

Tandheelkundige Materiaalkennis

door *J. N. Tekenbroek*

(*Vervolg*)

TWEEDE GEDEELTE

HOOFDSTUK VII. STAAL EN ROESTVRIJ-STAAL

Inleiding

Voor de tandarts is het gewone staal, alhoewel dat als zodanig niet door hem wordt verwerkt of bij de patiënten toegepast, van belang o.a., omdat vele van zijn instrumenten uit dit materiaal vervaardigd zijn. De boren, de reamers, de naalden, de excavatoren, de glazuurmessen, enz. kunnen slechts goede diensten blijven verrichten als zorggedragen wordt, dat het staal, waaruit zij vervaardigd zijn, zijn goede eigenschappen behoudt. Om de daarvoor vereiste zorg aan zijn instrumentarium met begrip en kennis van zaken te kunnen uitvoeren, is enig inzicht in dit materiaal nodig. Een bespreking van het staal leidt tevens naar het begrip van het roestvrij-staal, welk materiaal zich uit het gewone staal heeft ontwikkeld. De moderne cobalt-chroom-nikkel-legeringen, die evenals het roestvrij-staal wel bij de patiënten worden toegepast, hebben zich op hun beurt weer in zekere zin uit het roestvrij-staal ontwikkeld.

Alhoewel de bespreking van het staal hier zo eenvoudig mogelijk gehouden zal worden, is het niet te ontgaan, dat men zich enige moeite zal moeten getroosten om tot een inzicht in dit materiaal te kunnen komen.

De metallographische kennis van het staal omvat het kennen van de verschillende kristalstructuren, die daarin voorkomen en de invloed van warmtewerkingen (zachtgloeien, normaliseren, harden, temperen) op de structuur en de eigenschappen van staal. Deze kennis kan als voorbeeld dienen voor de soortgelijke verschijnselen bij andere in de tandheelkunde gebruikte legeringen. De metallographie van deze andere legeringen is minder intensief bestudeerd dan die van het staal; als regel zijn zij echter eenvoudiger van structuur, zodat het vooraf geven van enig inzicht in het staal het latere bespreken van deze legeringen zal vereenvoudigen.

§ 1. *Ijzer*

Bij het element ijzer treedt het verschijnsel der allotropie in sterke mate op. Men kent namelijk vier modificaties van ijzer, aangeduid als α , β , δ en γ ijzer. Het α ijzer is bij gewone temperatuur stabiel, het gaat bij 769° in β ijzer over. Bij 906° gaat het β ijzer over in de γ modi-

ficatie, terwijl dit bij 1401° in het δ ijzer transformeert, welke laatste vorm bij 1528° smelt.

De α en de β modificatie hebben als elementaircel de in het middelpunt gecentreerde kubus, het γ ijzer de in de zijvlakken gecentreerde kubus, terwijl het δ ijzer gelijk α en β ijzer de in het middelpunt gecentreerde kubus als kristalpatroon heeft. Evenals de temperatuur, waarbij een stof van de vaste naar de vloeibare toestand overgaat, het smeltpunt dus, zich bij het bepalen van de afkoelingskromme als een horizontaal gedeelte in het verloop van de afkoelingskromme demonstreert, geschiedt dit bij de overgangstemperatuur tussen twee modificaties.

Fig. 35 toont de afkoelingskromme van zuiver ijzer, waarbij zich de overgangstemperaturen tussen de verschillende modificaties duidelijk aftekenen. Bij gewone temperatuur is α ijzer de stabiele vorm van ijzer.

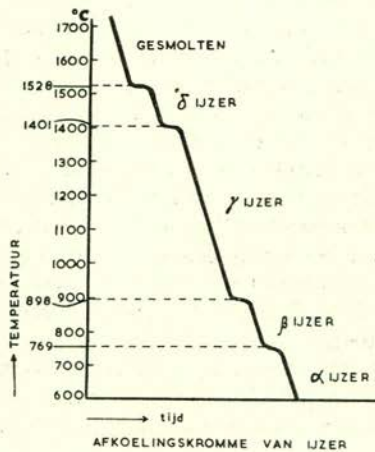


Fig. 35

Zuiver ijzer corrodeert praktisch niet. Er zijn enkele vermaarde gevallen bekend, o.a. de ijzeren zuil van Dehli, waarover men zich verwonderde, dat de tand des tijds daarop door corrosie geen invloed kreeg. Deze voorwerpen bleken uit praktisch zuiver ijzer te bestaan. Tegenwoordig wordt een zeer zuivere ijzersoort onder de naam van Armco-ijzer aan de markt gebracht ($\pm 99.8\%$ ijzer).

