

Warmtebehandelingen van metalen en de belangrijkste uitdagingen

i ir. Bernard Vandewiele
voorzitter van VWT (Vereniging voor Warmtebehandelingstechniek)

Warmtebehandelingen zijn van essentieel belang om de gewenste eigenschappen te bekomen in de metalen en producten, dit zowel tijdens fabricageprocessen van halfproducten als tijdens de eindafwerking van componenten. Er bestaat een veelheid aan materialen en legeringen: staal, gietijzer, aluminium, titaan, nikkel & kobalt superlegeringen. In elke categorie bestaan er diverse groepen van legeringen met specifieke toepassingsgebieden. Gezien de verscheidenheid tussen de diverse groepen bestaat er een groot aantal warmtebehandelingen die sterk uiteen lopen qua temperatuur en atmosfeer.

OVERZICHT VAN DE WARMTEBEHANDELINGEN

De verschillende warmtebehandelingen kunnen onderverdeeld worden in twee grote groepen: de warmtebehandelingen tot in de kern (core) en de warmtebehandelingen aan het oppervlak of randzone (case). Een schematisch overzicht is gegeven in figuur 1.

WARMTEBEHANDELING TOT IN DE KERN ("CORE")

Binnen de groep "core" heeft men twee grote blokken: de blok gloeiprocessen (anneal) en de blok hardingsprocessen (harden).

A) GLOEIPROCESSEN

Gloeiprocessen hebben specifieke doelen zoals aangegeven in de naam ervan. De realisatie qua temperatuur zal natuurlijk voor

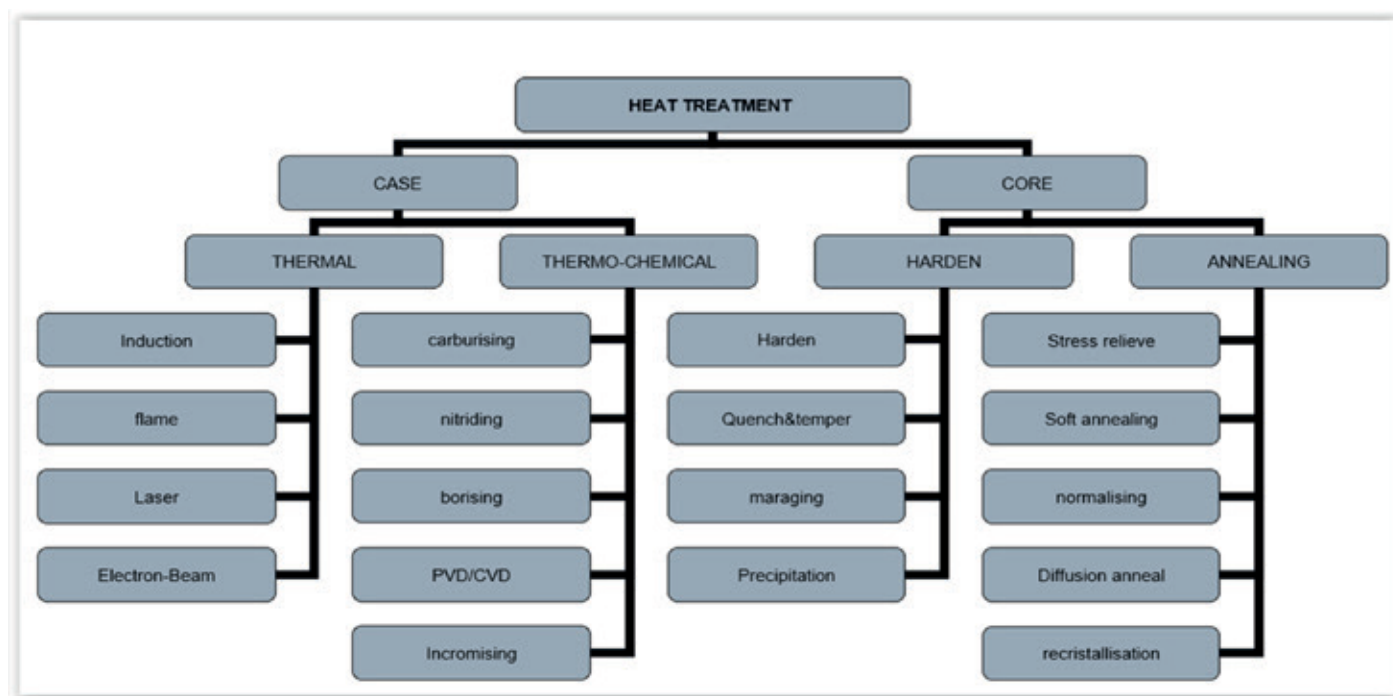
elke behandelingen sterk verschillen met het legeringstype waarover het gaat.

