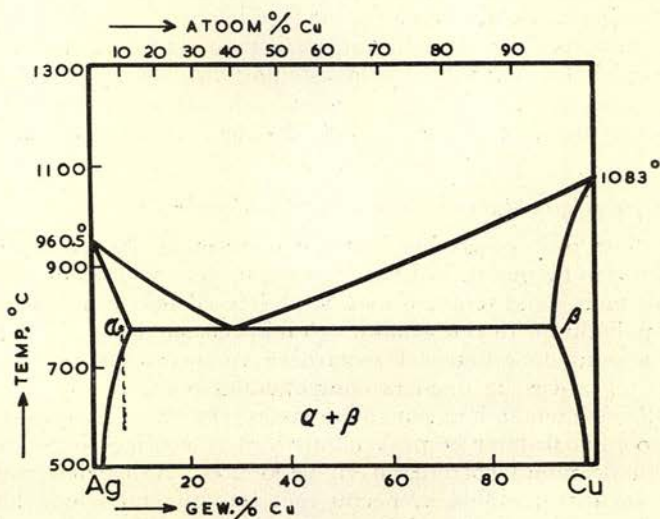


Fig. 49

schijnsel komt echter bij edelmetaal-legeringen niet voor; enkele aluminium-legeringen vertonen dit verschijnsel in sterke mate.

Samenvattend kan dus opgemerkt worden, dat een edelmetaal-legering te verharden is, als uit de mengkristallen bij een warmtebehandeling een nieuwe vaste fase ontstaat door de vorming van een superrooster dan wel door het uitkristalliseren van een andere kristal-soort. Het eerste doet zich voor bij het vormen van intermetallische verbindingen (voorbeeld Au-Cu), het tweede bij legeringscomponenten, die slechts over een beperkt gebied mengkristallen vormen (type III, voorbeeld Ag-Cu). Geen verharding is dus mogelijk als de componenten onbeperkt in elkaar oplosbaar zijn en zich geen verbindingen vormen (voorbeeld Au-Ag).

Een metaal-legering, die te verharden is, laat zich omgekeerd ook zacht maken, wat het voordeel geeft, dat het metaal zich dan gemakkelijker laat bewerken, b.v. voor het buigen van klammers of van prothe-

sebaren. Bij het zacht gloeien van een legering wordt de dispers afgescheiden vaste phase weer in de mengkristallen opgelost, waarna snel in water wordt afgekoeld (quenched in water). Na vervaardiging van het werkstuk uit het zacht gemaakte materiaal wordt de legering weer verhard. Bij het daartoe vereiste aanlaten (annealing) wordt het materiaal gedurende enige tijd op een bepaalde temperatuur gebracht en vervolgens langzaam afgekoeld. De hoogte der temperatuur en de duur der verhitting bij deze warmtebewerkingen hangen af van de samenstelling van de legering.

De in de tandheelkunde gebruikte edelmetaal-legeringen zijn veelal ingewikkeld van samenstelling en lopen onderling sterk uiteen. Er zijn legeringen onder, die zelfs niet minder dan tien componenten hebben. Dergelijke ingewikkeld samengestelde legeringen zijn metallografisch niet te doorgronden; de fabrikanten komen dan ook hoofdzakelijk langs empirische weg tot de samenstelling van hun producten. Wel vallen er omtrent de rol, die de verschillende componenten in de edelmetaal-legeringen vervullen, in het algemeen enige opmerkingen te maken.

§ 5. De legeringscomponenten van edelmetaal-legeringen

Goud dient om de legering bestendiger te maken tegen corrosie en verkleuring in de mond. Wil een legering in deze voldoende bestendig zijn, dan moet goud tesamen met de andere edele componenten (platina en palladium) in een gehalte van minstens 50 atoom % aanwezig zijn. Dit komt door het veel zwaardere atoomgewicht van de edele metalen tegenover de onedele componenten overeen met ± 75 gewichts % edelmetaal, hetgeen 18 karaats is. Door kristalsegregatie echter kan ook, zoals later besproken zal worden, een legering van hoger karaat in de mond corroderen en verkleuren. Aangezien goud één van de zachtste metalen is, neemt met een stijgend goudgehalte de hardheid van de legering af. Een gietgoud-legering van hoger karaat laat zich dan ook beter aanbruneren.

Koper wordt voornamelijk toegevoegd om een edelmetaal-legering harder en gevoelig voor warmtebehandeling te maken. De liquidus- en solidus-lijnen lopen in het koper-goud-diagram (fig. 47) vlak op elkaar, hetgeen tot gevolg heeft, dat het verschijnsel van kristalsegregatie bij een zuivere koper-goud-legering niet in sterke mate zal optreden. Bovendien vertoont het verloop van de solidus- en liquidus-lijnen een minimum. Koper verlaagt dus het smeltpunt van de legering, hetgeen nuttig is voor het gieten. Meer dan 25% koper wordt nooit in een edelmetaal-legering gebruikt, een hoger percentage zou de corrosiebestendigheid te sterk verminderen, terwijl de legering bovendien te bros zou worden.

Een nadeel van de aanwezigheid van koper is de mogelijke vorming van koperoxyde bij het smelten van de legering; koperoxyde namelijk lost in gesmolten koper op tot ongeveer 3%. Bij het vastworden van de legering scheidt het opgeloste koperoxyde zich als een brosse verontreiniging langs de kristallietgrenzen af. Dit maakt de legering bros en gevoelig voor intergranulaire corrosie. Bovendien heeft het opgeloste

koperoxyde de eigenschap om de gesmolten legering dik vloeibaar te maken, hetgeen bij het gieten nadelig is. Daarom mag een koperhoudende legering — en dat zijn bijna alle in de tandheelkunde gebruikte edelmetaal-legeringen — nooit te lang in gesmolten toestand gehouden worden en mag bij het smelten de temperatuur niet hoger dan noodzakelijk worden opgevoerd dan wel vergeten worden om daarbij borax en geen sterk oxyderende vlam te gebruiken.

Omtrent de rol van het koper in een goud-legering zij tenslotte nog vermeld, dat koper de legering roder van kleur maakt.

Zilver. Reeds bij een vluchtige beschouwing van Tabel XXII blz. 604 waarin de samenstelling van in de tandheelkunde gebruikte goudlegeringen zijn opgegeven, blijkt, dat deze legeringen voornamelijk goud-zilver-koper-legeringen zijn, waaraan in grotere of kleinere hoeveelheden andere componenten worden toegevoegd. Zilver, dat zelf het goud weinig verkleurt, werkt vooral de roodkleuring van het goud door koper sterk tegen. Het verlaagt evenals koper het smeltpunt van de legering, verhoogt de vastheid ervan en heeft verder de eigenschap de diffusiesnelheid in de mengkristallen te vergroten. Het gevolg hiervan is, dat de legering sneller op warmtebehandelingen reageert.