Het technische ijzer (ruwijzer, gietijzer, smeedijzer, staal) bevat wisselende percentages koolstof. Over de nomenclatuur van de verschillende ijzersoorten naar gelang hun koolstofgehalte bestaat enige verwarring, maar in het algemeen spreekt men van staal als het ijzer smeedbaar wordt, hetgeen bij koolstofpercentages beneden 1.7% het geval wordt.

Het ruwijzer wordt uit het ijzererts, dat voornamelijk uit ijzeroxyden bestaat, gewonnen door het reductieproces, dat in de hoogovens plaatsheeft. Het met cokes gemengde erts reduceert tot het veel koolstof be-

vattend ruwijzer, dat voor de vervaardiging van staal in speciale staalovens door het inblazen van lucht van een deel van zijn koolstof (en andere verontreinigingen) ontdaan wordt. Koolstof lost in ijzer op en vormt daarmee bij afkoeling mengkristallen en tevens een verbinding Fe_3C , het ijzercarbide, welke verbinding in de metallographie van het ijzer als cementiet aangeduid wordt. In het ruwijzer komen naast koolstof als verontreiniging enkele andere elementen voor, maar door hun geringe hoeveelheid beïnvloeden zij de structuur van het ijzer en zijn legeringen practisch niet. Deze structuur wordt hoofdzakelijk bepaald door het gedrag van het binaire stelsel ijzer-koolstof.

§ 2. IJzer-koolstofdiagram

Het toestandsdiagram van dit binaire stelsel, het ijzer-koolstofdiagram, heeft voor de metallographie van het ijzer grote betekenis en wel voornamelijk dat deel van dit diagram, dat de ijzer-koolstoflegeringen betreft, die 0% tot $\pm 7\%$ koolstof bevatten. De zich tussen beide legeringscomponenten ijzer en koolstof vormende verbinding Fe_3C heeft in gewichtsprocenten uitgedrukt een koolstofgehalte van 6,67%. Het voor de techniek van practisch belang zijnde deel van het ijzer-koolstofdiagram (tot $\pm 7\%$ koolstof) betreft dus feitelijk het binaire stelsel $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$. Dit stelsel is ongetwijfeld het meest bestudeerde evenwicht in de metallographie en het betreffende toestandsdiagram ziet er in zijn officiële vorm uit als afgebeeld in fig. 36.

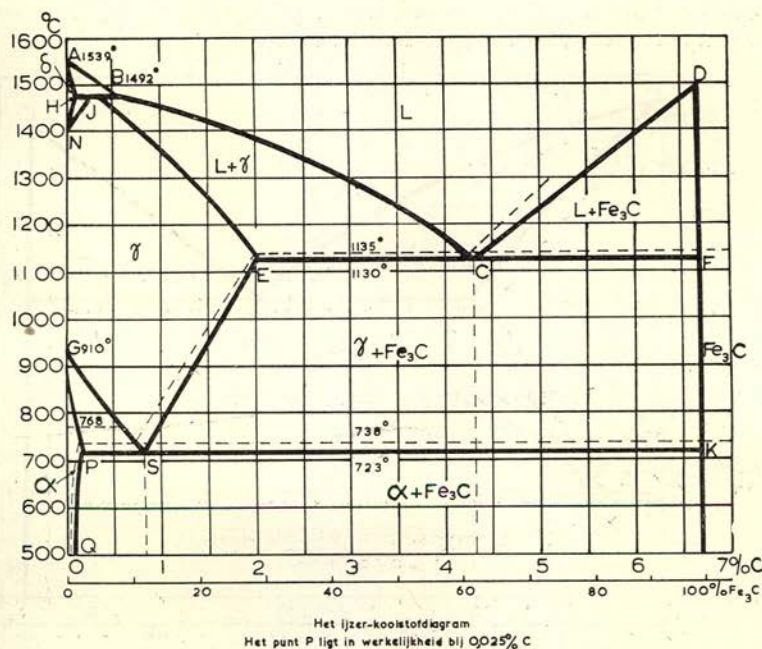


Fig. 36

Coëxistentiegebied II is een tweephase-gebied, waarin naast het nog gesmolten deel van de legering als vaste phase kristallen van de verbinding Fe_3C , cementietkristallen, voorkomen. Cementietkristallen zijn zeer hard en bros.