Spanningsarm gloeien (stress relieve) is een behandeling met als doel de interne spanningen in het materiaal of in de component te verlagen door een verhoging van de temperatuur. Dit berust op het feit dat de sterkte van metalen afneemt met de temperatuur en bij verhoogde temperatuur zullen de aanwezige spanningen geleidelijk verminderen door lokale plastische vervorming tot een niveau dat overeenkomt met de elasticiteitsgrens.

Zacht gloeien (soft annealing) is een behandeling om de zachtste toestand van het materiaal te bekomen zodat koud-vervorming of mechanische bewerking makkelijker mogelijk wordt.

Normaliseren (normalising) is een behandeling waarbij men de "normale" structuur wil bereiken die men bekomt door een relatief langzame afkoeling van hoge temperatuur.

Diffusie gloeien (diffusion anneal) is een behandeling die door diffusie op hoge



Figuur 1: overzicht hardings processen

temperatuur verschillen in lokale chemische samenstelling of segregaties probeert te verminderen. Per definitie zal dit steeds op een hoge tot zeer hoge temperatuur gebeuren voor de legering.

Rekristalliserend gloeien (recrystallisation) is een behandeling waarbij men een sterk vervormde structuur laat rekristalliseren tot gelijkassige structuur zodat verdere plastische vervorming mogelijk wordt. De versterking door koud-vervorming gaat wel verloren.

De gloeiprocesen zijn hoofdzakelijk isotherme of quasi-isotherme processen waarbij de afkoeling na de behandeling traag is: afkoelsnelheid van rustige lucht of eventueel trager met een afkoeling in de oven. Gezien de grote variabiliteit in materialen, afmetingen van de stukken en de toepassingsgebieden is er zeer grote verscheidenheid aan technische oplossingen. In een aantal gevallen moeten beschermende atmosferen of het gebruik van beschermde coatings gebruikt worden om ongewenste oppervlaktereacties te voorkomen.

B) DE HARDINGSPROCESSEN

Hardingsprocessen hebben tot doel om de gewenste hardheid te bereiken al dan niet in combinatie met andere optimale gebruikseigenschappen. Het zijn dynamische processen waarbij kritische afkoelsnelheden een belangrijke rol spelen om tot de gewenste resultaten te komen. Hiervoor bestaat er een waaier van afschrikmidelen en methoden in functie van de te behandelen legering, de massiviteit en de hardingsmethode.

Harden (harden) is de behandeling met als doel de hardste structuur te bereiken. Hier gaat het om de structuur om te zetten naar een structuur die minder of geen vervorming toelaat.

Meestal gebeurt dit door een snel koelen of afschrikken zodat normale interne diffusie gedreven structuurveranderingen onderdrukt worden. Dit kan resulteren in een nieuwe structuur zoals in staal met de transformatie van austeniet naar martensiet en waarbij de hardheid sterk afhankelijk is van het koolstofgehalte in de austeniet (%C) zoals weergegeven in de figuur 2a. Dit kan ook resulteren in het behoud van een oververzadigde structuur op kamertemperatuur die dan de basis zal vormen voor het precipitatie harden.

Veredelen (quench&temper) is een warmtebehandeling in twee stappen: eerste stap is het harden en de tweede stap is het ontlaten (temperen) op hogere temperatuur. Dit is typisch om de gewenste optimale sterkte eigenschappen voor staal te bereiken. Door de keuze van de temperatuur kan het gewenste sterkteniveau ingesteld worden. Dit is weergegeven in de figuren 2b en 2c. Voor de diverse groepen staallegeringen zijn de zogenaamde veredelingsdiagrammen beschikbaar.

Maraging (maraging) is een 2-staps warmtebehandeling voor een specifieke groep hoog gelegeerd staal op basis van Ni(18%)/Co(9%)/Mo(4%)/Ti(0.5%)/Al(0.1%) met een zeer laag %C (0.03%). Deze staalsoorten hebben een zeer hoge sterkte en behoorlijke ductiliteit.

De eerste stap is het austeniteren bij een temperatuur van ca. 820°C. Na het afkoelen van de austeniet in lucht of sneller in functie van de massiviteit ontstaat een zachte Fe-Ni latten-martensiet met een

hoge dislocatie dichtheid.

