

Tandheelkundige Materiaalkennis

door *J. N. Tekenbroek*

(*Vervolg Hoofdstuk VII*)

§ 5. *Legeringselementen*

Het ongelegeerde koolstof-staal moet bij het verharden, zoals hierboven is besproken, met grote snelheid afgekoeld worden. Het heeft een grote kritische koelsnelheid. Men heeft echter verschillende elementen leren kennen, die, wanneer zij reeds in betrekkelijk kleine hoeveelheden bij het staal gelegeerd worden, de oorzaak zijn, dat de snelheid, waarmede het austeniet zich omzet, veel kleiner wordt. Zij verminderen door hun aanwezigheid de kritische koelsnelheid van het staal. Men kan dan langzamer afkoelen bij het verharden en in plaats van water b.v. olie gebruiken om af te schrikken. Bij sommige van deze gelegeerde staalsoorten is het zelfs mogelijk bij het verharden aan de lucht te laten afkoelen. De onmiddellijke voordelen van deze langzame afkoeling zijn, dat de kans op zwakke plekken in het materiaal geringer wordt, een betere en meer gelijkmatige doorharding mogelijk wordt en minder ongewenste inwendige spanningen in het materiaal optreden.

De metalen, die in kleine hoeveelheden bij het staal gelegeerd worden om de eigenschappen ervan te verbeteren, vallen uiteen in twee groepen. De ene groep is isomorph met γ ijzer, d.w.z. dat zij eveneens een in de zijvlakken gecentreerde kubus als elementaircel hebben. Deze elementen hebben evenals γ ijzer de eigenschap met koolstof carbiden te kunnen vormen. Tot deze groep behoren o.a. chroom en molybdeen, welke beide elementen b.v. in de staalsoorten kunnen voorkomen, waarmede tandheelkundige instrumenten vervaardigd worden. De andere groep legeringselementen is isomorph met α ijzer en vormt geen carbiden. Tot deze groep behoren o.a. nikkel en mangaan (mangaan staat feitelijk tussen de twee groepen in).

Alhoewel beide groepen een uiteenlopende invloed op het ijzer-koolstofdiagram hebben, komen zij wat hun aanwezigheid betreft overeen door het feit, dat zij het gemakkelijker maken om bij kamertemperatuur de hardere structuren tot stand te brengen. Grotere hoeveelheden nikkel maken zelfs de austeniet-vorm bij kamertemperatuur stabiel. Bovendien hebben de legeringselementen met elkaar gemeen, dat zij de mechanische eigenschappen van het staal, de trekvastheid, de elasticiteit en de hardheid verhogen.

Ter oriëntering omtrent de samenstelling van staalsoorten, waaruit tandheelkundige instrumenten vervaardigd worden, geeft Tabel XV de percentages van legeringscomponenten aan van twee staalsoorten, waaruit resp. handinstrumenten en extractietangen worden vervaardigd. Bij extractietangen wordt een grotere taaierheid en mindere bros-

TABEL XV

handinstrumenten		extractietangen	
koolstof	1.1—1.2%	koolstof	0.4—0.5%
chroom	0.2—0.3%	chroom	0.4—0.5%
mangaan	0.2—0.3%	mangaan	2.0—2.3%
silicium	0.4%	silicium	0.1—0.2%
nikkel	sporen	molybdeen	0.5%

heid van het staal verlangd en in overeenstemming daarmee is het daarvoor gebruikte staal een onder-perlietische staalsoort, terwijl het bij de handinstrumenten als glazuurmessen, excavatoren enz., waarbij de hardheid meer op de voorgrond staat, een boven-perlietische staalsoort betreft.

§ 6. Roestvrij-staal

Waar vele tandheekkundige instrumenten tegenwoordig uit roestvrij-staal worden vervaardigd, is, alvorens een mogelijk door de tandarts zelf uit te voeren warmtebehandeling van zijn instrumenten nader te bezien, een bespreking vooraf van het roestvrij-staal wenselijk.

Het roestvrij-staal dankt zijn corrosiebestendigheid aan de aanwezigheid van chroom als legeringscomponent. Bij de bespreking van de corrosie in Hoofdstuk XII van Deel I is het gedrag van chroom uitvoerig besproken. Vast is komen te staan, dat, als in een ijzerlegering meer dan 12% chroom aanwezig is, het chroom zijn corrosiebestendige eigenschappen aan de legering overdraagt. De oxydehuid, die zich op een dergelijke legering vormt, bestaat dan geheel uit chroomoxyde.

Er worden in de tandheekkunde twee soorten roestvrij-staal gebruikt, namelijk het roestvrij-staal, waaruit instrumenten vervaardigd worden en het roestvrij-staal, dat gebruikt wordt voor het maken van prothesen, orthodontische apparaten enz. Voor het eerste doel wordt een chroomstaal (12 tot 18% Cr) gebruikt, voor het tweede een chroom-nikkelstaal (18% Cr + 8% Ni).