Coëxistentiegebied III is een soortgelijk tweephase-gebied. Hierin komen naast het gesmolten deel van de legering als vaste phase mengkristallen van ijzer en koolstof voor. De solidus-lijn AD geeft de met de temperatuur wisselende samenstellingen van deze mengkristallen aan.

Coëxistentiegebied IV is een éénphase-gebied. De legering is thans geheel vast geworden en bestaat uit één kristallietsoort, namelijk mengkristallen van ijzer en wel van γ ijzer met koolstof. In onderscheid met de andere ijzermodificaties vormt γ ijzer met koolstof een vaste oplossing, waarbij de koolstofatomen zich interstitieel (zie Deel I, Hoofdstuk IX, blz. 166) in het ijzerrooster plaatsten. Deze mengkristallen van ijzer en koolstof dragen de naam van austeniet; zij zijn evenals de cementiet-kristallen hard en bros. Uit deze vaste oplossing kunnen zich bij verdere afkoeling twee soorten kristallen afscheiden. Passeert de legering bij verdere afkoeling de lijn FE — en dit hangt van zijn koolstofgehalte af — dan komt men in het coëxistentiegebied V; wordt de lijn DE gepasseerd, dan betreedt men het coëxistentiegebied VI. Is de samenstelling van de vaste oplossing precies gelijk aan het koolstofgehalte in punt E (0.87% koolstof), welk punt een eutecticum is, dan komt men direct in het coëxistentiegebied VII (het betreft hier niet een eutecticum, dat kan optreden bij het uitkristalliseren van een gewone oplossing, maar een eutecticum, dat betrekking heeft op het uitkristalliseren van een vaste oplossing, waarbij dus een mengkristal uitéénvalt in twee andere kristalsoorten). Dat een dergelijk verschijnsel o.a. hier bij ijzer optreedt, staat mede in verband met het feit, dat in het mengkristal het ijzer in zijn γ vorm aanwezig is, terwijl het in de nieuw gevormde kristallen in de β resp. α modificatie voorkomt.

Coëxistentiegebied V is weer een tweephase-gebied. Uit de vaste oplossing scheiden zich zuivere ijzerkristallen af, waardoor de vaste oplossing zelf, de austeniet-kristallen, rijker aan koolstof wordt. Hun samenstelling verloopt als aangegeven door de lijn EF. De afgescheiden zuivere ijzerkristallen zijn zacht en smeedbaar. Men duidt deze zuivere ijzerkristallen als ferriet-kristallen aan. De legering bestaat in dit gebied dus uit ferriet-kristallen en austeniet-kristallen.

Coëxistentiegebied VI is eveneens een tweephase-gebied. Passeert de legering bij afkoeling de lijn ED, dan scheiden zich uit de vaste oplossing Fe_3C kristallen, cementietkristallen, af. De vaste oplossing wijzigt zich als gevolg van deze afscheiding van samenstelling en deze wijziging wordt aangegeven door het verloop van de lijn DE. De legering bestaat in dit gebied uit harde austeniet- en harde cementiet-kristallen.

Coëxistentiegebied VII. Wordt bij afkoeling de lijn GH gepasseerd, hetgeen bij $\pm 730^\circ$ gebeurt, dan komt men in het tweephase coëxistentie-

tentiegebied VII, waar naast elkaar bestaan ferriet-kristallen en cementiet-kristallen. Dit is het gebied, waarin de tot kamertemperatuur afgekoelde ijzerlegeringen stabiel zijn. Het hangt van het koolstofgehalte van het ijzer af, waar men bij afkoeling van het gesmolten ijzer dit coëxistentiegebied in het toestandsdiagram betreedt. Zoals reeds opgemerkt, bevatten staalsoorten minder dan 1.7% koolstof. Men passeert dus bij afkoeling van gesmolten staal altijd eerst het gebied IV, het austeniet-gebied, het gebied dus van de vaste oplossing van koolstof in γ ijzer. Van het grootste belang voor de metallographie van het staal is in dit gebied het punt E, het eutecticum. Bij de ijzerlegering met een koolstofgehalte, gelijk aan dat van dit eutectische punt (0.87% koolstof) zetten zich bij afkoeling ferriet- en cementiet-kristallen als een eutectisch mengsel af. Dit bij snelle afkoeling met een lamillaire structuur (Deel I, Hoofdstuk X, blz. 186) zich afzettende eutectische mengsel draagt de naam perliet. Perliet in zijn lamillaire vorm bestaat dus uit tegen elkaar aangelegene dunne lagen van afwisselend ferriet- en cementiet-kristallen. De staalsoorten zijn naar gelang van hun koolstofgehalte te verdelen in onder-perlietische en boven-perlietische staalsoorten. Onder-perlietisch staal bevat minder dan 0.87% koolstof, boven-perlietisch staal bevat meer dan 0.87% koolstof.

