



Warmtebehandelingen

Deel 2 - Harden, ontlaten en veredelen v

Voordat er kan worden gelast, zal er enige voorkennis moeten zijn van het te lassen basis-materiaal en hoe dit tot stand is gekomen. In deze rubriek staat de materiaalkundige kant van het vakgebied centraal. In de vorige aflevering gingen we in op een aantal warmtebehandelingen die de ongewenste effecten van voorgaande productieprocessen corrigeren. Deze maand aandacht voor het harden, ontlaten en veredelen van staal.

Staal heeft als voordeel dat de eigenschappen veranderd en verbeterd kunnen worden door het verwarmen en gecontroleerd afkoelen. Na productieprocessen als smeden en walsen kan de structuur dusdanig verstevigd zijn dat het problemen oplevert bij verdere behandelingen zoals verspanen of vervormen. Door het toepassen van een warmtebehandeling kan het staal zachter gemaakt worden voor verdere bewerkingen. Dit gebeurt om de volgende redenen:

- Verlagen van de hardheid of sterkte.
- Verbeteren van de structuur, bijvoorbeeld korrelverfijning.
- Veranderen van de elektromagnetische eigenschappen.

Het ontlaten van onderdelen in een oliebad bij de firma Bodycote, een specialist op het gebied van warmtebehandelingen, verbindingstechnieken en materiaalveredeling

(foto: Bodycote)



Zachtgloeien

Zachtgloeien en veredelen zijn gloeibehandelingen waarbij het staal zachter wordt. Het doel van zachtgloeien is het staal een structuur te geven met de laagste hardheid zodat het beter verspaanbaar en vervormbaar is. Ook verkleint het de kans op scheuren bij eventuele hardingsbehandelingen. Door de gloeiing neemt de treksterkte en hardheid zo'n 10 tot 25 procent af, daarentegen neemt de rek iets toe. Er wordt een structuur verkregen met globulaire (bolvormige) carbiden in een ferritische grondmassa. Door de globulaire carbiden breekt de spaan tijdens het verspanen beter en zal het metaaloppervlak ook gladder worden dan bij niet gegloeid materiaal.

Het staal wordt verhit tot net onder het austenietgebied (zie figuur 5), gevolgd door zeer langzaam afkoelen. Een andere manier is om de temperatuur te laten schommelen rond de 720°C (AC1) waarbij slechts een klein deel van de structuur wordt omgezet in austeniet (zie figuur 6). Dit wordt voornamelijk toegepast bij materialen met een hoog koolstofgehalte, bijvoorbeeld gelegeerde veredelingsstalen. De gloeiduur is circa 5 tot 24 uur (afhankelijk van de staalsoort) en wordt gevolgd door langzaam afkoelen in de oven.

Het zachtgloeien is een diffusieproces en berust op de neiging van de carbiden om de oppervlakte-energie te verlagen door de bolvorm aan te nemen. Ze gaan over van lamellaire carbiden in bolvormige. Bij ongelegeerd staal hoeft alleen de koolstof te diffunderen. In gelegeerd staal moeten naast de koolstof ook de substitutioneel opgeloste elementen worden verplaatst. Hierdoor is het zachtgloeien vooral