De tweede stap is het verouderen (aging) op een temperatuur van 480°C-500°C. Dit is eigenlijk een precipitatie harding waarbij er stapsgewijs (coherent en incoherent) een dispersie van fijne intermetallische precipitaten $Ni_3(X,Y)$ gevormd wordt langs de dislocaties ontstaan bij de martensiet transformatie.

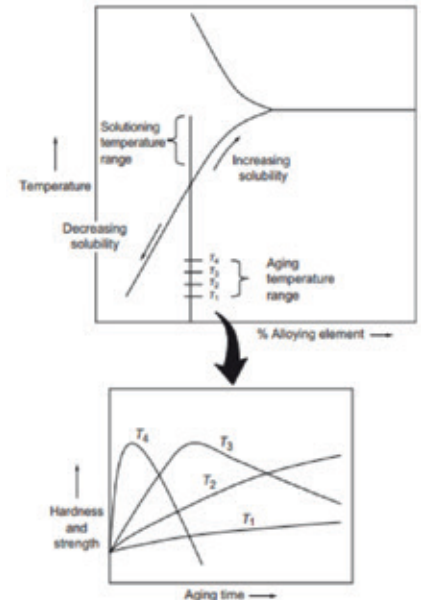


Fig. 3 Typical precipitation hardening heat treatment. Source: Ref 1

Precipitatie harden (precipitation) is een 2-staps warmtebehandeling die kan toegepast worden op legeringen met een beperkte oplosbaarheid op lage temperatuur en een hoge oplosbaarheid op hoge temperatuur. Daardoor is het mogelijk om precipitaten te vormen vanuit een oververzadigde oplossing. De warmtebehandeling is een 2-staps warmtebehandeling waarbij in de eerste stap een homogene oplosgegloeide structuur gevormd wordt en waarna door snel afkoelen of afschrikken deze structuur behouden blijft tot op

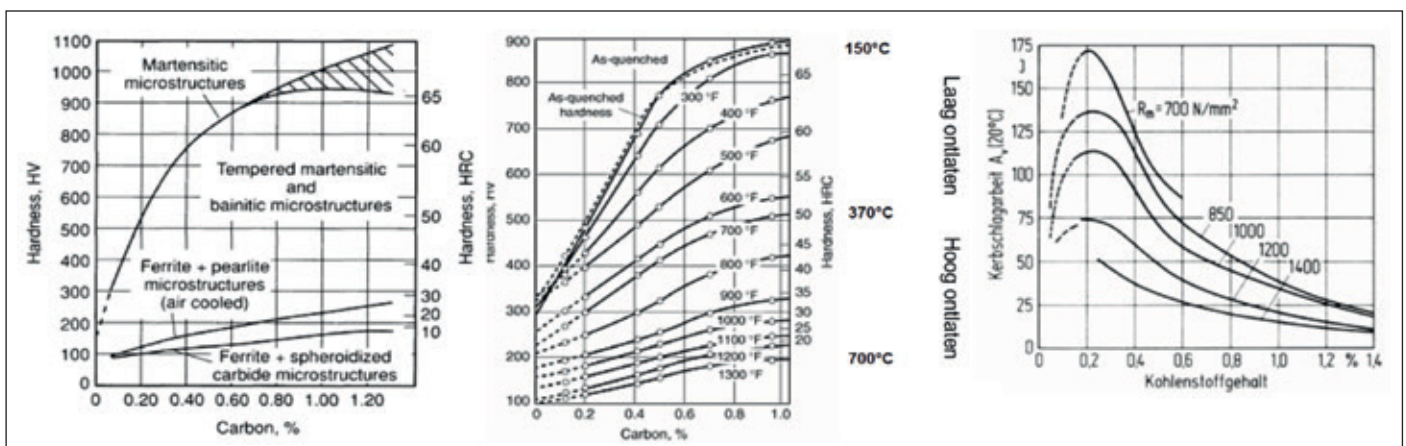


Fig 2a, 2b en 2c: Invloed %C op hardheid, veredelen en schokbestendigheid

kamertemperatuur. Na deze stap is de hardheid laag en kunnen koudbewerkingen plaats vinden. Deze structuur is meta-stabiel en zal in principe evolueren naar een stabiele structuur in functie van de legering en de temperatuur (= verouderen of aging).