Onder-perlietisch staal passeert bij afkoeling het coëxistentiegebied V. Uit de vaste oplossing, de austeniet-kristallen, scheidt zich dan als primaire kristallen zuiver ijzer, ferriet, af, waardoor de samenstelling van de austeniet-kristallen zich wijzigt tot bij 720° het eutectische punt E is bereikt. Dan vallen de nog resterende austeniet-kristallen uiteen in het eutectische mengsel perliet. Onder-perlietisch staal bestaat, tenminste als men de evenwichtstoestand in het staal tot stand laat komen, bij kamertemperatuur uit primaire ferriet-kristallen, omgeven door perliet.

Boven-perlietisch staal passeert bij afkoeling het coëxistentiegebied VI. Hier scheidt zich als primaire kristallen de verbinding Fe_3C , cementiet, af en als, gaande langs de lijn DE, de zich daardoor wijzigende samenstelling van de vaste oplossing de eutectische samenstelling E bereikt heeft, vallen deze austeniet-kristallen uiteen in het eutectische perliet. In het boven-perlietisch staal komt dus, wederom aannemende, dat men het evenwicht tot stand laat komen, als primaire kristallen cementiet voor, welke kristallen gelegen zijn in een matrix van perliet.

§ 3. *Evenwichtsstructuren van het staal*

Ter verduidelijking van de tot nu toe besproken structuren dienen de microfoto's van fig. 38, 39, 40 en 41. Fig. 38 geeft de structuur van het uit zuiver ferriet bestaande Armco-ijzer.

Fig. 39 geeft de lamillaire structuur van een zuiver perlietisch staal.

Fig. 40 toont het structuurbeeld aan van een onder-perlietisch staal (0.1% koolstof). Langs de randen van de primaire ferriet-kristallen ziet men het na etsing en door de belichting op de microfoto zich zwart afbeeldende perliet. Het betreft hier een sterk onder-perlietisch staal,

zodat er veel primaire ferriet-kristallen en maar weinig perliet in voorkomen.

Fig. 41 geeft een boven-perlietisch staal met een koolstofgehalte van 1.1%. Het betreft hier een staal met een koolstofgehalte, dat slechts een weinig boven het koolstofgehalte van het eutecticum (0.87%) gelegen is. Tussen het lamillaire perliet bevinden zich de primaire cementiet-kristallen.

De tot nu toe besproken structuren betreffen het staal, als daarin de evenwichtstoestand tot stand gekomen is en dit laatste is niet het geval