van staal



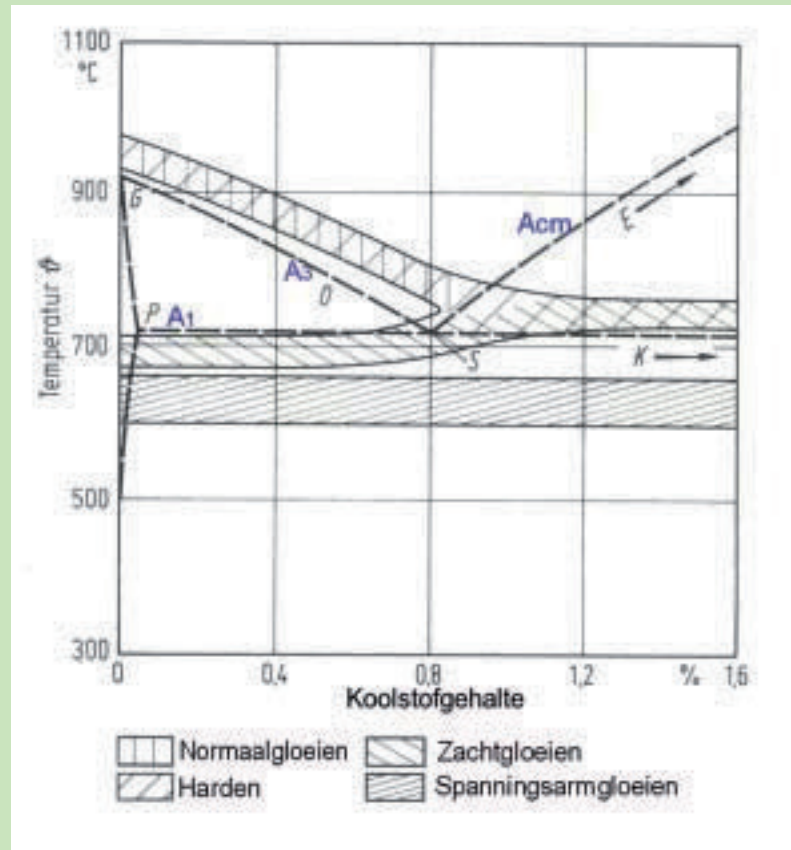
in gelegeerde staalsoorten een langdurig proces. De hoogste diffusiesnelheid van de elementen in het ferriet wordt bereikt vlak onder de overgangstemperatuur. Daarom wordt het materiaal bij zachtgloeien verwarmd tot vlak onder de A1-temperatuur (680 tot 710°C). Bij ongelegeerd staal zorgt deze methode gewoonlijk in vijf tot tien uur voor het gewenste doel. Bij gelegeerde staalsoorten zijn soms gloeitijden van 24 uur of langer nodig. Ook daarna is de bereikte hardheid nog steeds niet optimaal.

Zachtgloeien wordt voornamelijk toegepast bij staalsoorten met een koolstofgehalte van 0,9 procent of meer, voornamelijk de gereedschapsstalen. Voor staalsoorten met minder dan 0,9 procent C (gelegeerde veredelingsstaalsoorten) wordt het zachtgloeien wel eens gebruikt om het staal beter verspaanbaar te maken. Voor staalsoorten met minder dan 0,5 procent C is de zachtgloeide toestand voor verspanende bewerkingen ongunstig, omdat het materiaal zo zacht wordt dat het materiaaloppervlak onder de beitel zal vervormen (smeren) in plaats van snijden. Bij deze materialen geeft normaalgloeien de beste verspaanbaarheid.

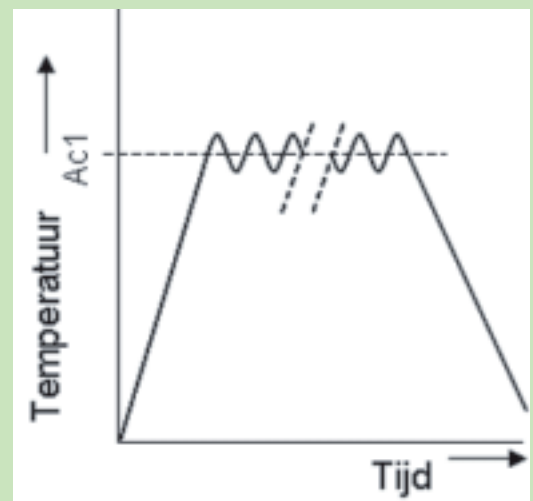
Over het algemeen kan het volgende worden gesteld: staalsoorten met minder dan 0,5 procent koolstof worden normaal gegloeid, terwijl stalen met koolstofgehalten boven 0,5 procent koolstof zacht worden gegloeid.