Een binaire Au-Ag-legering zonder andere toevoegingen is, zoals reeds vermeld werd, niet te verharden. Deze beide metalen vormen een legering van het type II (zie fig. 46 blz. 594). De binaire legering Ag-Cu daarentegen is, zoals eveneens reeds is besproken (toestandsdiagram fig. 47 blz. 526), wel gevoelig voor warmtebehandeling. In de ternaire goud-zilver-koper-legering vormen zich aanvankelijk bij afkoeling mengkristallen, waarin de drie atoomsoorten, namelijk van goud, zilver en koper naast elkaar in het kristalrooster van de vaste oplossing voorkomen. Bij warmtebehandeling scheiden zich in deze mengkristallen dispers de vaste fasen af, die het goud en het zilver met het koper en met de andere mogelijk aanwezige legeringscomponenten kunnen vormen.

Evenals alle andere componenten bij edelmetaal-legeringen kan zilver slechts in zijn zuiverste vorm bijgemengd worden. Vooral het vaak in zilver als verontreiniging voorkomende lood is nadelig voor een goud-legering. Lood vormt namelijk met goud een intermetallische verbinding Au_3Pb , die uiterst bros is en reeds bij 412° smelt. Een verontreiniging van 0.06% Pb is voor een goud-legering reeds fataal. Het brosse Au_3Pb zet zich langs de kristallietgrenzen af en veroorzaakt dan o.a. dat een goudplaat bij plastische bewerkingen spoedig scheurt.¹⁾

¹⁾ De gevoeligheid van goud voor lood dwingt tot voorzorgsmaatregelen bij het persen of slaan van plaatgoud voor het vormen van b.v. protheseplaten of kroondeksels. De daarbij in de tandtechniek gebruikte stansmetalen bevatten lood, waardoor na het slaan of persen looddeeltjes op het oppervlak van het goud kunnen achterblijven. Het goud moet daarom ter verwijdering van dit lood eerst zorgvuldig in zuur worden uitgekookt, alvorens het weer in een vlam uitgegloeid kan worden om het door versteviging stugger geworden materiaal weer zachter te maken voor verdere bewerking. Zou bij een dergelijke verhitting nog wat lood op het oppervlak aanwezig zijn, dan vormt zich plaatselijk de laagsmeltende verbinding Au_3Pb , met als gevolg, dat in het goud plaatselijk gaten branden.

Aan de aanwezigheid van zilver in een legering zijn enige nadelen verbonden. In de eerste plaats is zilver minder edel en kan vooral onder invloed van sulfiden verkleuren. Verder heeft zilver de eigenschap in gesmolten toestand zuurstof op te lossen. Bij afkoeling van de gesmolten massa ontwijkt deze zuurstof weer, hetgeen aanleiding kan geven tot poreusheid van de vastgewordene legering. Dit is dan weer een andere reden, waarom een goud-legering bij het gieten niet te lang in gesmolten toestand mag worden gehouden.

Platina. Het toestandsdiagram van goud en platina, waarvan fig. 50 een afbeelding geeft, leert het volgende. Het platina verhoogt het smeltpunt van de legeringen aanzienlijk. Verder valt op, dat er tussen de

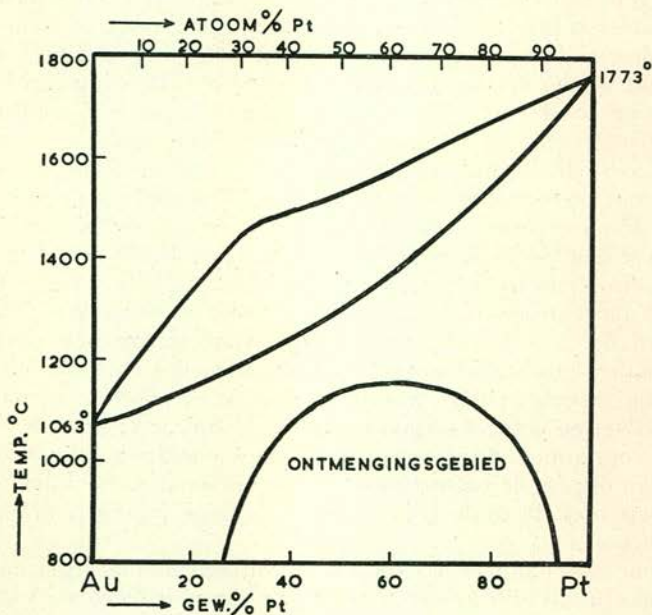


Fig. 50

solidus- en liquidus-lijn een grote afstand bestaat. De consequentie hiervan is, dat de mengkristallen gevoelig zullen zijn voor kristalsegregatie. Deze segregatie wordt hier echter sterk tegengewerkt door een eigenschap van het platina, welke niet in een toestandsdiagram tot uiting komt. Platina heeft namelijk de eigenschap het ontstaan van zeer kleine kristallieten in de legering te bevorderen. Niet alleen, dat dit de stevigheid, de veerkracht, de hardheid enz. van de legering ten goede komt, maar ook de homogeniteit der kristallen en de snelheid, waarmee de legering zich homogeniseert, worden er door bevorderd. Verder brengt de eigenschap van platina om kleine kristallieten te vormen met zich mede, dat een legering bij temperatuurverhoging niet zo spoedig kristalvergroving zal vertonen.

Een van veel belang zijnd verschijnsel bij het toestandsdiagram van goud en platina is verder het optreden van een ontmengingsgebied in de vaste oplossing. Bij lagere temperatuur zijn goud en platina minder goed oplosbaar in elkaar en scheiden zich dan uit de vaste oplossing zuivere goud- en platina-kristallen af. Een dergelijke afzetting in de mengkristallen gaat natuurlijk met een verharding gepaard. Aangezien echter bij kamertemperatuur $\pm 15\%$ platina in goud oplosbaar blijft, zal dit verschijnsel eerst optreden bij legeringen, die meer dan 15% Pt bevatten. (Er zijn aanwijzingen, dat zich beneden 600° intermetallische verbindingen tussen goud en platina vormen, maar deze zijn nog niet onomstotelijk aangetoond).

Naast platina wordt ook iridium in de goud-legeringen toegepast. Het heeft een analoge werking als platina; door zijn hoger smeltpunt 2340° C (dat van platina bedraagt 1773° C) verhoogt iridium het smeltpunt van de legering nog sterker dan platina. Alle metalen van de platinagroep hebben de eigenschap goud-legeringen wit te kleuren en doen dit reeds als zij in een betrekkelijk gering percentage aanwezig zijn. Platina wordt in de tandheelkunde ook in zuivere vorm gebruikt en wel als platinafolie (o.a. bij het porceleinbakken) en als bandmateriaal voor kroonbanden. Bij het uitwalsen van het platina tot bandmateriaal is het metaal verstevigd, welke versteviging o.a. in verband met zijn hoge smeltpunt, bij een matige warmtebewerking niet zo spoedig verloren gaat. Aangezien platina bij hoge temperatuur met koolstof carbiden vormt en daardoor ernstig beschadigd wordt, moet men voorzichtig zijn bij het gloeien van platina in een reducerende vlam.