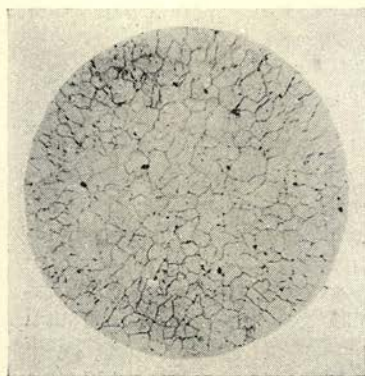


Fig. 38

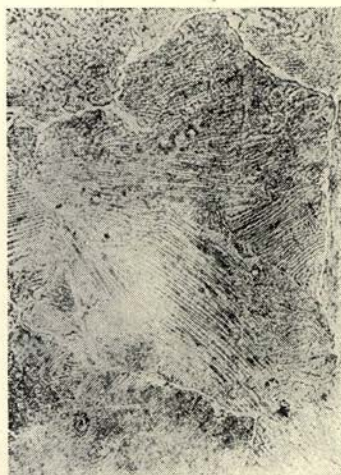


Fig. 39

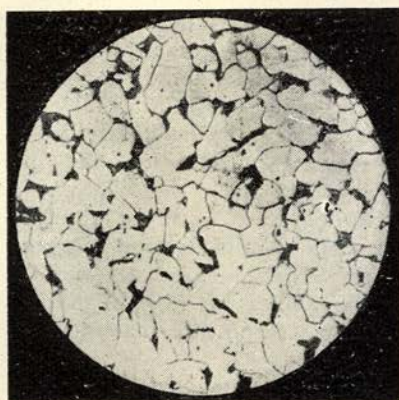


Fig. 40

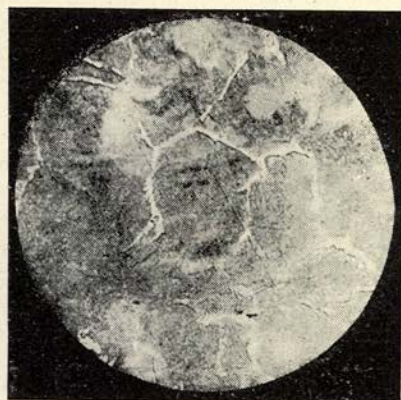


Fig. 41

bij het staal, zoals het als regel toegepast wordt, namelijk in zijn verharde toestand. Hoe zeer de eigenschappen van het staal door zijn kristallietstructuur en dus in de eerste plaats door zijn koolstofgehalte worden bepaald, blijkt uit de cijfers van Tabel XIV, die betrekking hebben op niet gehard staal, waarin de bij kamertemperatuur stabiele structuur aanwezig is.

TABEL XIV

koolstofgehalte	trekvastheid kg/mm ²	Brinellhardheid 10/1000/30 kg/mm ²	totale rek in %
0% (ferriet)	30	89	35.6
0.1% (onder-perlietisch)	38	113	29.3
0.3% (onder-perlietisch)	51	151	21.—
0.87% (perlietisch) . . .	90	265	9.5
1.1% (boven-perlietisch)	105	301	4.—

Ferriet-kristallen zijn, als de eenvoudig gebouwde kristallen van een zuiver metaal, zacht en gemakkelijk vervormbaar. Het ferriet (Armco ijzer) heeft dan ook een geringe trekvastheid, geringe hardheid en een grote totale rek; het is uitstekend smeedbaar. Cementiet-kristallen (Fe_3C) zijn als alle kristallen van intermetallische verbindingen hard en bros. Met het toenemen van de hoeveelheid cementiet-kristallen, dus met het toenemen van het koolstofgehalte, wordt het staal harder en minder gemakkelijk te bewerken.

Zoals vroeger bij het plastisch vervormen van microkristallijne stoffen is besproken (Deel I, blz. 97) heeft de grootte der kristallieten invloed op de mechanische eigenschappen van een metaal. Hoe grover kristallijn de ferriet-kristallen zich afzetten, des te zachter en smeedbaarder zal het staal zijn. Ditzelfde geldt voor boven-perlietisch staal. Hoe fijner kristallijn de cementiet-kristallen zijn, hoe harder het staal. Ook het perliet kan zich in verschillende vormen afzetten en wel in de reeds besproken lamillaire vorm, die de gehele massa doortrekt, maar ook in een globulaire vorm. Dan heeft het perliet zich minder als een samenhangend geheel door de gehele massa heen afgezet, maar meer in afzonderlijke deeltjes. In de lamillaire vorm, waarvan het ontstaan door snelle afkoeling bevorderd wordt, staat het perliet het zich plastisch vervormen van de zachte ferriet-kristallen meer in de weg dan in zijn globulaire vorm. Staal met globulair perliet laat zich dan ook beter verwerken. Indien men staal met lamillair perliet enigszins verwarmt, zet het perliet zich door een secundaire rekristallisatie om in de globulaire vorm. Fig. 42 en fig. 43 geven resp. de structuren van staal met lamillair en globulair perliet.

Bij deze rekristallisatie door temperatuurverhoging (Deel I, Hoofdstuk X, blz. 192) zijn ook de primaire ferriet- en cementiet-kristallieten betrokken, die daardoor in grootte toenemen.