Harden

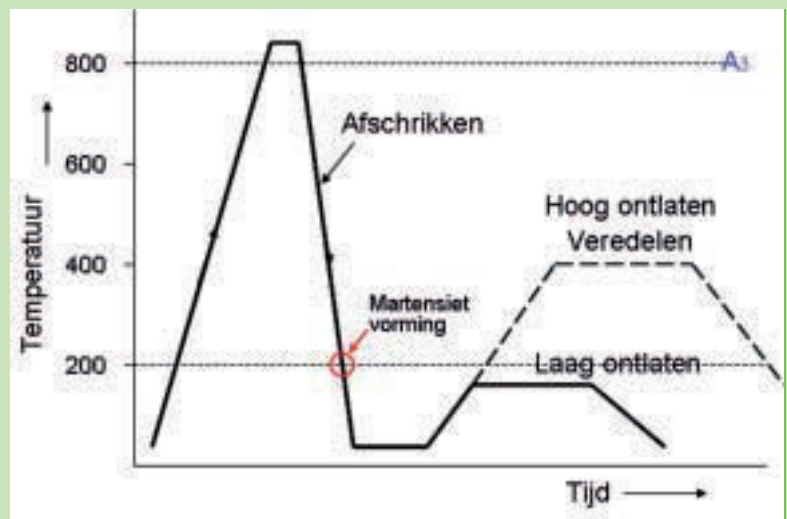
Het harden van staal wordt uitgevoerd met als doel de sterkte- en slijtage-eigenschappen van het staal te verbeteren. De warmtebehandeling bestaat uit het verhitten van het materiaal tot in het austenietgebied, gevolgd door zeer snel afkoelen. Dit wordt ook wel afschrikken genoemd (zie figuur 7). De snelheid waarmee moet worden afgeschrikt, kan worden bepaald met een CCT-diagram. De hardingsbehandeling wordt vaak gevolgd door een ontlaathandeling, om de verkregen harde structuur wat taaier (minder bros) te maken.



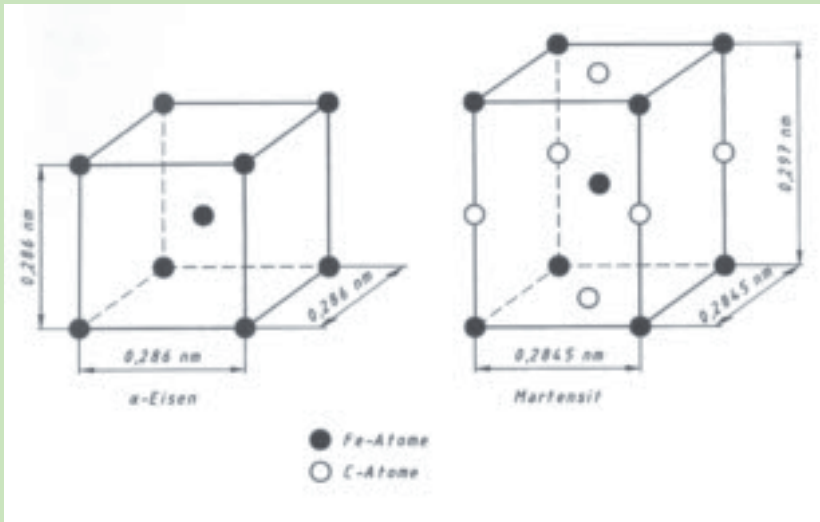
Figuur 5 - Gedeelte uit het ijzer-koolstof diagram en belangrijke gloeigebieden ¹