Roestvrij-chroomstaal. Chroom heeft evenals ijzer de eigenschap met koolstof zowel vaste oplossingen als verbindingen, chroomcarbiden, te vormen. Het oefent daardoor in het staal een invloed uit op de carbidevorming. In het austenietgebied bevinden zich bij roestvrij-chroomstaal in de vaste oplossing naast elkaar ijzer, chroom en koolstof. Bij afkoeling van chroomstaal scheiden zich uit de vaste oplossing naast het ijzercarbide (cementiet) ook chroomcarbiden af. Bekend zijn o.a. de verbindingen Cr_4C en Cr_7C . Deze chroomcarbiden kristalliseren minder snel dan het cementiet, terwijl zij eenmaal gevormd zijnde ook moeilijker weer in oplossing gaan. Dit laatste is de oorzaak, dat bij verhitting boven zijn kritische temperatuur roestvrij-chroomstaal langzamer in de austenietvorm overgaat. Het in de kristallen der vaste oplossing, de austeniet-kristallen, aanwezige chroom vertraagt namelijk de diffusiesnelheid in de kristallen en het gevolg daarvan is, dat het austeniet niet zo snel uiteenvalt als de kritische temperatuur bij afkoeling wordt ge-

passeerd. Door het betrekkelijk grote chroompercentage (12 tot 18%) treedt deze vermindering van de diffusie-snelheid bij roestvrij-chroomstaal nog meer op de voorgrond dan bij het slechts met weinig chroom gelegeerde koolstofstaal. Om deze reden kan roestvrij-chroomstaal bij het verharden in plaats van in water in olie afgeschrikt worden. Ook zal deze staalsoort minder snel ontharden bij temperatuurverhoging, omdat de gevormde carbiden minder snel weer in de vaste oplossing overgaan. Roestvrij-staal is dan ook beter tegen een onthardende warmtewerking bestand dan koolstofstaal.

Toch kan ook deze staalsoort door temperatuurverhoging zacht gemaakt worden, zij het dat daarvoor een iets hogere en wat langere verhitting nodig is. Er vormen zich dan evenals bij het gewone staal de zachtere meer stabiele structuren. Dit gaat echter bij roestvrij-chroomstaal gepaard met verdere afzetting van chroomcarbiden uit de austeniet-kristallen. Onder invloed van de warmtewerking zullen deze kristallieten zich evenals het ferriet, cementiet en perliet tot grotere, meer afzonderlijk liggende kristalstructuren verenigen. Door de plaatselijk hogere concentraties van het chroom en de chemische binding van dit element in de carbiden verminderen de roestvrije eigenschappen van het materiaal. Deze herstellen zich echter bij een daarop volgend verhardingsproces. Tabel XVI geeft de samenstelling van enige chroomstaalsoorten, die gebruikt worden voor het vervaardigen van roestvrije instrumenten, messen, scharen enz.

TABEL XVI

C %	Si %	Mn %	Cr %	Fe %
0.8—1.0	0.40	0.40	17—18	± 81
0.4—0.5	0.40	0.80	14—15	± 84
1.5—2.0	0.25	0.50	12—13	± 84

Roestvrij-chroom-nikkel-staal. De ternaire ijzer-chroom-nikkellegeringen vormen naar gelang van het percentage, waarin de componenten aanwezig zijn, een reeks van legeringen met zeer uiteenlopende eigenschappen, die in de techniek voor verschillende doeleinden worden gebruikt. Onder deze legeringen is die, welke 73% Fe, 18% Cr, 8% Ni, 0.1 à 0.2% C en geringe percentages van enige andere elementen als tungsteen, titaan en vanadium bevat, een tegen vele agentia zeer bestendige staalsoort, die daarom en tevens vanwege zijn goede mechanische eigenschappen een uitgebreide toepassing o.a. in de chemische industrie gevonden heeft. Het is dit roestvrije-chroom-nikkel-staal, dat in de tandheelkunde gebruikt wordt voor prothesen, orthodontische apparaten, enz. Deze staalsoort wordt als regel aangeduid als 18-8 roestvrij-staal, waarmede aangegeven wordt, dat de legering 18% chroom en 8% nikkel bevat. Het Wipla-staal (welke naam is afgeleid van „Wie Platina”) van de Firma Krupp is er een specimen van.

In tegenstelling met chroom vormt nikkel met koolstof geen stabiele

carbiden. Door de toevoeging van nikkel aan koolstofstaal wijzigt zich het ijzer-koolstofdiagram in die zin, dat het gebied der vaste oplossing, het austenietgebied, naar lagere temperatuurgebieden uitgebreid wordt. Bij zeer grote nikkel-toevoegingen (20 à 30%) is dit zelfs in dusdanige mate het geval, dat het austeniet bij kamertemperatuur de stabiele evenwichtstoestand is. De kritische temperatuur van het staal wordt door deze uitbreiding van het austeniet-gebied naar lagere temperatuur dus mede verlaagd. Daar bovendien door de aanwezigheid van veel chroom (18%) en veel nikkel (8%) de diffusie in de austeniet-kristallen bij deze legering zeer sterk verminderd wordt, zetten de austeniet-kristallen zich hier nog langzamer om dan bij het zo juist besproken roestvrij chroomstaal. Beide factoren dragen er toe bij, dat, als deze legering vanuit het austeniet-gebied afgekoeld wordt, de austeniet-kristallen niet uiteen vallen en de legering bij kamertemperatuur practisch de austeniet-vorm behoudt.