Palladium is een component van de edelmetaal-legeringen, die vooral in de laatste jaren naar voren is getreden. Het is het goedkoopste van de platinametalen (half zo duur als goud) en vanwege zijn veel lager s.g. (zie tabel XXI) zuiniger en dus ook uit dien hoofde goedkoper in

TABEL XXI

Eigenschappen van goud-platina-palladium

Eigenschap	goud	platina	palladium
soort. gew. bij 20° C . . .	19.32	21.45	12.0
smeltpunt	1063° C	1773.5° C	1554.4° C
thermische geleidbaarheid cal./sec./cm ² /cm	0.7072	0.166 bij 18° C	0.168 bij 18° C
thermische uitzettings- coëfficiënt	14×10^{-6}	9×10^{-6}	12×10^{-6}
hardheid	16.5 tot 25 Brinell	37 tot 50 Brinell	37 tot 49 Vickers
treksterkte lbs/inch ²	18,000	20,000	27,500
elasticiteitsgrens lbs/inch ²	8,000	2,000	5,000
totale rek	45	30 tot 40	40
elasticiteits modulus	$(10.3-11.5) \times 10^6$	$(21.3-24) \times 10^6$	16.0×10^6

gebruik. Palladium heeft de eigenschap een goud-legering spoedig wit te kleuren; een goud-legering met 15% Pd is reeds volkomen wit. Evenals platina maakt de goud-legeringen harder; in draadgoud-legeringen b.v. voor stiften komt palladium tot een percentage van 10% voor.

Met goud vormt palladium een onafgebroken reeks mengkristallen (zie fig. 51); het verhoogt het smeltpunt van de legering, vooral bij kleiner percentage, reeds aanzienlijk. De solidus- en liquidus-lijnen lopen niet ver van elkaar af, hetgeen een geringe neiging tot kristal-segregatie met zich brengt. Palladium vormt met goud geen intermetallische verbindingen, doch met het in de legeringen steeds

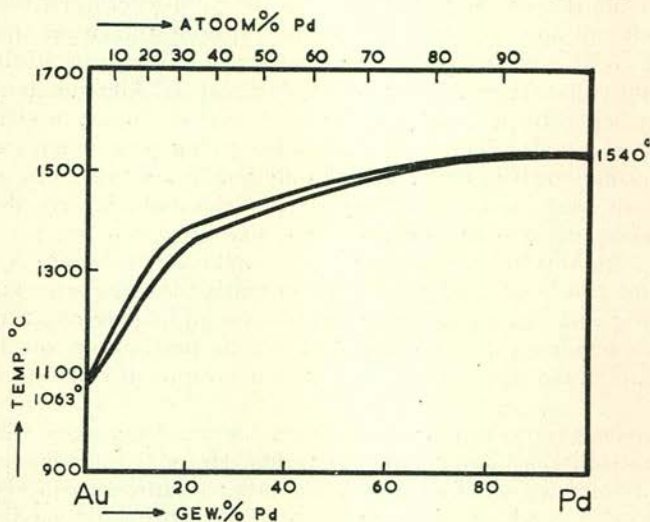


Fig. 51

aanwezige koper doet het dit wel, zodat de Pd bevattende goud-legeringen gevoelig voor warmtebewerking zijn.

Wordt palladium in een legering voor gedeeltelijke vervanging van zilver en koper gebruikt, dan wordt de legering vanwege het meer edele karakter van palladium bestendig tegen corrosie.

De grootste toepassing vindt palladium tegenwoordig in de zilver-palladium-legeringen, welke later afzonderlijk zullen worden besproken. Palladium is de minst resistente der metalen van de platinagroep; het wordt o.a. door sulfiden sterk aangetast. Verder heeft palladium de nadelige eigenschap in gesmolten toestand zowel zuurstof als waterstof, vooral het laatste, tot aanzienlijke hoeveelheden op te lossen. Dit kan aanleiding geven tot porusheid van de gietstukken.

Nikkel wordt soms, om economische redenen, in edelmetaal-alliages tot een gering percentage ($\pm 3\%$) toegepast ter gedeeltelijke vervanging van platina. Het vervult een analoge rol als platina in de legeringen. Het zet zich echter, vooral als dit metaal in wat hogere per-

centages aanwezig is, intergranulair af, hetgeen, aangezien nikkel nogal onedel is, de corrosiebestendigheid van de legeringen vermindert.

Zink. Naast het koper treedt, als onedele component van edelmetaal-alliages, zink op de voorgrond, zij het dan, dat het zinkgehalte nooit de 2% overschrijdt. Zink verhoogt de hardheid van de edelmetaal-legeringen, doch de voornaamste reden van zijn aanwezigheid berust op de grote affiniteit van zink t.o.v. zuurstof, waardoor het eventueel bij het smelten gevormde oxyde, o.a. het hinderlijke koperoxyde, reduceert. Zinkoxyde zelf is onoplosbaar in het gesmolten metaal en komt door zijn geringe soortelijke gewicht bovenop drijven, waar het zich in de afdekkende gesmolten boraxlaag oplost. Door zijn lage smeltpunt (328° C) verlaagt zink het smeltpunt van de legeringen en is mede daarom een onontbeerlijke component in goudsoldeeralliages. Ook cadmium wordt om deze redenen als legeringscomponent van goudsoldeer toegepast. Cadmium heeft echter de eigenschap, dat het bij 778° vluchtig is, waardoor dit metaal bij het solderen, wanneer te hoog en te langdurig verhit wordt, verdampt en dan aanleiding geeft tot poreusheid en het vormen van putjes in het oppervlak van de aanbrechte soldeerlaag.

§ 6. *Goud-legeringen voor verschillende doeleinden*

De tandheelkundige goud-legeringen kan men in grote trekken in twee groepen verdelen, namelijk in gietgoud-legeringen en plaat- dan wel draadgoud-legeringen, die uitsluitend plastisch verwerkt worden. Iedere grote goudfirma brengt voor beide groepen afzonderlijke legeringen op de markt en onderling verschillen deze legeringen even zovele malen als er goudfirma's zijn. Dit betreft niet alleen hun samenstelling maar ook hun mechanische eigenschappen als hardheid (hardness number), treksterkte (ultimate tensile strength), rekgrens (yield point), totale rek bij breuk (elongation), buigzaamheid (ductility) enz. (De rekgrens is ongeveer hetzelfde als de elasticiteitsgrens). Tussen het Brinell hardheidsnummer van een goud-legering en de treksterkte bestaat een evenredig verband. Ten naaste bij vindt men bij de goud-legeringen de treksterkte door het hardheidsnummer met 500 à 600 te vermenigvuldigen. Een grotere hardheid gaat gepaard met een vermindering van de totale rek en van de buigzaamheid. Voor het ene doel, b.v. voor stiftgoud, is een grote hardheid, geringe rek en geringe buigzaamheid van belang, terwijl b.v. van een giet-legering voor het gieten van inlays grotere rek en mindere hardheid verlangd worden om de gegoten vulling te kunnen aanbruneren.

Het ternaire goud-zilver-koper systeem is de basis van alle goud-legeringen. Hoe hoger het goudgehalte van een legering, des te zachter is het materiaal en in overeenstemming daarmee neemt de hardheid van gietgoud voor inlays toe met het dalen van het karaat.