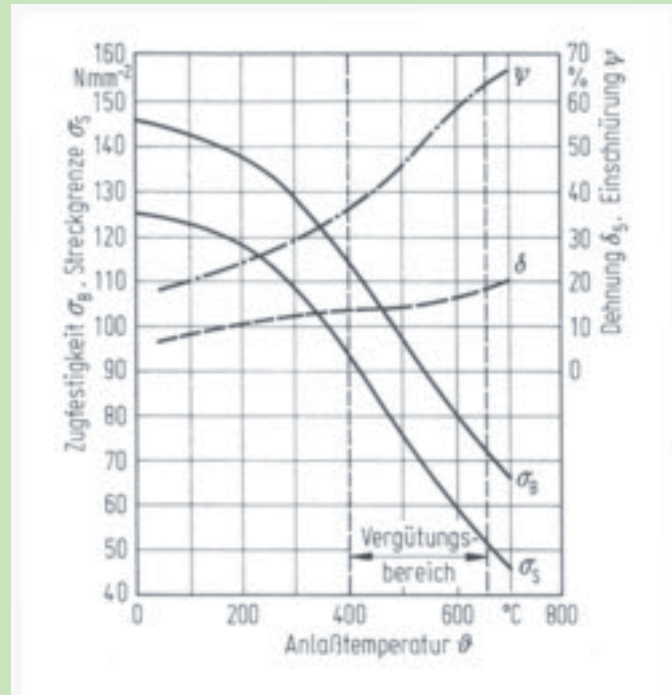
Figuur 6 - Schematische voorstelling van zachtgloeien, pendelen rond Ac1 ²



Figuur 7 - Het afschrikken van het materiaal ²



Figuur 8 - Het rooster van ijzeratomen wordt enigszins opgerekt waardoor er een tetragonale structuur ontstaat³



Figuur 9 - Er moet altijd een compromis worden gesloten tussen hogere sterkte en taaiheid¹



Ontstaan van hardingsstructuren

Het staal wordt verhit tot in het austenietgebied (boven A_3 en A_{cm}) en op temperatuur gehouden tot dat de gehele structuur austenitisch is geworden. De aanwezige koolstof en een deel van de legeringselementen lossen op in de austenietstructuur. Tijdens de snelle afkoeling vanuit het austenietgebied wordt de kubisch vlakken gecentreerde structuur bij circa 200°C in één keer omgeklapt naar de martensietstructuur. Gedurende de transformatie worden de koolstofatomen als het ware ingevangen in het kristalrooster en krijgen ze niet de tijd om zich naar de grotere holten van de kubisch ruimtelijk gecentreerde structuur te verplaatsen. Het rooster van ijzeratomen wordt een beetje opgerekt en er ontstaat een tetragonale structuur (zie figuur 8). Hierdoor ontstaan er hoge interne spanningen in het rooster.

De verkregen structuur wordt martensiet genoemd en is zeer hard en bros. De hardheid wordt vooral bepaald door de hoeveelheid koolstof in het materiaal. Hoe meer koolstof er zich in het staal bevindt des te meer spanningen in het rooster zullen ontstaan na een hardingsbehandeling en des te harder de martensiet zal worden. Vanaf 0,3 procent koolstof is het mogelijk om staal te harden.

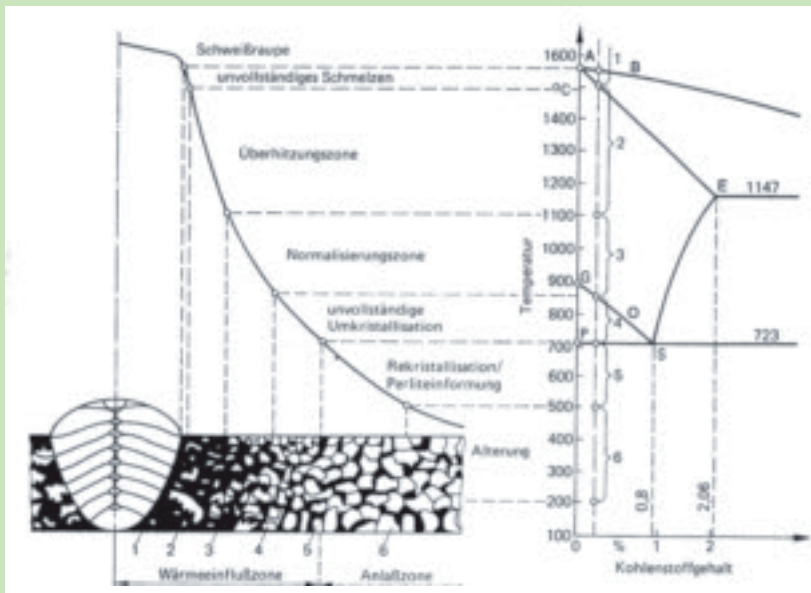
Bij het harden treedt er een volumeverandering op. Martensiet heeft namelijk een groter volume (circa 1,3 procent) dan ferriet en austeniet. Bij het vervaardigen van een onderdeel moet hier rekening mee worden houden. De verkregen volumetoename na het harden kan een extra slijpbewerking betekenen. Om de martensietstructuur te verkrijgen, moet een snelle afkoeling plaatsvinden. De afkoelsnelheid wordt bepaald door de kritische afkoelsnelheid van het materiaal en het is van groot belang dat deze kri-