Uit de opgegeven samenstelling blijkt, dat het 18-8 roestvrij-staal slechts een gering koolstofgehalte heeft (0.1 à 0.2%). Dit staat o.a. in verband met het hoge chroomgehalte, waardoor zich bij een hoog koolstofgehalte te gemakkelijk chroomcarbiden zouden kunnen vormen. Aan het uitkristalliseren van chroomcarbiden zijn namelijk nadelen verbonden. Deze carbiden zetten zich bij hun vorming uit de austeniet-kristallen langs de kristalliet-grenzen van het austeniet af. Chroomcarbiden zijn niet zoals het chroom zelf corrosiebestendig en bij hun aanwezigheid langs de kristalliet-grenzen kan dan intergranulaire corrosie optreden met als gevolg, dat het metaaloppervlak desintegreert.

Niettegenstaande dit lage koolstofgehalte kunnen door een langere verhitting op hogere temperatuur bij het 18-8 staal zich toch chroomcarbiden afzetten. Om dit nog zo veel mogelijk tegen te gaan, zijn aan de legering kleine hoeveelheden van elementen toegevoegd, die de eigenschap hebben de vorming van het chroomcarbide tegen te gaan. Dit is de verklaring van de kleine hoeveelheden tungsteen, titaan en vanadium, die men bij de bovenvermelde samenstelling van 18-8 staal opgegeven vindt.

Het 18-8 roestvrij-staal is niet, zoals koolstofstaal of het zo juist besproken roestvrij-chroomstaal door warmtewerking weer te verharden. Dit laat zich inzien, aangezien, zoals opgemerkt, de legering bij kamertemperatuur reeds practisch een austeniet-structuur heeft. De enige wijze, waarop het 18-8 staal zich nog enigszins harden laat, is het koud bewerken van het materiaal. Dit vindt dan ook toepassing in het koudtrekken van roestvrij staaldraad, waardoor het veerkrachtiger en harder wordt.

Alhoewel deze staalsoort door de geringe diffusiesnelheid in de kristalieten vrij behoorlijk tegen warmtewerking bestendig is, brengt een wat langere verhitting op hogere temperatuur gevaren voor de goede eigenschappen met zich. In de eerste plaats verliest het metaal dan zijn door versteviging verkregen meerdere hardheid, maar daarnaast kunnen zich onder invloed van de hogere temperatuur toch car-

biden intergranulair afscheiden, terwijl bovendien door secundaire rekristallisatie kristalvergroving met de nadelige gevolgen van dien optreedt. Dit maant tot voorzichtigheid bij het solderen en lassen van dit roestvrij staal. Als dit materiaal eenmaal door de zo juist geschetste oorzaken aanzienlijk aan goede eigenschappen ingeboet heeft, is dit niet meer, zoals bij de andere staalsoorten, door een daarop volgende warmtebehandeling weer te herstellen. Ter illustrering van de vermindering der mechanische eigenschappen van het 18-8 roestvrij-staal door warmtewerking dient de grafiek van fig. 45.

De trekvastheid werd bepaald van 18-8 roestvrij staaldraad, dat gedurende 15 minuten op verschillende temperaturen was gehouden en daarop in water was afgeschrikt. Boven de 700° verhit, blijkt het

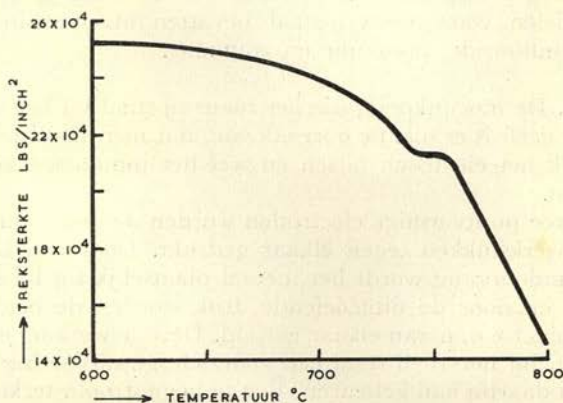


Fig. 45

materiaal sterk achteruit te gaan. Een langere verhitting op lagere temperatuur zal eveneens dezelfde gevolgen hebben.

Solderen. Bij het solderen van roestvrij-staal, hetgeen in de tandtechniek uitsluitend bij het 18-8 staal wordt uitgevoerd, b.v. voor het aanbrengen van extensies aan prothesen of veertjes aan orthodontische beugels, moet zo plaatselijk en zo snel mogelijk verhit worden. Iedere verhitting op wat hogere temperatuur benadeelt onvermijdelijk het materiaal. Zowel soldeer- als lasplaatsen en hun onmiddellijke omgeving worden plaatsens met minder goede mechanische eigenschappen in het materiaal.