Van draad- en stiftgoud alsmede van gietgoud, dat gebruikt wordt voor het gieten van protheses en klammers, worden een grotere treksterkte, hogere elasticiteit, grotere hardheid, geringere buigzaamheid,

TABEL XXII

Type	samenstelling in gewichtsprocenten						toestand	elasticiteitsgrens in lbs/inch ²	treksterkte in lbs/inch ²	totale rek in %	Brinell hardheid
	Au	Ag	Cu	Zn	Pd	Pt					
geel gouddraad	70.8	15.5	13.2	0.5			aanlaten tot 700°C en snelgekoeld	40,500	65,000	32.0	
geel gouddraad	63.8	15.5	13.2	0.5	7.0		aangelaten en snelgekoeld	63,500	93,000	9.6	
wit gouddraad	49.0	17.8	15.5	0.5	17.6		aanlaten tot 700°C en snelgekoeld	62,000	95,000	14.1	
wit gouddraad	60.0	9.0	12.0	2.0	12.0	5.0	aangelaten en snelgekoeld	70,000	145,000	0.8	
wit gouddraad	55.0	8.0	12.5	1.0	7.5	17.0	aanlaten tot 700°C en snelgekoeld	45,000	84,000	29.3	
gicgoud (inlays)	90.0	1.5	7.0	0.5		1.0	aangelaten en snelgekoeld	88,000	146,000	7.4	
gicgoud (prothesen)	70.0	11.0	11.0	1.0	3.0	4.0	snelgekoeld	61,000	99,000	22.0	150
							aangelaten en snelgekoeld	116,000	150,000	10.0	248
							aanlaten tot 700°C en snelgekoeld	102,000	128,000	12.0	200
							aangelaten en snelgekoeld	153,000	180,000	5.0	280
							gegoten	16,500	46,000	25.0	80
							gegoten en aangelaten	41,000	72,000	10.0	142
							gegoten, aangelaten en langzaam gekoeld	75,000	105,000	2.5	230
							gegoten en aangelaten	50,000	81,000	5.0	175
							gegoten, aangelaten en langzaam gekoeld	83,000	109,000	1.0	242

grotere veerkracht, enz. verlangd dan van gietgoud voor inlays. Daarom bevatten de eerstgenoemde goudsoorten meer platina, palladium, nikkel en soms ook zink.

Bij de opgave van de mechanische eigenschappen van goud-legeringen is het noodzakelijk tevens op te geven in welke toestand de legering is onderzocht, namelijk in verharde dan wel in zachtgemaakte toestand. Aangezien de samenstelling van de legeringen, die voor hetzelfde doel gebruikt worden, verschilt naar gelang de fabriek, waarvan de legering afkomstig is, kan slechts de fabrikant het juiste voorschrift voor de verschillende warmtebehandeling van zijn legeringen aangeven. Het is dan ook noodzakelijk, dat een fabrikant dit steeds doet.

Om een indruk te geven van de tijdsduur en van de hoogte der verhitting, welke bij de warmtebehandelingen van goud-legeringen worden toegepast, kan het universele voorschrift dienen, dat dienaangaande door het Bureau of Standards wordt gevolgd. Dit Bureau onderzoekt goudlegeringen, waarvan de fabrikant geen voorschrift voor de warmtebehandeling verstrekt, op de volgende wijze. Voor het zachtmaken wordt de legering gedurende 10 minuten op een temperatuur van 700° gehouden en vervolgens snel in water afgekoeld. Voor het verharren worden de legeringen op een temperatuur van 450° gebracht om daarna langzaam, en wel in 30 minuten, te worden afgekoeld tot 250°. Dergelijke warmtebehandelingen zijn kwalijk met behulp van een Bunsenbrander uit te voeren; daarvoor zijn elektrische ovens met goede temperatuurregeling en temperatuur aanwijzing noodzakelijk. Men kan zich in deze behelpen met zogenaamde zoutbaden, maar daaraan is het niet te onderschatten gevaar voor explosie verbonden, wanneer wat water in de gesmolten zoutmassa terecht zou komen.

Tabel XXII geeft een indruk omtrent de samenstelling en enkele mechanische eigenschappen van goud-legeringen bestemd voor verschillende doeleinden.

De samenstelling van de hierbij opgegeven legeringen met een zestal componenten is reeds ingewikkeld genoeg, maar er komen goudlegeringen voor met niet minder dan tien componenten (Ni, Sn, Ir en Cd zijn daarin dan eveneens aanwezig).

Naast de hierboven opgegeven chemische samenstelling van de giet-, plaat- en draadgoud-legeringen volgen in Tabel XXIII de analyses van 18 en 20 karaat soldeergoud.

TABEL XXIII

	Au	Ag	Cu	Zn	Sn
18 karaats	65.0	16.3	13.1	3.9	2.0
20 karaats	72.9	12.1	11.0	3.0	2.0

Een 18 karaat-soldeer betekent niet, dat het soldeeralliage zelf 18-karaat is, maar dat het geschikt is om 18-karaat goud ermee te solderen. Het soldeer is dan zelf van een lager karaat.

§ 7. *Microscopische structuur van goud-legeringen*

Er is een groot verschil in microstructuur tussen een gegoten goud-legering en een koudbewerkte goud-legering (b.v. gewalst plaat- en getrokken draadgoud).

Bij het gieten treedt gedurende het vastworden een krimp op; daarom wordt bij het gieten steeds een verloren kop aangebracht om deze krimp op te vangen en buiten het gietstuk te houden. Niettegenstaande deze voorzorgsmaatregel is het nooit te voorkomen, dat zich in het gegoten materiaal microporiën ontwikkelen. De krimp namelijk, die optreedt bij het vastworden van de laatste hoeveelheid gesmolten metaal rond reeds gevormde kristallieten kan nooit volkomen door het na-



Fig. 52

vloeien van vloeibaar metaal uit de verloren kop worden gecompenseerd. Een gegoten legering vertoont altijd microporiën; fig. 52 toont deze microporiën bij een lege artis gegoten goud-legering.

In verband met dit vormen van microporiën is te wijzen op een verschil in gedrag in deze tussen legeringen met een klein en groot smelttraject. Een goud-zilver-legering, b.v. van de samenstelling 90% Au en 10% Ag, heeft een smelttraject van slechts 6° C — de liquidus- en solidus-lijnen lopen zeer dicht bij elkaar (zie fig. 46 blz. 525) —. Een Au-Pt-legering van de samenstelling 90% Au en 10% Pt heeft een smelttraject van $\pm 130^{\circ}$ C (zie fig. 50 blz. 531). Hoe groter het smelttraject van een legering, hoe groter de mogelijkheid zal zijn, dat door het navloeien van gesmolten metaal uit de verloren kop, het ontstaan van microporiën wordt tegengegaan.