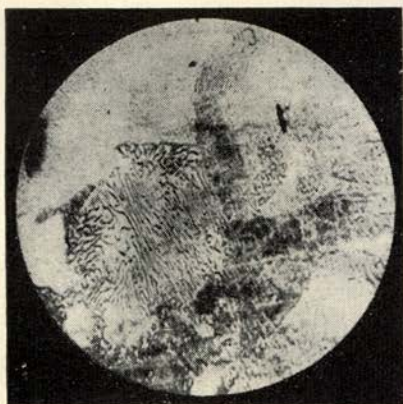


Fig. 42

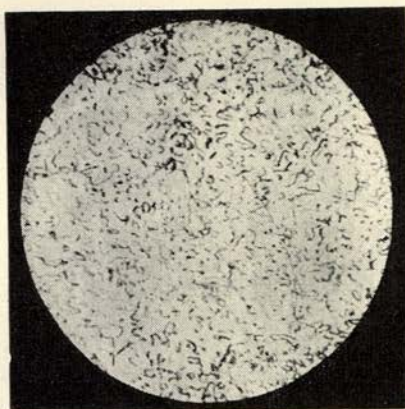


Fig. 43

§ 4. Warmtebehandeling van staal

Het is een ieder bekend, dat de mechanische eigenschappen van staal zich door bepaalde warmtebehandelingen laten wijzigen. De eigenschappen van het staal veranderen daarbij niet alleen omdat de vorm en de grootte van de kristallietsoorten zich wijzigen, maar hierbij doet zich tevens een andere kwestie gelden. Door het snel afkoelen van legeringen, „afschrikken”, kan men, zoals vroeger reeds besproken is (Deel I, Hoofdstuk X) evenwichtstoestanden bij kamertemperatuur „vastvriezen”, die bij hogere temperatuur slechts stabiel zijn.

Naast de drie thans besproken structuurvormen, perliet, perliet + cementiet en perliet + ferriet, die alle evenwichtstoestanden van het staal bij kamertemperatuur zijn, kunnen bij gewone temperatuur metastabiele structuren „vastgevroren” worden. Deze door het afschrikken in het staal vastgelegde structuren zijn als het ware overgangsvormen van de bij hogere temperatuur bestendige austenietvorm naar de bij kamertemperatuur bestendige, reeds besproken structuren.

Aan de hand van de warmtebewerkingen, die op staal worden toegepast, zullen enige van deze overgangsstructuren nader beschouwd worden. Om b.v. een tandheelkundig instrument uit staal te maken, of als men zelf een dergelijk instrument van vorm zou willen wijzigen, moet het staal eerst zacht gemaakt worden om het gemakkelijker te kunnen bewerken (smeden, draaien, slijpen, buigen, enz.). Na het plastische vervormen zal het materiaal door inwendige spanningen (versteving) of plaatselijke rekristallisatie niet meer homogeen van structuur zijn. Het staal moet dan door het te gloeien gehomogeniseerd worden. Om het staal vervolgens de voor het betreffende instrument gewenste hardheid te geven moet het verhard worden. Bij het verharden gaat men meestal zo te werk, dat eerst aan het materiaal een te grote hardheid gegeven wordt, welke men door het daarop volgende temperen of aanlaten tot de verlangde hardheid terugbrengt. Achtereenvolgens zullen deze warmtebewerkingen nader besproken worden.

Het zachtmaken. Onder-perlietische staalsoorten zijn zachter en smeedbaarder dan boven-perlietische, omdat de daarin als primaire kristallen voorkomende ferriet-kristallen zachter zijn dan de cementiet-kristallen in het boven-perlietische staal. Beide staalsoorten zijn echter zachter te maken. Hoe grover kristallijn de primaire cementiet- dan wel ferriet-kristallen zijn en hoe minder lamillair het perliet zich afzet, des te zachter zal het staal zijn. Bij het zachtmaken streeft men er dus naar een dergelijke structuur te laten ontstaan. Daartoe wordt het staal op een temperatuur gebracht hoog genoeg om het austenietgebied te bereiken. Op die temperatuur, welke dus hoger moet zijn dan temperaturen behorende bij de lijn FED van het toestandsdiagram (zie fig. 37) zal het staal homogeen in de austenietvorm overgaan. Vervolgens koelt men het staal uiterst langzaam af tot kamertemperatuur, hetgeen in de techniek bij wat grotere werkstukken meestal in speciale koelovens geschiedt. De evenwichtstoestand, die bij kamertemperatuur stabiel is, heeft dan volop de gelegenheid om zich in te stellen. Door de langzame afkoeling zullen tevens de primaire ferriet- of cementiet-kristallen (afhanginge of men met een onder- of een boven-perlietisch staal te maken heeft) zich grof kristallijn en het perliet zich minder lamillair maar meer globulair afzetten. Bij deze structuur is, zoals reeds vermeld, het staal het zachtst en laat zich dan het beste bewerken. Gedurende deze bewerkingen wordt het materiaal soms weer verhit (men moet het ijzer immers smeden als het heet is) maar de temperatuur mag daarbij natuurlijk niet weer zo hoog worden opgevoerd, dat men in het austeniet-gebied terecht zou komen. Dienaangaande leert het toestandsdiagram, dat de temperatuur daarbij dus beneden de $\pm 700^\circ$ moet blijven.