tische snelheid wordt gehaald. Hiervoor wordt vaak water of olie gebruikt. Overigens komen hier ook de termen water- en oliehardend staal vandaan. Als het materiaal veel legeringselementen bevat, kan het materiaal ook luchthardend zijn. Dit betekent dat bij afkoelen in lucht de kritische afkoelsnelheid wordt gehaald. Deze afkoelsnelheid is kleiner naar gelang de hoeveelheid legeringselementen toeneemt. Ook de hardingsdiepte neemt toe met het percentage legeringselementen.

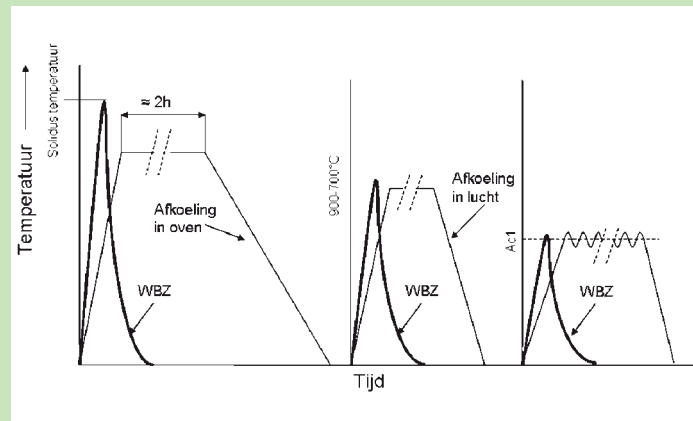
Restausteniet

Zoals beschreven moet austeniet snel worden afgekoeld om martensiet te verkrijgen. De onderkoeling zorgt voor de drijvende kracht van de martensitische transformatie. Het blijkt (zie ook CCT-diagrammen) dat als het koolstofgehalte in het staal toeneemt, het staal tot een lagere temperatuur moet worden afgeschrikt en het martensiet startpunt (M_s) daalt. Blijkbaar verloopt de transformatie niet zo gemakkelijk. Door de spanningen in het materiaal wordt er martensiet gevormd en wordt de verdere transformatie bemoeilijkt. Bij hoge koolstofgehalten in staal zal bij kamertemperatuur niet al het austeniet transformeren. Het overblijvende austeniet wordt restausteniet genoemd, dat niet stabiel is en bij verdere afkoeling zal worden omgezet naar martensiet. Ook zal door het uitoefenen van een kracht op het staal de transformatie verder gaan.

Door het werkstuk na het harden gelijk te verwarmen op lage temperatuur krijgt restausteniet de kans om zich om te zetten in de stabiele martensiet. Deze behandeling wordt ontlaten genoemd.



Figuur 10 - De WBZ van een ongelegeerd staal met circa 0,20 procent koolstof schematisch ingedeeld in verschillende zones¹



Figuur 11 - De verblijftijden en de afkoelsnelheid van de WBZ zijn vele malen sneller dan bij het gloeien³

Ontlaten

Het is belangrijk dat de geharde werkstukken na het harden gelijk worden ontlaten (ook wel temperen genoemd) voordat ze geheel zijn afgekoeld. Hiermee kan de brosheid na het harden zoveel mogelijk worden weggenomen. Het doel van ontlaten is tweeledig:

1. Spanningen door het harden opheffen, restausteniet omzetten in bainiet.
2. Gunstigste hardheid en taatheid verkrijgen voor de beoogde toepassing.