Een andere poreusheid, die bij gegoten legering kan optreden, en

wel bij een onzorgvuldige uitvoering van het gietproces, is toe te schrijven aan het ontwijken van in de gesmolten legering opgeloste gassen. Deze poreusheid geeft ronde gietgallen (zie fig. 53). De microporiën, die men steeds bij gegoten legeringen aantreft, verminderen de mechanische eigenschappen van het materiaal. Dit wordt bij gegoten legeringen eveneens veroorzaakt door in de legering mogelijk aanwezige verontreinigingen, die zich na het gieten interkristallijn afzetten. Het brosse interkristallijne netwerk, dat door de verontreinigingen daarbij in de legering gevormd wordt, beïnvloedt de mechanische eigenschappen nadelig. Door een plastische vervorming na het gieten kunnen de mechanische eigenschappen van een gegoten legering ver-

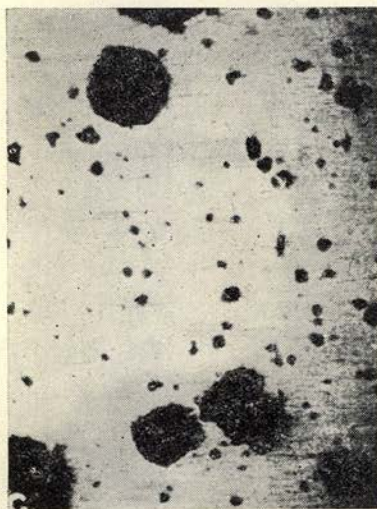


Fig. 53

beterd worden. Dit past men dan ook inderdaad toe bij de vervaardiging van legeringen in de fabrieken; de gegoten goudbaren worden krachtig mechanisch bewerkt met behulp van zware pneumatische hamers, waardoor de microporiën als het ware dichtgesmeed worden en de samenhang van een eventueel aanwezig broos interkristallijn netwerk wordt verbroken.

Een gegoten goud-legering vertoont als regel een korrelachtige kristalstructuur; dendriet-vorming treedt daarbij niet veel op (Deel I Hoofdstuk X, blz. 186). De microstructuur, die door fig. 54 wordt afgebeeld, is een voorbeeld van de korrelachtige kristallieten, zoals die gewoonlijk bij gegoten edelmetaal-legeringen optreden. Fig. 55 toont de dendrietvorming, die door zeer langzame afkoeling bij een veel platina bevattende goud-legering kan worden verkregen. De samenstelling van de legering was Au 66%, Pt 18%, Ag 10%, Cu 5% en Zn 1%.

Een goede indruk van hetgeen er bij het plastisch vervormen van een gegoten legering gebeurt, geven fig. 56 en fig. 57. Deze beide figuren betreffen namelijk resp. de beide gegoten legeringen van fig. 54

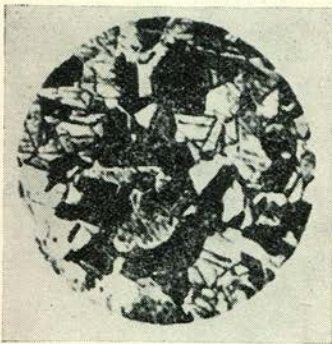


Fig. 54

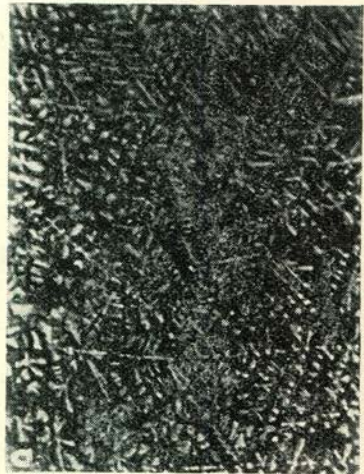


Fig. 55

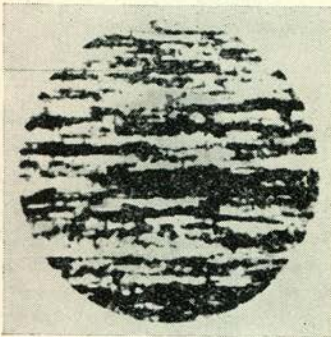


Fig. 56

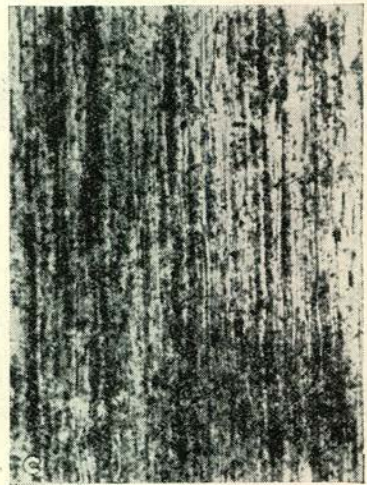


Fig. 57

en fig. 55 na plastische vervorming door het trekken van draad uit deze legeringen. Eenzelfde verschijnsel treedt op, wanneer uit een gegoten legering door walsen plaatgoud gemaakt wordt. De in de walsrichting vezelvormig gedeformeerde kristallieten geven aan het plaatgoud in

de walsrichting andere mechanische eigenschappen, o.a. meer veerkracht dan in een richting loodrecht daarop.

De versterking, die deze sterke plastische vervorming van de kristallieten begeleidt en die het materiaal steviger, veerkrachtiger, harder enz. maakt, zal bij een verhoging van temperatuur verloren gaan. Bij dit spanningvrij gloeien kan, zoals dit in Deel I blz. 97 besproken is, een rekristallisatie optreden. Hierbij gaat dan de vezelstructuur der kristallieten geheel verloren, hetgeen fraai gedemonstreerd wordt door de microfoto van fig. 58. Deze microfoto betreft namelijk dezelfde legering, waarvan fig. 54 de structuur na het gieten, fig. 56 de structuur na het draadtrekken en thans fig. 58 de structuur na een rekristalliserend gloeien aangeeft. De kennis van deze verschijnselen is van praktisch belang.

Getrokken draadgoud immers dankt zijn veerkracht voor een deel aan de versterking als gevolg van de plastische vervorming, die bij

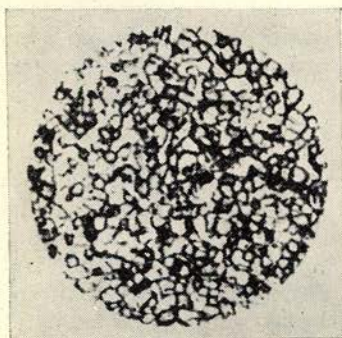


Fig. 58

het trekken van de draad heeft plaatsgehad. Wordt draadgoud bij het solderen gedurende enige tijd op hogere temperatuur gebracht, dan zal het materiaal deze versterking verliezen, terwijl er bovendien rekening mede moet worden gehouden, dat door rekristallisatie een meer korrelachtige kristallietstructuur zal kunnen ontstaan. Het draadgoud verliest dan zijn veerkracht en wordt buigzamer, slapper en zachter. Betreft het echter een goud-legering, die te verharden is — en dit is bij alle draadgoud-legeringen het geval — dan kan het materiaal wederom door een warmtebehandeling tot de gewenste veerkracht en hardheid worden teruggebracht (zij het dan, dat daarbij natuurlijk niet weer de vezelvormige kristallietstructuur optreedt). Roestvrijstaal draad echter, dat zijn veerkracht eveneens voor een groot deel te danken heeft aan de versterking, die bij het draadtrekken aan het materiaal gegeven is, kan na het verlies van deze versterking bij het solderen of anderszins niet meer door een daarop volgende warmtebehandeling in zijn gewenste veerkracht hersteld worden. In dit op-

zicht staat dan ook roestvrij-staaldraad bij gouddraad ten achter als materiaal voor orthodontische apparatuur.