Voor het solderen van roestvrij-staal moet om begrijpelijke redenen een niet te hoog smeltend soldeer gebruikt worden. Goudsoldeer, ook van laag koraat, heeft zich voor het solderen van dit materiaal minder geschikt getoond; het heeft een te hoog smeltpunt en vloeit bovendien slecht, hetgeen aanleiding geeft om bij het solderen hoger en langduriger te verhitten dan voor het 18-8 roestvrij-staal goed is. De structuur-

wijzigingen, die als gevolg van een te lange en te hoge verhitting in dit materiaal optreden, zijn niet door een daarop volgende warmtebehandeling te herstellen, zoals dat bij het solderen van goud wel het geval is (dit komt bij de behandeling van het goud later nog ter sprake). Lager smeltende soldeersoorten, veelal op zilverbasis, lenen zich beter voor het solderen van dit materiaal. In de handel zijn speciale soldeersoorten voor dit roestvrije staal verkrijgbaar. Lager smeltend soldeer heeft een langer smelt- en stollingstraject dan het bij hogere temperatuur smeltende goudsoldeer. Men moet daarom bij het solderen van roestvrijstaal uit de vrije hand de beide werkstukken, nadat het soldeer gevloeid heeft, wat langer in de juiste positie houden dan men bij het solderen van goud gewend is te doen.

Als soldeermiddel voldoet borax bij het 18-8 staal niet; het smelt o.a. bij een te hoge temperatuur. De in de handel verkrijgbare speciale soldeermiddelen voor roestvrijstaal bevatten als basis-ingrediënten veelal kaliumfluoride, boorzuur en zoutzuur.

Het lassen. De moeilijkheid, die het roestvrijstaal bij het solderen te overwinnen geeft is er o.a. de oorzaak van, dat met dit materiaal in de tandtechniek het electrisch lassen en wel het puntlassen zijn intrede heeft gedaan.

Tussen twee puntvormige electroden worden de beide aan elkaar te bevestigen werkstukken tegen elkaar gedrukt. Door een korte maar sterke stroomdoorgang wordt het metaal plaatselijk tot bij zijn smeltpunt verhit en door de uitgeoefende druk worden de beide stukken metaal ter plaatse dan aan elkaar geweld. Deze bewerking eist evenals het solderen, bij het 18-8 staal een voorzichtige uitvoering en begrip van hetgeen daarbij kan gebeuren. Een te hoge stroomsterkte of een te langdurige stroomdoorgang kan het materiaal plaatselijk doen smelten met als gevolg, dat er een gat in gebrand wordt. Maar ook al komt het niet zo ver, dan kan door een te hoge temperatuur het materiaal zich bij de lasplaats of in de directe omgeving daarvan in ongunstige zin wijzigen.

De in de tandtechniek gebruikte lasapparaten werken met een stroom van lage spanning (2 à 8 Volt) en vrij hoog amperage (700 à 1000 Ampère). Hoe groter de stroomsterkte en hoe langer de tijd van stroomdoorgang des te hoger zal de temperatuur van de lasplaats worden. De grootte van de druk, waarmede de metaalstukken gedurende het lassen tegen elkaar gehouden worden, bepaalt voor een deel de weerstand ter plaatse en daarmede de hoeveelheid warmte, die bij stroomdoorgang op de lasplaats wordt ontwikkeld. Men heeft kunnen vaststellen, dat de tijd gedurende welke de stroom mag doorgaan ligt bij één à twee perioden van de gebruikelijke wisselstroom met 50 perioden. Deze tijd bedraagt dus $1/50$ à $1/25$ seconde. De automatisch werkende stroomonderbrekers voor een dergelijke korte periode zijn vrij kostbaar, zodat in de tandtechniek bijna uitsluitend lasapparaten gebruikt worden, waarbij de stroomonderbreker manueel en ook wel met de voeten moet worden bediend. Hieraan is het niet geringe bezwaar verbonden, dat het lassen

met deze apparaten meer ervaring eist dan men als regel meent. Frequenter dan nodig laten, ten ongerieve van de tandarts, aangelaste veertjes, bandjes enz. los of blijkt het materiaal plaatselijk te veel aan goede eigenschappen te hebben ingeboet. De onervarenheid van de laser draagt daarvan de schuld.

§ 7. Warmtebehandeling van instrumenten

De instrumenten worden afgeleverd in de juiste geharde en getemperde conditie, in overeenstemming met het doel, waarvoor een instrument gebruikt wordt. Hetgeen besproken is omtrent de samenstelling, structuur en eigenschappen van staal maakt het begrijpelijk, dat men er niet al te lichtvaardig toe moet overgaan zelf warmtebehandeling op de meestal kostbare instrumenten toe te passen. Alhoewel het op de juiste wijze leren zorgdragen voor het instrumentarium, het slijpen, het eventueel vervormen, het droog, nat of chemisch steriliseren, enz. een onderdeel van het klinische onderwijs is, zullen volledigheidshalve tot besluit van dit hoofdstuk in het kort enige opmerkingen gemaakt worden, die in verband staan met de zorg voor het instrumentarium.