In de tweede stap kan men door verhogen van de temperatuur stapsgewijze (coherent en incoherent) precipitaten laten ontstaan uit die oververzadigde structuur en waarbij de uiteindelijke hardheid en sterkte eigenschappen bereikt worden. Dit is schematisch weergegeven in figuur 3. Deze warmtebehandeling wordt toegepast op aluminium legeringen (2000 serie (2024), 6000 serie (6061) en 7000 serie (7075), op precipitatie hardende roestvaste stalen (17/4 PH, 17/7PH, PH 15/7) en op de nikkel of kobalt gebaseerde superlegeringen (Inconel 718, Alloy X-750, René 41, Waspaloy). Uiteraard zullen de gebruikte temperaturen en tijden sterk verschillen tussen de diverse legeringstypes. Bij de aluminium legeringen dient men de onderdelen op zeer lage temperatuur (-20°C tot -32°C) te bewaren om de "as quenched" toestand te behouden tot men gaat koud vervormen. Bij aluminium treedt reeds op kamertemperatuur een natuurlijke veroudering (natural aging) op (temper toestand T4). Gaat men verouderen bij verhoogde temperatuur dan spreekt men van kunstmatige veroudering (artificial aging) wat op een meer gecontroleerde en snellere tijd gebeurt, temper toestanden T6 , T73, enz.

WARMTEBEHANDELINGEN IN DE OPPERVLAKTE-RANDZONE ("CASE")

Voor heel wat toepassingen zijn de belastingen het grootste in de randzone en aan het oppervlak en ook in bepaalde zones aan het oppervlak. Oppervlaktewarmtebehandelingen zijn dan ook het middel bij uitstek om hier voor oplossingen te bieden en de componenten de gewenste eigenschappen te geven zoals microstructuur, hardheid, sterkte , vermoeiingsweerstand, slijtage weerstand, corrosieweerstand, enz. Binnen de groep "case" heeft men twee grote blokken: de blok thermische oppervlaktebehandelingen (thermal) en de thermochemische oppervlaktebehandelingen (thermo-chemical)

A) DE THERMISCHE OPPERVLAKTE HARDINGSPROCESSEN

Bij deze gaat het om zuiver thermisch oppervlakte warmtebehandelingen waarbij de chemische samenstelling in de rand niet gewijzigd wordt. De verschillen tussen de behandelingen zijn gebaseerd op de bron die gebruikt wordt voor het opwarmen: in de randzone door elektromagnetische inductie en op het oppervlak met de vlam, laser of elektronenstraal. De intensiteit van de specifieke energie overdracht is sterk verschillend. Dit is schematisch weergegeven in figuur 4a.

Inductief randharderen

Dit is veruit de meest toegepaste techniek. Enkel de randzone wordt opgewarmd en het kernmateriaal niet. Het principe is te zien in fig. 4b. en het resultaat in fig. 5. De frequentie bepaalt in ruime mate het toepassingsveld. Voor het randharderen gebruikt men meestal middel of hoogfrequent generatoren. De procesparameters zijn wel bekend en het komt erop aan de juiste inductor te ontwikkelen. Door combinatie van de gebruikte frequenties (dual frequency) kan de contour getrouwheid van de geharde zone verbeterd worden wat voornamelijk bij tandwielen tot applicaties kan leiden. Het feit dat de kern niet verhit en geen transformaties ondergaat, betekent dat de vervormingen intrinsiek (zeer) beperkt zijn.

Het is duidelijk dat dit soort warmtebehandelingen uitermate geschikt is om in een productielijn te integreren. Uiteraard dienen de eisen voor het kernmateriaal vooraf door een warmtebehandeling gerealiseerd te worden en dient het verspanen ook op dit behandeld materiaal te gebeuren wat tot extra moeilijkheden kan leiden.

Vlam harden

Dit wordt toegepast enkel op grotere stukken en bij kleine reeksen of bij één enkel stuk (fig. 4c). De nauwkeurigheid van deze behandeling is lager en sterk afhankelijk van de operator. Het oppervlak is sterk geoxideerd en ook de milieu- en gezondheidsaspecten zijn niet gering.