Funest voor een legering is, en dit geldt niet alleen voor edelmetaal-legeringen, een veelvuldige en langdurige verhitting, waarbij door secundaire rekristallisatie kristalvergroving optreedt. Kristalvergroving gaat altijd gepaard met verschuiving van de eigenschappen van de legering in de richting van zijn in mechanisch opzicht minst sterke component. Een eenmaal opgetreden kristalvergroving in een werkstuk is niet meer te herstellen. Bij onverwerkt materiaal bestaat de mogelijkheid het materiaal eerst weer door plastisch vervormen te verstevigen en vervolgens te rekristalliseren, waardoor men dan een kristalverfijning teweeg kan brengen. Bij reeds vervaardigde werkstukken staat deze mogelijkheid natuurlijk niet meer open en daarom moet men bij het solderen, aangieten enz. van een werkstuk het materiaal nooit te lang op hoge temperatuur houden.

Het is een van de opgaven van de fabrikant om een legering zo weinig mogelijk gevoelig voor kristalvergroving te maken. Door het bijleggen van bepaalde componenten in kleine hoeveelheden kan daarop invloed uitgeoefend worden, maar de fabrikanten hangen hun in deze veelal langs empirische weg verkregen kennis niet aan de grote klok.

§ 8. *Het aangieten en solderen*

Bij deze beide bewerkingen wordt er naar gestreefd om een interkristallijn verband tussen het metaal en het soldeer, dan wel het aangegoten metaal, tot stand te brengen. De smeltpunt verlagende componenten van het gesmolten soldeer of het gietmetaal tasten oppervlakkig de kristallieten van het uit de aard der zaak op hogere temperatuur gebrachte metaaloppervlak een weinig aan. Veelal bevat het soldeer of het gietmetaal legeringscomponenten, die ook in het te solderen metaal voorkomen. Dit is bij het solderen en aangieten van edelmetaal-legeringen als regel inderdaad het geval. De kristallieten van het metaaloppervlak vormen kristallisatiekernen, waaruit bij het stollen van het soldeer of het gietmetaal de kristallieten in de nog gesmolten massa uitgroeien. Ook met een diffusie van de metaal-atomen uit de gesmolten massa in het op hogere temperatuur gebrachte metaaloppervlak is bij het solderen en aangieten rekening te houden. Dit bevordert eveneens het ontstaan van een interkristallijn verband. Om deze diffusie te bevorderen en daarmee de hechting steviger te maken, is een goede raad bij het solderen, na het vloeien en vastworden van het soldeer, de temperatuur nog even een weinig onder het smeltpunt van het soldeer te houden. De homogenisering van de soldeernaad wordt daardoor bevorderd.

In dit verband is op te merken, dat het gebruik van een zo hoog mogelijk smeltend soldeer wenselijk is. De hogere temperatuur, die dan bij het solderen moet worden toegepast, bevordert namelijk zowel de diffusie als het homogeniseren in de soldeernaad. De liquidus-lijn van het soldeeralliage moet 50° tot 100° beneden de solidus-lijn van de te solderen legering blijven. Fig. 59 en fig. 60 geven respectievelijk het

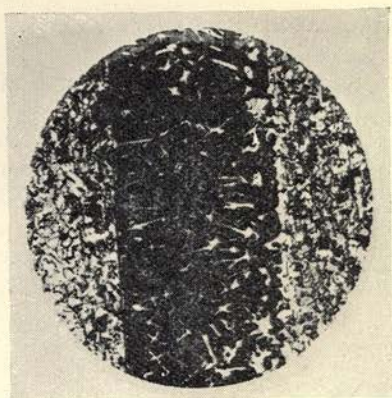
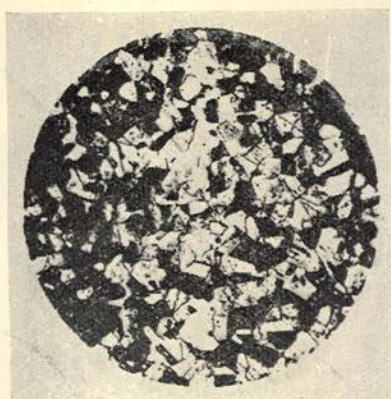


Fig. 59 en fig. 60

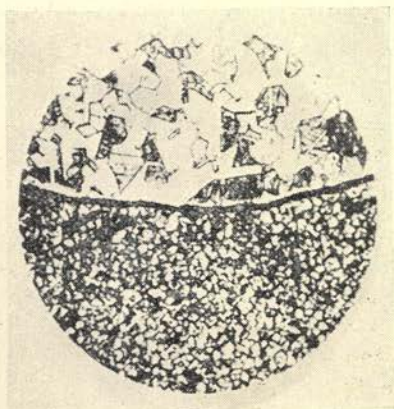
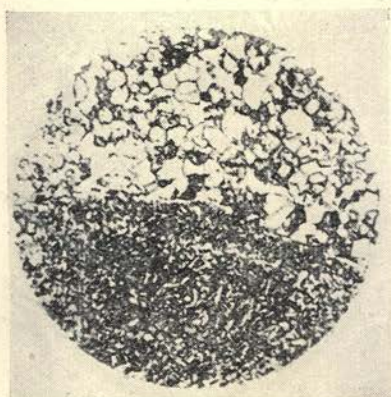


Fig. 61 en fig. 62

beeld van een goed geslaagde en gebrekkige soldering, terwijl de figuren 61 en 62 een goede en een slechte aangieting te zien geven.

Dat een zo zuiver mogelijk oxydevrij metaaloppervlak bij het solderen en bij het aangieten een hoofdvereiste is, behoeft geen nadere toelichting. Het ruwmaken door vijlen of anderszins van het te solderen of aan te gieten metaaloppervlak vergroot dit oppervlak en legt meer kristallieten vrij, hetgeen het ontstaan van een interkristallijn verband ten goede komt. Een zo nauw mogelijk aan elkaar sluiten van de te solderen oppervlakken bevordert door capillaire werking het vloeien van het soldeer naar de gewenste plaatsen. Bovendien zal daardoor de soldeernaad klein zijn. In mechanische eigenschappen staat het soldeer ten achter bij het oorspronkelijke metaal en een zo goed mogelijke homogenisering van het materiaal in de soldeernaad met het oor-

spronkelijke metaal is wenselijk en wordt bij een nauwe soldeernaad beter mogelijk.