De ontlaattemperatuur wordt bepaald door de samenstelling van het staal en de gewenste eigenschappen na het ontlaten. Bij de meeste stalen ligt de ontlaattemperatuur tussen de 150 en 350°C. Door het verhogen van de temperatuur zullen diffusieprocessen optreden. Ontlaten bij een lage temperatuur vermindert de inwendige spanningen in het werkstuk, maar de restausteniet zal niet worden omgezet. Het ontlaten boven de 200°C zal de taatheid verbeteren, maar resulteert ook in een daling van de hardheid. Bij deze temperatuur wordt alle restausteniet omgezet in bainiet.

Samenvattend geldt: hoe hoger de ontlaattemperatuur des te groter de taatheid en des te lager de hardheid. Het is dus van belang om de voor het beoogde doel juiste ontlaattemperatuur te kiezen. Ontlaten bij temperaturen van circa 500°C of hoger wordt hoog ontlaten of veredelen genoemd.

Veredelen

Veredelen is harden en aansluitend daarop ontlaten op een zo hoge temperatuur dat daardoor een belangrijke verhoging van de treksterkte en taatheid

optreedt in vergelijking met onbehandeld staal. Het doel van veredelen is het verkrijgen van een zeer fijne verdeling van carbiden (vooral cementiet) in een fijnkorrelige ferritische grondmassa. Deze structuur zorgt voor de hoge sterkte en taatheid.

Het veredelen vindt plaats bij temperaturen tussen de 400 en 700°C, gevolgd door langzaam afkoelen in de oven of in olie. De voorschriften van de staalfabrikanten moeten nauwkeurig worden opgevolgd om het gewenste resultaat te behalen. Te hoge veredeltemperaturen zullen leiden tot een lagere treksterkte of taatheid dan gewenst. Het veredelproces is een diffusieproces, dezelfde resultaten zijn haalbaar door lang ontlaten bij lage temperatuur of korter ontlaten bij hogere temperatuur.

De resultaten van het veredelen zijn sterk afhankelijk van de mate van doorharding die bij het harden verkregen is. Bij onvolledige doorharding zijn de eigenschappen van de rand en de kern verschillend. Tijdens de veredelingsbehandeling krijgt de kern tijd om door middel van diffusie de juiste structuur te verkrijgen waardoor de mechanische eigenschappen verbeteren. Het voordeel hiervan is dat het verschil tussen kern en rand na veredelen veel minder groot is dan direct na het harden.

Het is moeilijk om bij grotere doorsneden een goede doorharding tot in de kern te krijgen. Tijdens het afkoelen heeft dik materiaal meer tijd nodig om ook in de kern af te koelen. Door legeringelementen toe te voegen, wordt de vereiste afkoelsnelheid verlaagd waardoor deze minder kritisch wordt. Noodzakelijke legeringelementen zijn naast koolstof ook chroom, mangaan en molybdeen. Bij dikker materiaal zijn steeds meer legeringelementen nodig, zo moet veredelingsstaal minimaal 0,3 procent koolstof bevat-



ten. Bij een ideale harding kan men staal met een koolstofgehalte van 0,4 procent harden tot een hardheid van 60HRC.

Zoals met veel zaken dient men ook hier een compromis te sluiten. Hoe hoger de ontlaattemperatuur des te lager de treksterkte en des te hoger de taatheid. Er is altijd sprake van een compromis tussen hogere sterkte en taatheid. Hoge veredelingsstemperaturen geven een lage sterkte maar hoge taatheid, terwijl lage veredelingsstemperaturen een hoge sterkte en een mindere taatheid geven (zie ook figuur 9).

Spanningsarmgloeien

In de apparaten- en ketelbouw worden vaak veredelingsmaterialen toegepast. Typische veredelingsmaterialen zijn gelegeerd met chroom en molybdeen. Soms is het noodzakelijk om een werkstuk na bijvoorbeeld diverse lasbewerkingen spanningsarm te gloeien. Hierbij moet niet worden vergeten dat het veredelde materiaal nooit verwarmd mag worden boven de veredelingsstemperatuur. Doet men dit wel, dan zal er ongewenste achteruitgang van de mechanische eigenschappen optreden. Daarom is het belangrijk altijd minimaal 50°C onder de veredelings- of ontlaattemperatuur van het materiaal te blijven.