Instrumenten, waarvoor een behoorlijke hardheid van het staal een dwingende eis is, zoals b.v. bij excavatoren, glazuurmessen, boren, vijlen, vele chirurgische instrumenten enz. mogen nooit met een vlam in aanraking gebracht worden. Hebben dergelijke instrumenten hun juiste hardheid door onopzettelijk foutieve behandeling of anderszins verloren of wil men een instrument voor een bijzondere toepassing vervormen, dan is men genoodzaakt zelf daarop warmtebehandeling toe te passen. Men zal er echter niet in kunnen slagen het instrument weer volkomen zijn oude conditie terug te geven. De fabrikanten staan hiertoe speciale ovens en ervaren vakmensen ten dienste, terwijl de tandarts voor het uitvoeren van warmtebehandelingen als het zachtmaken, normaliseren, harden en temperen zich zal moeten behelpen met zijn Bunsenbrander.

De vlam van de Bunsenbrander is warm genoeg om alle voor de warmtebehandeling van staal vereiste temperaturen te kunnen bereiken (reductie-zone 1500° , neutrale zone 1800° en oxydatie-zone 1700°).

Indien het werkzame deel van een instrument in of boven de vlam van een Bunsenbrander wordt verhit, dan geeft de kleur van het licht, dat het tot gloeien gebrachte metaal uitzendt, een aanwijzing omtrent de hoogte der temperatuur. Tabel XVII geeft het verband aan tussen

TABEL XVII

kleur bij het gloeien	temperatuur (graden C.)
begin van roodworden	475
zwak rood.	550—625
kersrood	700
lichtrood	800
oranje	900
donkergeel	950—1000
lichtgeel	1050
wit	1150

deze kleur en de temperatuur. Opgemerkt wordt, dat de kleur tegen een donkere achtergrond en in gedempt daglicht moet worden beoordeeld.

Voor het vaststellen van de lagere temperaturen, die bij het temperen toegepast worden, dienen de aanloopkleuren, die het metaal bij verhitting boven de vlam vertoont. Er vormt zich een oxydelaag op het metaaloppervlak, waarvan de dikte met het stijgen der temperatuur toeneemt en dit heeft tot gevolg, dat de kleur van het metaaloppervlak zich wijzigt. De aanloopkleuren kan men het beste in vol daglicht (equi-energiespectrum) beoordelen.

TABEL XVIII

aanloopkleur	temperatuur (graden C.)
strogeel	± 200
bruin	240
purper	380
blauw	320

Het is voor het zelf kunnen uitvoeren van een warmtebehandeling noodzakelijk, dat men georiënteerd is omtrent de aard van het staal, waaruit het desbetreffende instrument vervaardigd is, aangezien dit bij de verschillende warmtebehandelingen de hoogte der temperatuur bepaalt, waarop het staal verhit moet worden en de wijze van de daarop volgende afkoeling.

Betreft het een weinig gelegerd koolstofstaal van een samenstelling, ongeveer als in Tabel XVI is opgegeven, dan moet, om het werkende deel van het instrument te kunnen vervormen, slijpen of polijsten, dit gedeelte eerst zacht gemaakt worden. Daartoe wordt het betreffende gedeelte van het instrument in de vlam van een Bunsenbrander tot lichtrood gloeiend verhit en vervolgens langzaam afgekoeld. Dit laatste kan men bereiken door het instrument gedurende enige tijd boven de Bunsenbrander te houden dan wel door het in voorverwarmd zand of asbestpoeder te steken. Na het plastisch vervormen, slijpen en afpolijsten moet het staal genormaliseerd worden. Dit geschiedt door het tot oranje gloeiend in de vlam te verhitten en in water af te schrikken. Dan volgt de verharding, waartoe het werkende deel van het instrument tot lichtrood gloeiend verhit wordt om vervolgens wederom in water te worden afgeschrikt. Het temperen, dat dan ten slotte aan de beurt is, loopt bij de verschillende instrumenten uiteen. Bij excavatoren, glazuurmessen, tandsteeninstrumenten, snij-instrumenten enz. laat men het metaal tot geel aanlopen, bij amalgaamstoppers, plastische instrumenten enz., die een geringere hardheid maar grotere taaiheid moeten bezitten, wordt hoger verhit bij het aanlaten en wel tot een bruine aanloopkleur. Zodra het metaal de vereiste aanloopkleur vertoont, wordt het instrument in water afgekoeld. Het temperen laat zich het beste uitvoeren door het instrument bij de overgang van de steel naar het werkende deel met een tang vast te grijpen en het steelgedeelte direct naast de tang boven de Bunsenbrander te verwar-

men. Door geleiding zal de warmte uit het dikkere gedeelte van het instrument het te temperen gedeelte bereiken en op de gewenste temperatuur brengen. Een gedeelte van de warmte zal door de tang worden afgevoerd en men heeft daarin een middel om de temperatuur enigszins te regelen. Zodra het te temperen deel de gewenste aanloopkleur vertoont, wordt in water afgekoeld.