Het normaliseren. Nadat aan het instrument de juiste vorm is gegeven, wordt het afgewerkt en gepolijst. Het materiaal zal dan om verschillende redenen niet homogeen van samenstelling en eigenschappen zijn. Voor het normaliseren wordt het materiaal wederom op een temperatuur gebracht, hoog genoeg om binnen het austeniet-gebied te komen. Het staal gaat dan weer in austeniet-vorm over, waaruit zich bij afkoeling een homogene structuur in het materiaal afzet. Aangezien het normaliseren steeds door een verhardingsproces gevolgd wordt, doet het er minder toe of men bij het normaliseren snel of langzaam afkoelt.

Het harden. Bij deze warmtebehandeling komt het er daarentegen wel op aan, hoe snel er afgekoeld wordt. Het staal wordt weer op een temperatuur gebracht, dat het binnen het austeniet-gebied komt te liggen en zijn structuur zich homogeen in austeniet-vorm omzet. Door vervolgens zeer snel af te koelen kan men proberen de austeniet-vorm bij kamertemperatuur „vast te vriezen”. Austeniet-kristallen, de mengkristallen van ijzer en koolstof, zijn zeer hard, zodat men zijn doel, het harden van het staal, dan bereikt zou hebben. Het gelukt echter niet de austeniet-vorm volkomen onveranderd te handhaven. Bij zuivere koolstofstaalsoorten namelijk — en dit in onderscheid met de staalsoorten, waaraan, zoals straks ter sprake komt, wat bijmengsels zijn

toegevoegd — geschiedt de omzetting van austeniet-kristallen in perliet en cementiet of ferriet-kristallen uiterst snel. Men kan niet zo snel koelen of een deel van het austeniet valt toch uiteen.

Bij het passeren van de kritische temperatuur, dat is de temperatuur, waarbij het austeniet-gebied verlaten wordt en welke temperatuur voor de verschillende staalsoorten door de lijn FED in het toestandsdiagram wordt aangegeven, is de omkristallisatie-snelheid van het austeniet zeer groot. Het gevolg hiervan is, dat steeds austeniet wordt omgezet. Hoe sneller men afkoelt, hoe minder dit inderdaad het geval zal zijn, terwijl een snelle afkoeling bovendien bevordert, dat de bij het uiteenvallen van het austeniet zich vormende kristallieten van ferriet en cementiet zich fijner kristallijn en het perliet meer lamillair zullen afzetten. Afhangende van de snelheid, waarmede gekoeld wordt, heeft men een drietal tussenvormen tussen de austeniet- en de ferriet-perliet-cementietstructuur leren onderscheiden, welke aangeduid worden met de namen martensiet, troostiet en sorbiet. De figuren 44a, b en c geven

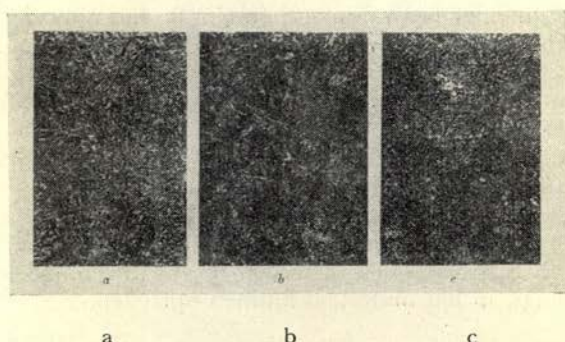


Fig. 44

de afbeeldingen van deze structuren. Als het verschil tussen deze drie overgangsstructuren zou men het eenvoudigste kunnen wijzen op het verschil in hoeveelheid en in fijnheid, waarmede de zich uit het austeniet afzettende kristallieten zich gevormd hebben. Hoe fijner deze structuren, hoe harder het staal. Bedroeg van de ongeharde staalsoorten de Brinell-hardheid, zoals Tabel XIV aangaf, uiterlijk 300 kg/mm^2 , de Brinell-hardheid van martensiet is 650 tot 550 kg/mm^2 , van troostiet 550 tot 450 kg/mm^2 en van sorbiet 450 tot 350 kg/mm^2 .