Bron	Spec.transfert. [kW/cm ²]
Furnace (radiation)	0,008
Salt bath (liquid)	0,02
Gasburners	1
Induction	30
Laser	5.000
Electro Beam	10.000

Fig 4a Specifieke warmteoverdracht

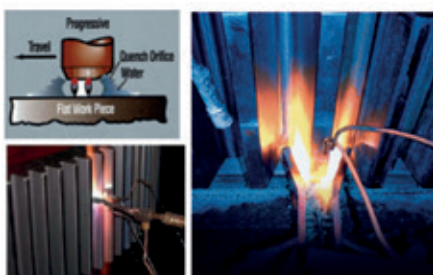


Fig 4c Principe van vlamharden

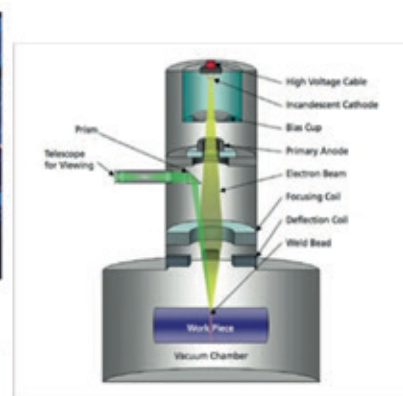


Fig 4e Principe electronenstraal harden

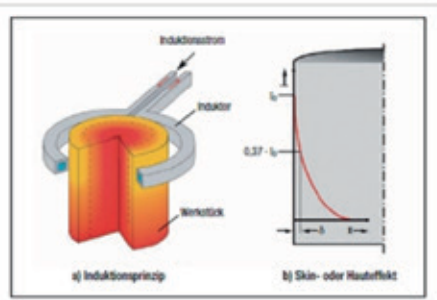


Fig 4b Principe van inductie verwarming.

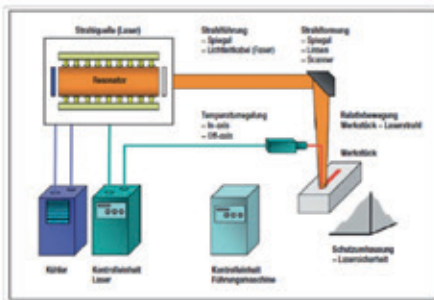


Fig 4d Principe Laserharden

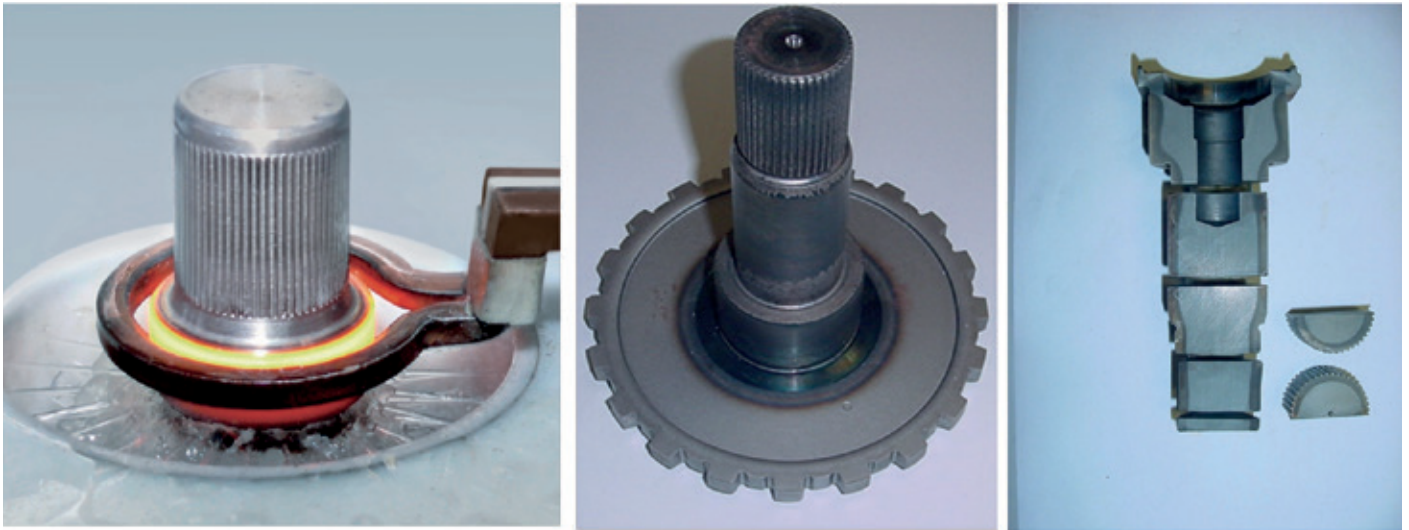


Fig. 5 Inductief randharden

Laser harden

Bij deze techniek wordt het oppervlak met de laserstraal snel opgewarmd. Meestal worden hoog energetische diode lasers gebruikt. De beheersing van de energieverdeling in de laserspot en de snelle relatieve beweging van de spot over het oppervlak van het werkstuk zijn bepalend voor de te bereiken resultaten (fig. 4d). De toepassing is hoofdzakelijk voor kleinere hardingsdieptes. Bij deze techniek gebruikt men meestal het zelf-afschrikken ("self-quenching") door het werkstuk. De toepassingen van deze techniek blijven toch eerder beperkt.