Dat roestvrij-stalen instrumenten moeilijker thermisch te behandelen zijn, is, na hetgeen in het voorafgaande omtrent het roestvrij-staal besproken is, begrijpelijk. Het chroom vertraagt de snelheid, waarmede de kristallietsoorten in elkaar overgaan, aanzienlijk en op deze overgang berust de warmtebehandeling van staal (het betreft bij instrumenten geen 18-8 staal, maar chroomstaal met 12 à 18% chroom).

Roestvrij-staal moet voor het zachtgloeien tot een iets hogere temperatuur worden verhit dan ongelegeerd koolstofstaal en wel tot lichtgeel gloeiend in plaats van tot lichtrood, waarbij het bovendien iets langer op die temperatuur moet worden gehouden. De afkoeling kan bij roestvrij-staal aan de lucht geschieden. Voor het normaliseren wordt roestvrij-staal tot geelgloeiend verhit en voor het harden tussen geel en lichtgeel. Na beide warmtebehandelingen moet het in water worden afgeschrikt.

Bij het temperen, dat om begrijpelijke redenen bij roestvrij-staal nooit zo effectief kan zijn, moet ook iets langer en hoger verhit worden. Aangezien bij roestvrij-staal de oxyden zich langzamer vormen, betekent eenzelfde aanloopkleur bij roestvrij staal reeds een hogere temperatuur dan bij koolstofstaal. Bij het temperen van roestvrij-staal laat men het dikkere gedeelte van het instrument, dat men boven de vlam verhit, tot blauw aanlopen. De warmtegeleiding zorgt er dan voor, dat het te temperen blad van het instrument de gewenste temperatuur bereikt.

De hier in het kort beschreven warmtebehandelingen eisen voor hun uitvoering ervaring en er zij nogmaals op gewezen, dat men er niet lichtvaardig toe moet overgaan. Als regel wordt niet meer die hardheid bereikt, die het instrument oorspronkelijk had. Sommige roestvrij-stalen instrumenten b.v. danken in de toestand, waarin zij door de fabrikant afgeleverd worden, een deel van hun hardheid aan de versterking, die men bij hun vervaardiging door koude bewerking (smeden) er mede aan heeft kunnen geven. Een dergelijke bijdrage aan de hardheid, die bij warmtebehandelingen door relaxatie verloren gaat, kan men er zelf nooit meer aan teruggeven.

Bij het polijsten van roestvrij-stalen instrumenten moet men alvorens een eventuele warmtebehandeling toe te passen, nooit ijzerbevattende polijstmiddelen, b.v. rouge, gebruiken. Achtergebleven ijzerbevattende deeltjes van dergelijke polijstmiddelen kunnen zich bij de warmtebehandeling aan het oppervlak met het staal legeren, hetgeen een vermindering van de corrosiebestendigheid van het oppervlak veroorzaakt. Voor het polijsten van roestvrij-staal wordt veelal chroomoxyde gebruikt. Om dezelfde redenen moet roestvrij-staal niet met ijzeren boren bewerkt worden, maar waar nodig met carborundumsteen geslepen worden.

Het zachtmaken van staal en het temperen geschiedt bij temperaturen, die hoger zijn dan de temperatuur, die de instrumenten bij het droog of nat steriliseren hebben te doorstaan. Maar ook bij de sterilisatietemperatuur en te meer omdat de instrumenten gedurende een vrij lange tijd op die temperatuur worden gehouden, treedt reeds door omkristallisatie en kristalvergroving een overgang naar zachtere structuren op. Deze ontharding is bovendien cumulatief, iedere sterilisatie brengt het staal verder op de weg naar minder harde structuren. Stalen instrumenten worden dan ook door het voortdurend steriliseren zachter. In dit opzicht hebben roestvrij-stalen instrumenten het voordeel, dat daarin deze structuurwijzigingen langzamer verlopen. Roestvrij-stalen instrumenten ontharden dan ook als gevolg van de herhaalde sterilisaties minder snel dan instrumenten uit weinig gelegeerd koolstofstaal.

De tandboren zijn vervaardigd uit speciale soorten gereedschapstaal, welke in de staalmetallographie een hoofdstuk op zich zelf vormen. Door het betrekkelijk geringe warmtegeleidingsvermogen van het tandweefsel, de kleine omvang der tandboortjes en de grote rotatiesnelheid bij het tandheekkundige boren, lopen de tandboortjes nogal spoedig warm en ontharden daardoor. Teneinde de snelheid van een dergelijke ontharding te verminderen worden bij het staal, dat voor het vervaardigen van boren, frezen enz. gebruikt wordt, naast chroom legeringscomponenten als wolfram, molybdeen en vanadium bijgelegeerd. Deze componenten, die bovendien een grotere hardheid aan het staal geven, verminderen de snelheid, waarmede het staal bij hogere temperatuur onthardt.