Doch niet alleen de snelheid van het koelen heeft invloed op de structuur, die men bij het verharden bereikt. De ervaring heeft geleerd, dat ook de hoogte van de temperatuur, waarop het staal aanvankelijk gebracht werd, hierop eveneens invloed heeft. Bij het zachtmaken en bij het normaliseren is het betrekkelijk onverschillig hoe hoog men het staal aanvankelijk verhit; er moet daarbij slechts voor gezorgd worden, dat men met de temperatuur ruim binnen het austeniet-gebied komt. Bij de meer nauwluisterende verharding is gebleken, dat het het beste is, dat het staal niet hoger dan 50° boven zijn kritische temperatuur

verhit wordt. Deze kritische temperatuur hangt, zoals het ijzer-koolstofdiagram (de lijn DEF) aangeeft, af van het koolstofgehalte van het staal en moet dus voor iedere staalsoort afzonderlijk opgegeven worden.

Hoe hoger men de temperatuur in het austeniet-gebied opvoert, des te meer kans heeft men, dat de gevormde austeniet-kristallen door secundaire rekristallisatie grover van structuur worden. Dit heeft tot gevolg, dat, als de austeniet-kristallen zich bij het afschrikken omzetten, minder kristallisatiekernen aanwezig zullen zijn met als gevolg, dat de zich vormende cementiet- en ferriet-kristallen dus grover kristallijn zullen worden, hetgeen het verharden niet ten goede komt.

Bij boven-perlietisch staal is het uit dien hoofde juist gebleken de temperatuur niet 50° boven de lijn ED, maar slechts 50° boven de lijn EH op te voeren. Men bereikt hier dus niet het austeniet-gebied, maar blijft binnen het coëxistentiegebied VI, waarin naast austeniet nog wat van de reeds aanwezige, maar van nature reeds harde cementiet-kristallen blijven bestaan.

Aan het snel moeten afkoelen bij het verharden van zuivere koolstofstaalsoorten zijn enige bezwaren verbonden. Bij het afschrikken, waarvoor water met zijn hoge soortelijke warmte en verdampingswarmte de aangewezen vloeistof is, kunnen zich aan het oppervlak van het werkstuk dampbellen ontwikkelen, waardoor plaatselijk de warmteoverdracht en dus de afkoeling minder snel gaat. Hierdoor kunnen plaatsen met niet precies dezelfde structuren en dus van ongelijke hardheid ontstaan. Bovendien zal bij enigszins dikkere werkstukken de snelheid van afkoeling in het binnenste van het materiaal een andere zijn dan aan het oppervlak met eveneens als gevolg, dat het materiaal niet homogeen van eigenschappen is, terwijl tevens inwendige spanningen en zelfs scheuren in het materiaal kunnen optreden.

Het temperen of aanlaten heeft tot doel de hardheid van het staal tot de gewenste hoogte te verminderen. Aangezien het afschrikken van zuiver koolstofstaal een moeilijk nauwkeurig te beheersen bewerking is, geeft men bij het verharden aan het werkstuk eerst een grotere hardheid dan nodig is en laat daarop een tempering volgen, waartoe het staal zacht verhit wordt. Door deze temperatuurverhoging zullen nog aanwezige austeniet-kristallen (rest-austeniet) verder uiteen vallen, terwijl de fijne kristallieten van de harde structuren door rekristallisatie grover kristallijn worden. De martensiet- resp. troostiet- en sorbietstructuren zetten zich om in de richting van de zachtere evenwichtsstructuren. Het staal neemt in hardheid af en door regeling van de hoogte der temperatuur zowel als van de duur der verhitting kan men de hardheid tot de voor het betreffende werkstuk vereiste hoogte laten verminderen.

Het temperen wordt natuurlijk uitgevoerd bij temperaturen gelegen ver beneden de kritische temperatuur van de betreffende staalsoort. De duur en de hoogte der verhitting hangen af van de samenstelling van het staal, de aanvankelijke hardheid en de hardheid, die men bereiken wil.

(Wordt vervolgd)