Elektronen-straal harden

Bij deze techniek is de specifieke warmte inbreng zeer groot en dient men de spot snel te laten bewegen over het oppervlak dat men wil harden om oververhitting en smeltverschijnselen te vermijden (fig. 4e). Gezien het geheel in vacuüm dient te gebeuren is dit een dure techniek en enkel voor zeer specifieke applicaties.

B) DE THERMOCHEMISCHE OPPERVLAKTE HARDINGS-PROCESSEN

Bij deze groep gaat men de chemische samenstelling in de randzone wijzigen in combinatie met een thermische behandeling. De meeste toepassingen liggen bij staal maar dat hoeft niet uitsluitend zo te zijn. Koolstof is het belangrijkste element om in het onderdeel de gewenste eigenschappen te bereiken zowel in de kern, de rand als aan het oppervlak (zie ook

VOMinfo themanummer september 2019). Gezien er een stofoverdracht is aan het oppervlak dient het oppervlak zorgvuldig en volledig gereinigd te worden. Dit is niet altijd evident als de aard van vervuiling onbekend is.

Carboneren & carbo-nitreren (carburizing & carbo-nitriding)

Bij deze behandelingen wordt de rand aangerijkt in koolstof (carburizing) en in koolstof + stikstof (carbo-nitriding). Dit gebeurt op hoge temperatuur boven A_{C_3} (890°C – 1000°C) waarbij het staal austenitisch is. Dit kan gebeuren op verschillende wijzen maar de twee meest gebruikte zijn: in een opkolende gasatmosfeer op atmosferische druk (typisch 20%CO, 40% H_2 , 40%N aangerijkt met CH_4 of C_3H_8 + eventueel NH_3) en in vacuüm (ca. 10 mbar) waarbij door het afwisselen van pulsen acetyleen (C_2H_2) in vacuüm een opeenvolging van "boost"-diffuse" stappen bekomt. Door te spelen met de verhoudingen kan men goede re-

sultaten bereiken. In beide gevallen resulteert dit in een C-profiel in de randzone gekenmerkt door een oppervlakte %C en een diepte tot een %C (C-limiet).

Daarna volgt altijd een afharden zodat het gewenste hardheidsprofiel ontstaat.

Dit gebeurt meestal in olie in klassieke ovens en in gas op hoge druk vooral gekoppeld aan het lage druk opkolen. Het resultaat is dat de gewenste microstructuur en hardheid zowel in rand als in de kern bereikt worden. Dit is schematisch gegeven in figuur 6.

Bij het carbonitreren wordt er aan de rand ook stikstof overgedragen en ontstaat er ook een N-profiel en dit geeft bijkomende mogelijkheden naar de bedrijfsvoering en de bereikte eigenschappen. De laatste jaren is er hard gewerkt om het geheel meer gecontroleerd te laten verlopen zodat de resultaat zekerheid sterk toegenomen is wat tot nieuwe toepassingen kan leiden.

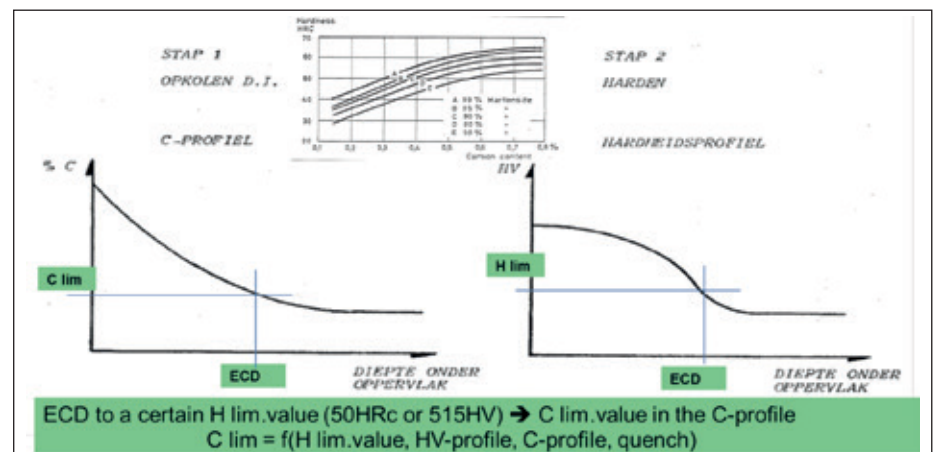


Fig 6 carboneren: opkolen en harden, c-profiel en HV-profiel

Nitren & nitrocarboneren (nitriding & nitro-carburizing)