Kan bij het solderen door soldeermiddelen als borax de oxydevorming op het metaaloppervlak afdoende bestreden worden, dit is niet het geval bij het aangieten. Bij het aangieten aan een stift bevindt zich het metaaloppervlak daarvan onbeschermd in de inbedmassa en daarop kan zich bij de hoge temperatuur, die bij het aangieten nodig is, gemakkelijk een oxydelaag vormen. Daarom gelukt het aangieten slechts redelijk op materiaal met een hoog edelmetaal-gehalte, waarop zich ook in de warmte minder gemakkelijk een oxydelaag vormt.

§ 9. *Corrosie bij goud-legeringen*

Na hetgeen omtrent corrosie in Deel I besproken is, kan hier met een korte beschouwing worden volstaan. Bij legeringen, die mengkristallen vormen, oefent de edele component een afdoend beschermende werking uit, als deze component in minstens 50 atoom % aanwezig is. Uit dit door T a m m a n vastgestelde feit volgt, dat de mondbestendigheid van een edelmetaal-legering, zoals ook vroeger reeds vermeld is, bij ± 18 karaat begint. Bij hogere temperaturen echter oxyderen ook 18 karaat en hogere legeringen. Door de hoge temperatuur wordt de diffusiesnelheid dusdanig vergroot, dat de onedele componenten, die aan het oppervlak oxyderen, snel vanuit het binnenste der legering naar het oppervlak diffunderen om aldaar eveneens geoxydeerd te worden.

Is een mengkristal niet homogeen, dan komen daarin, ook bij legeringen van 18 karaat en hoger, plaatsen voor met een te hoog percentage aan atomen van de onedele componenten en wordt zowel verkleuring als corrosie in de mond mogelijk. Het is daarom een eis, die vooral aan giet-legeringen gesteld moet worden, dat zij weinig neiging vertonen tot kristalsegregatie.

Een homogeniserende warmtebehandeling na het gieten, vooral van grotere gietstukken als bruggen, is een, alhoewel in ons land weinig toegepaste, goede maatregel. Om de kristalsegregatie bij het gieten tegen te gaan, legeren verschillende fabrikanten ook wat platina bij hun gietgoudalliages voor inlays. Platina immers vermindert, zoals reeds is besproken, de kans op segregatie, omdat dit metaal de vorming van kleine kristallieten bevordert.

Vaak worden in de tandtechniek voor het gieten van inlays goudrestanten gebruikt, afkomstig van vorige gietingen, al of niet gemengd met restanten van plaatgoud enz. Niet alleen, dat dan een legering ontstaat van volkomen onbekende samenstelling, maar de mogelijkheid, dat de gebruikte goudrestanten verontreinigd zijn (b.v. reeds veel koperoxyde bevatten) is niet uit te sluiten. In het gegoten werkstuk zetten deze verontreinigingen zich, zoals besproken, interkristallijn af, hetgeen de mogelijkheid van interkristallijne corrosie opent, ook al zouden de samengesmolten restanten een goudgehalte van 18 karaat of hoger hebben.

§ 10. Zilver-Palladium-legeringen

Het om economische redenen toenemende gebruik van zilver-palladium-legeringen in plaats van goud-legeringen rechtvaardigt een afzonderlijke bespreking van deze legeringen.

Het toestandsdiagram van het binaire stelsel Ag-Pd (fig. 63) leert, dat het hier een legering van het type II betreft.

Zowel zilver als palladium zijn corrosiebestendig in de mond, doch zilver heeft de eigenschap zich in de mond met zwavelverbindingen, afkomstig van enzymatisch ontlede zwavelbevattende eiwitten, zwart te kleuren. Een toevoeging van 25% Pd is reeds voldoende om deze nadelige eigenschap van het zilver te verhelpen. Een zilver-legering met 25% palladium vertoont echter enige minder gewenste eigenschappen. In de eerste plaats is het smeltpunt van een dergelijke legering te

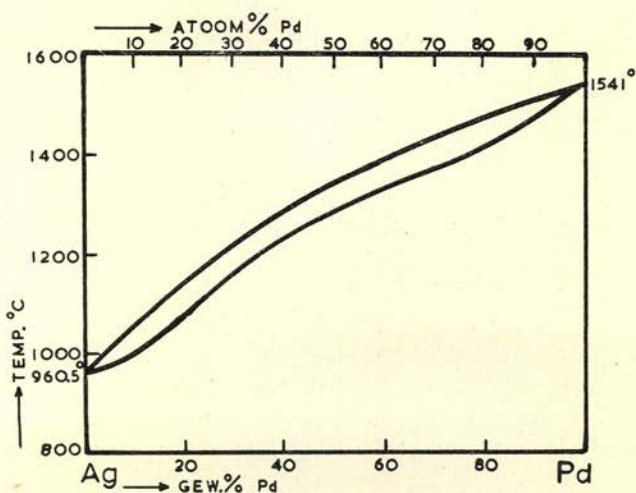


Fig. 63

hoog ($\pm 1200^\circ$), hetgeen het gebruik van met gips gebonden inbedmassa's bij het gieten onmogelijk zou maken. Verder is een zuivere Ag-Pd-legering te zacht en aangezien het hier een legering van het type II betreft, is het materiaal ook niet door een warmtewerking te verharden.

Om de zilver-palladium-legeringen harder te maken, wordt koper toegevoegd. Niet alleen, dat de aanwezigheid van koper in de mengkristallen van Ag-Pd deze kristallen en daarmee de legering harder maakt, de legering wordt er bovendien toegankelijk voor warmtebehandeling door. Met palladium vormt koper intermetallische verbindingen, terwijl koper en zilver, zoals reeds besproken is (zie fig. 49 blz. 597) een legering van het type III vormen. Brengt een te hoog zilvergehalte bij deze legeringen gevaar voor verkleuring met zich en

verhoogt meer palladium het smeltpunt te zeer, wat betreft het kopergehalte is men beperkt door de corrosiebestendigheid. Het is komen vast te staan, dat, wanneer meer dan 10% koper aan een Ag-Pd-legering wordt toegevoegd, de legering niet meer voldoende bestendig wordt tegen corrosie. Met een dergelijk laag koperpercentage echter is de legering nog niet voldoende hard gemaakt om voor verschillende doeleinden in de tandheelkunde als giet- of als plastisch te verwerken metaal te kunnen worden gebruikt.

Dit legeringstype bevindt zich wat zijn juiste samenstelling en eigenschappen betreft nog in een ontwikkelingsstadium. De verschillende fabrikanten trachten door toevoeging van andere legeringscomponenten de eigenschappen te verbeteren. Van deze elementen worden zink en cobalt in wat grotere percentages bijgeleegd, terwijl men daarnaast in de literatuur de volgende reeks van elementen vindt vermeld, die in kleinere hoeveelheden worden toegevoegd: nikkel, ijzer, chroom, mangaan, tin, cadmium, aluminium, magnesium, tantalium en fosfor. In de lengte van deze reeks zou men een bewijs kunnen zien, dat men hier nog aan het zoeken is.