De ontlaat- of veredelingsstemperatuur hoort op het materiaalcertificaat of materiaalattest vermeld te worden door de materiaalfabrikant. Als dit certificaat er niet is, is het veilig om 50°C onder de minimale veredelingsstemperatuur van het betreffende materiaal te blijven.

Relatie met lassen

In de warmtebeïnvloede zone (WBZ) naast de las worden microstructuren aangetroffen die overeenkomen met de structuren die met de hierboven beschreven warmtebehandelingen vergeleken kunnen worden. Vanaf het neergesmolten lasmateriaal tot aan het gebied wat niet door de laswarmte is beïnvloed, zien we diverse hardingsstructuren en gloeistrukturen die in elkaar overlopen. In de las en net daarnaast is bijvoorbeeld een naaldvormige dendrietstructuur te zien. Dit wordt ook wel Widmanstättenstructuur (stollingsstructuur) genoemd. Hoe verder van de las verwijderd des te meer fijnkorrelig de structuur is tot de onbeïnvloede plaatstructuur.

De WBZ van een ongelegeerd staal met circa 0,20 procent koolstof is in figuur 10 schematisch ingedeeld in verschillende zones. De temperaturen en de grootte van de daarbij behorende zones zijn sterk afhankelijk van het lasproces en de warmtehuishouding.

- Zone 1: dit gedeelte ligt direct naast de smeltlijn.

Deze zone bereikt de hoogste temperatuur van de WBZ. Het materiaal is niet helemaal vloeibaar geweest.

- Zone 2: de hoogste temperaturen liggen tussen de soliduslijn (waaronder alles vast is) en circa 1000°C. Door de hoge temperatuur treedt korrelgroei op en ontstaat er een grofkorrelige structuur.
- Zone 3: hier herkennen we een genormaliseerde structuur in de WBZ. Het ferriet en perliet zijn fijnkorrelig en gelijkmatig verdeeld. De korrelverfijning is het gevolg van het doorlopen van een fase-transformatie, waarbij kiemvorming en kiemgroei optreedt.
- Zone 4: hier vindt onvolledige rekristallisatie plaats.
- Zone 5: rekristallisatiezone, de temperatuur bereikt waarden tot A1. De cementietlamellen van de perliet gaan zich tot bolvormige cementiet omvormen.
- Zone 6: hier komt de temperatuur niet boven de 700°C en zal men met de lichtmicroscop geen structuurveranderingen vinden ten opzichte van de basisstructuur van de plaat. Dat wil niet zeggen dat er ook geen veranderingen plaatsvinden. Het is mogelijk dat er uitscheidingen zijn, zoals uitharden of verouderen. Ook kunnen aanwezige spanningen gedeeltelijk worden opgeheven (spanningsarmgloeien).

De vergelijking van de structuren in de WBZ met de verkregen gloeistrukturen gaat niet helemaal op. De verblijftijden en de afkoelsnelheid van de WBZ zijn vele malen sneller dan bij het gloeien (zie figuur 11). Wel geeft het een idee van wat er in de warmtebeïnvloede zone gebeurt. ■

Literatuur

- P.J. Kool, J. v/d Linde, Warmtebehandelingen van staal I, 1957.
- Beckert, Kompendium der Schweisstechnik, Band 3, Eignung metallischer Werkstoffe zum Schweißen, 1997.
- D. Liedtke, R. Jonsson, Warmbehandlung, Grundlagen und Anwendungen für Eisenwerkstoff, 1991.
- P. Jongenburger, B.M. Korevaar, Collegedictaat materiaalkunde II (m 12b), 1970.

Noten

1. Liedtke, R. Jonsson, Warmbehandlung, Grundlagen und Anwendungen für Eisenwerkstoff, 1991.
2. Geri van Krieken.
3. Beckert, Kompendium der Schweisstechnik, Band 3, Eignung metallischer Werkstoffe zum Schweißen, 1997.