Bij deze behandelingen wordt de rand aangrijkt in stikstof (nitriding) en in stikstof + koolstof (nitro-carburizing). Dit gebeurt quasi altijd op temperaturen beneden 590°C (AC1 in het Fe-Ni evenwichtsdiagram) en waarbij het staal ferrietisch is. Het resultaat is dat er aan het oppervlak een verbindingslaag (compound layer; white layer) ontstaat bestaande uit de intermetallische verbindingen $\epsilon\text{-Fe}_2(\text{N,C})_{1-2}$ en $\gamma'\text{-Fe}_4(\text{N,C})_{1-2}$ en een diffusiezone (diffusion layer) bestaande uit precipitaten van nitrides met legeringselementen zoals CrN, VN, AlN... of uit naaldvormige Fe-nitriden bij ongelegeerd staal of een oververzadigde ferriet met stikstof bij het afschrikken van ongelegeerd staal. Dit is weergegeven in figuur 7.

Het hardingsmechanisme is een precipitatieharding door de vorming van de nitrides tijdens het nitrenen zelf. Dit resulteert in een hardheidstoename in de randzone bovenop de kernhardheid die ongewijzigd

blijft tijdens het nitrenen. Dit kan gebeuren in zoutbaden, in plasma en in gas. De verbindingslaag is vooral belangrijk voor de goede tribologische eigenschappen en de diffusie-laag is belangrijk voor de vermoeiingseigenschappen. Bovendien ontstaan er altijd druk-eigenschappen aan de rand wat goed is tegen de negatieve effecten van kerfwerking. Door een aangepaste na-oxidatie bekomt men een dunne maar dichte oxide-laag die een zeer goede corrosieweerstand heeft en een mooi egaal zwarte kleur. Corrosieweerstand vaak beter dan de betere chroomlagen.

Gezien de afwezigheid van grote structuurtransformaties en de relatief lage behandelings-temperaturen zijn de vervormingen uiteraard ook zeer beperkt.

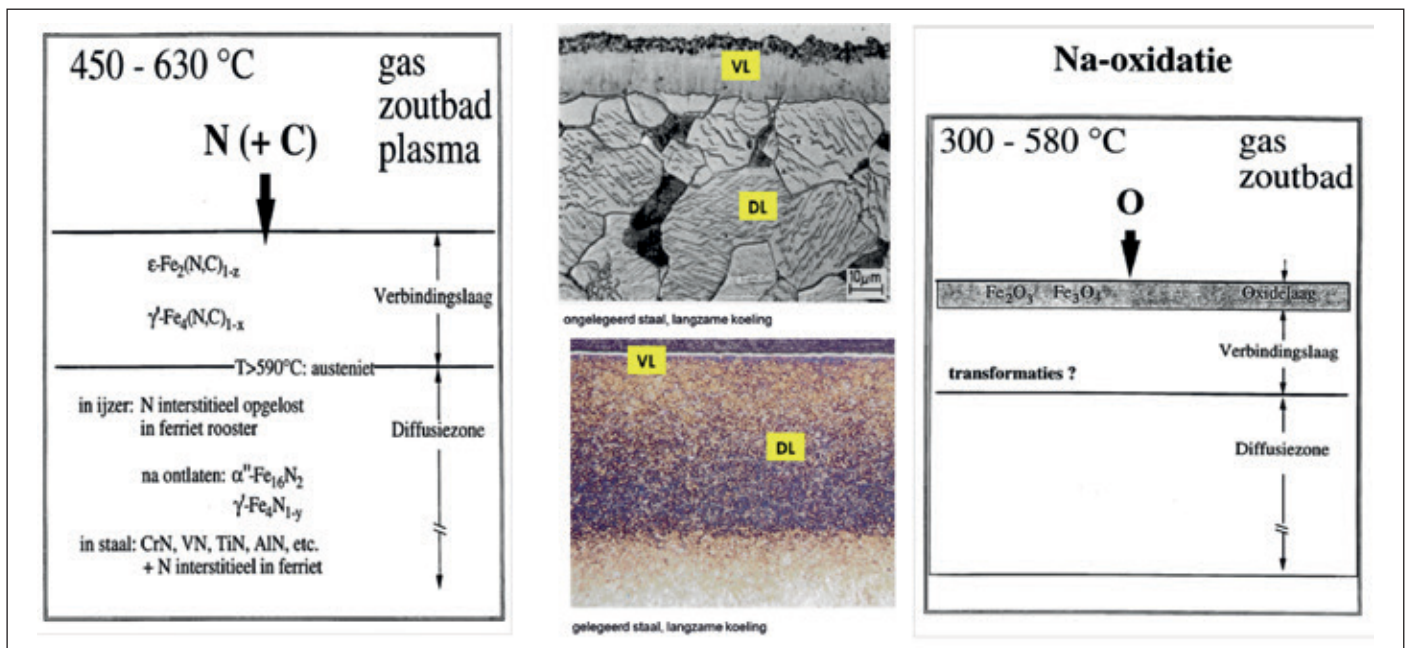
Bij nitrenen, meestal rond de 500°C - 520°C, in gas en in plasma, gaat het voornamelijk om de diffusie-laag, liefst met een dunne verbinding-laag, en dus om de gewenste vermoeiingseigenschappen te realiseren.