Men heeft om zilver-palladium-legeringen harder te maken nog een andere weg ingeslagen, waarbij het mogelijk is meer dan 10% onedele componenten toe te voegen zonder dat daarbij de corrosiebestendigheid in gevaar gebracht wordt. Dit bereikt men dan door het toevoegen van goud aan de legering. Niet alleen dat het goud door zijn sterk edele karakter in staat stelt meer dan 10% koper en andere onedele metalen te gebruiken, maar bovendien brengt de aanwezigheid van goud het voordeel met zich, dat de gesmolten legering dunner vloeibaar wordt, hetgeen van belang is bij het gieten. Als voorbeeld van de samenstelling ener goudbevattende zilver-palladium-legering kan de volgende analyse dienen: Au 15%, Ag 45%, Pd 24%, Cu 15%, Zn 1%. Naast dit nog betrekkelijk weinig goud bevattend legeringstype hebben zich ook zilver-palladium-legeringen met meer goud ontwikkeld. Ten koste van het zilverpercentage komen daarbij goudgehalten van $\pm 50\%$ voor.

De bestendigheid van de goudbevattende zilver-palladium-legeringen tegen verkleuring en corrosie doet, indien zij op de juiste wijze worden behandeld, niet onder voor die van goud-legeringen. Dit is eveneens het geval met de mechanische eigenschappen zowel als met de gevoeligheid voor warmtebehandeling. Deze zilver-palladium-legeringen worden tegenwoordig aan de tandheelkunde geleverd zowel in de vorm van draad- of plaat-materiaal als wel als giet-legeringen voor inlays en voor het gieten van prothesen, klammers enz.

De verwerking van zilver-palladium-legeringen is moeilijker en daarnaast meer toegankelijk voor het maken van fouten dan de verwerking van goudalliages. Aangezien er grote verschillen bestaan tussen de producten afkomstig van verschillende firma's is het noodzakelijk het verwerkingsvoorschrift, dat een fabrikant voor zijn product opgeeft, nauwkeurig op te volgen.

De zilver-palladium-legeringen hebben een smeltpunt, dat 100° à

200° boven het smeltpunt van goud-legeringen ligt. Vanwege het hogere smeltpunt ($\pm 1000^\circ$) moet bij een hogere temperatuur gegoten worden, hetgeen het gevaar met zich brengt, dat het bindmiddel van de gebruikelijke inbedmassa's, het gips, onder vorming van sulfiden ontleedt. Palladium en zilver zijn beide bij hoge temperatuur en in gesmolten toestand zeer gevoelig voor sulfiden. De daarbij zich vormende metaalsulfiden lossen in het gesmolten metaal op en zetten zich langs de kristallietgrenzen af met als gevolg gevaar voor interkristallijne corrosie. Bovendien verminderen de langs de kristallietgrenzen zich afzettende sulfiden in sterke mate de cohesieve krachten tussen de kristallieten. Dit maakt de legering vooral in de warmte bros.

De mengkristallen in de zilver-palladium-legeringen vertonen het verschijnsel der kristalsegregatie in sterkere mate dan de goud-legeringen. Het is daarom gewenst de gietstukken te homogeniseren, hetgeen men in de practijk reeds op een vrij eenvoudige wijze kan benaderen door na het gieten langzaam af te koelen.

Van het zilver en het palladium is reeds vroeger vermeld, dat deze beide metalen de eigenschappen hebben om in gesmolten toestand gasen op te lossen. Bij het afkoelen ontwijken deze gasen weer en kunnen daardoor aanleiding geven tot poreusheid van de gietstukken. Deze eigenschap noodzaakt tot voorzichtigheid bij het smelten van deze legering voor het gieten. Aangezien zilver-palladium-legeringen dikvloeibaarder zijn dan goudalliages is men bij het gieten tot een oververhitting van het materiaal geneigd. Het dikvloeibaarder zijn van de gesmolten legering maakt het gebruik van dikkere gietkanalen dan bij het gieten van goudalliages noodzakelijk.

Zowel zilver als palladium zijn niet geheel onaantastbaar voor zuren; zilver b.v. lost in salpeterzuur op. Bij het reinigen van werkstukken door uitkoken in zuur moet men daarom bij dit materiaal voorzichtig zijn. De beste handelwijze in deze is een werkstuk eerst zo goed mogelijk door afkrabben of anderszins mechanisch te reinigen en vervolgens kort in een 10% zuivere zwavelzuuroplossing te verhitten.

Zilver-palladium-legeringen laten zich met goudsoldeersoorten solderen, doch daaraan is het bezwaar verbonden, dat het soldeer niet dezelfde kleur heeft als de legering. De voor deze legering aan de markt zijnde speciale soldeersoorten op Ag-Pd-basis zijn lastiger te behandelen dan goudsoldeer. Zij hebben een groot smelttraject, zodat men bij het uit de hand solderen de werkstukken na het vloeien van het soldeer iets langer in de juiste positie moet houden, dan men bij het solderen van goud gewend is.

Ag-Pd-legeringen hebben de neiging tot het vormen van grote inhomogene kristallen en dit treedt in het bijzonder bij soldeer op Ag-Pd-basis naar voren. Fig. 64 geeft hiervan een sprekend voorbeeld. Door de inhomogene samenstelling is daarom de soldeernaad bijzonder gevoelig voor corrosie, zodat een homogeen gloeien na het solderen bij deze legering gewenst is.

Was voor een goede twintig jaar het goud nog het allesoverheersende metaal bij de in de tandheelkunde toegepaste legeringen, de grote

voortgang in de kennis der metalen heeft zich reeds doen gelden in de uitgebreide toepassing van andere legeringen in de tandheelkunde.

Bij de verdere ontwikkeling der metaalkunde, die zich evenals de ontwikkeling der kunststoffen buiten de tandheelkunde om voltrekt, zullen ongetwijfeld in de toekomst nog andere legeringssoorten zich

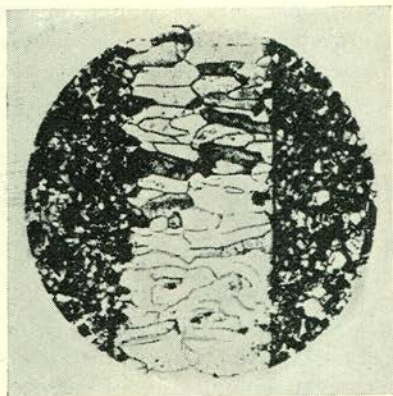


Fig. 64

voor tandheelkundig gebruik komen aanmelden. Zo is er, om eens een voorbeeld te noemen, reeds gewezen op het metaal indium en zijn legeringen. Dit metaal is vrij recent met een redelijk lage prijs voor technische toepassing beschikbaar gekomen. Het indium heeft namelijk eigenschappen, die een toepassing als basismetaleel voor tandheelkundige legeringen doen verwachten.

De ruimere kennis der materialen, die bij de nieuwe tandheelkundige opleiding wordt meegegeven, zal er mede toe hebben bij te dragen in de tandheelkunde spoediger begrip en een juiste beoordeling van nieuwe materiaalsoorten tot stand te brengen.

(Wordt vervolgd)