§ 8. *Chroom-cobalt-legeringen*

Voor de vervaardiging van gereedschap, o.a. boren en beitels voor draaibanken heeft zich, het eerst in Amerika, onder de naam van stellietlegeringen, een legeringstype op cobalt-chroombasis ontwikkeld van de volgende samenstelling: cobalt 40 à 50%, chroom 25 à 35%, wolfram 12 à 17%, ijzer \pm 5%, koolstof 1,5 à 3% met daarnaast soms ook molybdeen en nikkel als legeringscomponenten. Deze legeringen, die niet smeedbaar zijn maar uitsluitend door gieten verwerkt kunnen worden, hebben een grote weerstand tegen slijtage en zijn zeer hard, welke laatste eigenschap zij ook bij hogere temperatuur behouden. De stellietlegeringen zijn vanwege hun gering ijzergehalte feitelijk geen staalsoort meer te noemen.

Vergelijkt men bovenvermelde samenstelling met die van de tegenwoordig in de tandheekkunde zo uitgebreid toegepaste cobaltchromlegeringen (Tabel XIX), dan treedt de afkomst van dit tandheekkundige materiaal duidelijk aan de dag.

Van dit legeringstype was het vitallium, dat in 1932 gepatenteerd werd, de eerste vertegenwoordiger en het treedt ook thans als vertegenwoordiger van deze materiaalsoort in ons land nog het meest op de voorgrond. Hoezeer de cobalt-chroom-legeringen zich reeds een plaats in de tandheekkunde hebben veroverd, blijkt wel uit het feit, dat in

TABEL XIX

samenstelling van chroom-cobalt gietlegeringen

legering	chrom	cobalt	nikkel	molybdeen	tungsteen	ijzer	mangaan	silicium	koolstof	aluminium	beryllium	totaal
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
lunorium	14.9	0.9	55.6	18.5	4.0	5.0	0.2	0.4	0.2	—	—	99.7
niranium	28.8	64.2	4.3	—	2.0	—	—	0.1	0.2	0.7	—	100.3
ticonium	27.4	28.7	37.5	4.6	—	—	—	0.2	0.2	0.2	1.2	100.0
vitallium	30.8	62.5	—	5.1	—	0.7	0.5	0.3	0.4	—	—	100.3

Amerika tegenwoordig 80% van alle metaalprothesen daarmede vervaardigd worden.

De metallographie van de stellietlegeringen is ingewikkeld en daaromtrent is in het algemeen en zeker in de tandheelkunde nog weinig bekend. De verwerking van dit materiaal wijkt af van de tot nu toe in de tandtechniek gebruikelijke methoden; er zijn speciale hulpmaterialen, een kostbare apparatuur en speciaal getrainde vakmensen voor nodig.

Bij de tandheelkundige beoordeling van de cobalt-chroomlegeringen treden de volgende punten op de voorgrond.

Niet alleen, dat dit legeringstype een veel lager soortelijk gewicht heeft dan de edelmetaallegeringen, die voor het vervaardigen van prothesen gebruikt worden (8,9 tegen 16,9), doch door zijn grotere sterkte kunnen de werkstukken bovendien dunner uitgevoerd worden en het is daarom een sterk kostenbesparend materiaal. De grote hardheid van de cobalt-chroomlegeringen en hun grote corrosiebestendigheid brengen het voordeel, dat de hoge glans, die bij het polijsten aan dit materiaal gegeven kan worden, zich in de mond uitstekend handhaaft en deze beide factoren dragen er tevens toe bij, dat dit materiaal door het mondslijmvlies beter verdragen wordt dan de goudlegeringen. De onbuigzaamheid geeft aan de met dit materiaal vervaardigde prothesen een grote vormbestendigheid, ook bij hoge belastingen.

Daartegenover staan echter enkele bezwaren. De verwerking van cobalt-nikkellegeringen is ingewikkeld, gevoelig voor het maken van fouten en eist speciale vakbekwaamheid. De benodigde kostbare apparatuur stelt alleen grote tandtechnische laboratoria in staat om zich met de verwerking ervan te belasten. Vooral als de legering, die voor het vervaardigen van prothesen gebruikt wordt, bij het gieten niet juist behandeld wordt, is het materiaal belangrijk minder buigzaam dan goudlegeringen. Cobalt-chroomlegeringen laten zich door een warmtebehandeling niet dusdanig zachtmaken, dat het mogelijk wordt om aan een werkstuk eventueel een kleine correctie aan te brengen, b.v. het wat bijbuigen van een klammer. De hogere elasticiteitsgrens dan

die van goudlegeringen sluit eveneens uit b.v. in het geval van een wat ongelijkmatige verdeling van de druk over de verschillende steunpunten van een prothese, dat de betreffende klammer zich op den duur wat zou vervormen, waardoor een meer gunstige drukverdeling kan optreden. De grote hardheid maakt het slijpen en polijsten moeilijk. De vermoeiingsgrens van de cobalt-chroom-legeringen ligt lager dan van de goud-legeringen en inderdaad treden dan ook bij dit materiaal vermoeiingsbreuken frequenter op dan bij prothesen vervaardigd uit goudlegeringen.

Aangezien deze geen ijzer- en slechts weinig koolstof-bevattende cobalt-chroom-legeringen tegenwoordig in de techniek steeds meer toegepast worden — o.a. in de auto-industrie-staat dit legeringstype mede in de aandacht van grotere metallographische research-instituten en zal er ongetwijfeld in de komende jaren meer omtrent hun metallographie en eigenschappen bekend worden, waardoor een verdere ontwikkeling en mogelijke vervolmaking van de eigenschappen bij deze materiaalsoort te verwachten is, waarvan de tandheelkunde mede zal profiteren.

Bij het ticonium, dat in Amerika naast het vitallium toepassing vindt als prothesemateriaal, is, zoals Tabel XIX aangeeft, een deel van het cobalt vervangen door nikkel. Het ticonium is iets zachter dan vitallium en wat buigzamer.

Het hoge chroomgehalte van de cobalt-chroom-legeringen verzekert hun corrosiebestendigheid. Koolstof, dat slechts in een gering percentage aanwezig is, heeft een belangrijke invloed op de mechanische eigenschappen. In de mengkristallen van cobalt en chroom is koolstof slechts weinig oplosbaar en zet zich in die mengkristallen als chroomcarbide af, waardoor een verharding dezer kristallen en daarmee van de legering optreedt. Legeringscomponenten als molybdeen, tungsteen en mangaan beïnvloeden de carbidevorming en dienen om de legering stabielier van eigenschappen te maken.

De mechanische eigenschappen worden verder sterk beheerst door de fijnheid, waarmede de kristallieten zich afzetten. Grotere kristallieten verminderen de hardheid, maar verhogen de buigzaamheid. De temperatuur, waarop het gesmolten metaal is gebracht, de tijdsduur der verhitting en verder vooral de temperatuur van de gietvorm bepalen de grootte der kristallieten in het gegoten materiaal en daarmee dus ook voor een deel de mechanische eigenschappen van het gietstuk.

Voor een warmtebewerking zijn de cobalt-chroom-legeringen slechts weinig gevoelig. Een aanlaten tot $\pm 700^\circ$ bevordert de afzetting van chroomcarbiden in de mengkristallen en verhoogt daardoor de hardheid, waarbij de buigzaamheid van het materiaal afneemt. Boven $\pm 900^\circ$ lost koolstof weer in de mengkristallen op, hetgeen de legering wat zachter en buigzamer maakt. Deze feiten zijn in zoverre van belang, aangezien bij het solderen en lassen deze verschijnselen de mechanische eigenschappen van het materiaal op en nabij de soldeer- en lasplaatsen wijzigen.

Welke moeilijkheden bij de verwerking van dit materiaal in de tand-

technische laboratoria worden ondervonden en welke fouten daarbij gemaakt kunnen worden, ontgaat de tandarts volkomen. Een laboratorium, dat van de licentiehoudende firma een verwerkingslicentie voor dit materiaal heeft gekregen, ontvangt naast de daarvoor benodigde apparaten en hulpmaterialen nauwkeurig omschreven verwerkingsvoorschriften. Van de samenstelling der verschillende hulpmaterialen en van het waarom der verschillende bewerkingen is het tandtechnische laboratorium niet geheel op de hoogte. Het technische personeel, dat er met de bewerking is belast, heeft speciale door de licentiehoudende georganiseerde cursussen gevolgd, terwijl het laboratorium in voortdurend contact met en onder controle van de licentiehoudende blijft. Het betreft hier een gang van zaken, die ingegeven zal zijn door economische overwegingen, terwijl ook het willen bewaren van het fabrieksgeheim een rol zal spelen. Dit heeft men te aanvaarden en te respecteren. Er is ook feitelijk niets op tegen, temeer daar bij deze procedure een zo zorgvuldig mogelijke verwerking van het materiaal in het tandtechnische laboratorium voortdurend op deskundige wijze gecontroleerd wordt. En dit is voor de tandheelkunde van groot nut.

Tot slot wordt hier in het kort de gang der verwerking van dit materiaal in het tandtechnisch laboratorium vermeld.

De van de tandarts ontvangen afdruk wordt in gewoon gips uitgegoten. Van het aldus verkregen model wordt met een elastische kunststofmassa een afdruk genomen. Deze afdruk wordt met speciale inbedmassa's uitgegoten en op dit model wordt de prothese in gietwas gemodeleerd. Geplaatst in een metalen gietring wordt op het model met de in was gemodeleerde prothese eveneens met inbedmassa het tegenmodel gegoten. Het smelten en gieten van het bij $\pm 1300^\circ$ smeltende metaal geschiedt in een indifferente atmosfeer van gezuiverd waterstofgas (bright annealing). Voor het afwerken en polijsten worden speciale slijpsteentjes en polijstmiddelen gebruikt.

(Wordt vervolgd)