Bij nitro-carboneren, meestal rond 570°C, zowel in zout-bad, plasma als in gas, gaat in eerste instantie om een dikkere verbindingslaag (15 - 25 μm) te vormen en de goede tribologische eigenschappen te realiseren al of niet aangevuld met goede corrosie-eigenschappen door een na-oxidatie eventueel gekoppeld aan een polijsten.

De laatste jaren is er veel onderzoek gebeurd om austenietisch roestvast staal te nitrenen zonder negatieve invloed op de corrosieweerstand mits aangepaste procesvoeringen bij lagere temperatuur (350°C - 450°C) zodat chroomnitride of chroomcarbide vorming vermeden wordt. Figuur 8 geeft een voorbeeld van de laagopbouw in de randzone. De zogenaamde S-fase is eigenlijk geëxpandeerd austeniet zoals recent onderzoek bewees.

Inchromeren, boreren, PVD/CVD processen (Inchromising, boring PVD/CVD)

Dit zijn een aantal vrij specifieke oppervlaktebehandelingen waarbij koolstof een belangrijke rol speelt in combinatie met de



Figuur 7 Schematisch overzicht, N & N/C, typische microstructuur, na-oxidatie



Figuur 8 Nitreren van austenietisch roestvast staal, "expanded austenite" randzone

legeringselementen. Het zijn ook diffusielagen waarbij er een goed hechtende laag gevormd wordt in de uiterste randzone mits correcte procesparameters. Meestal zijn deze vrij specifieke processen getriggerd op een specifieke toepassing of op specifieke omgevingsfactoren. Altijd een hoge hardheid en goede tribologische eigenschappen soms aangevuld met goede corrosieweerstand.

Figuur 9 geeft een beeld van de oppervlaktehardheden voor diverse processen.



Fig 9 oppervlaktehardheid versus processen

Uiteraard zijn de oppervlakte hardingsprocessen uitermate belangrijk voor de gebruikseigenschappen zoals microstructuur, hardheid, sterkte, vermoeiingsweerstand, slijtage weerstand, corrosieweerstand, ed. Als men kijkt naar de groep van tandwiel met rechte vertanding dan geeft figuur 10 een vergelijking voor de vermoeiingsweerstand en de verschillende warmtebehandelingen. Het moge duidelijk zijn dat carboneren hiervoor zeer belangrijk is. Dit is natuurlijk ook van toepassing op andere producten. Uiteraard geven nitreren en inductief randharden ook een aanzienlijke verbetering t.o.v. niet oppervlaktebehandelde producten.

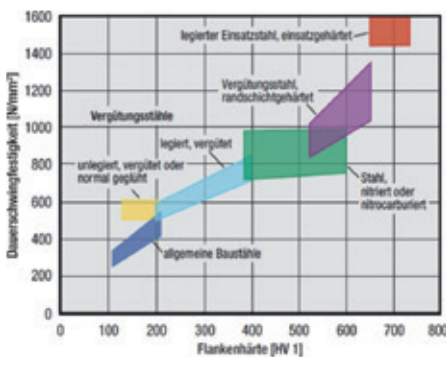


Fig 10 vermoeiingsweerstand versus HVI bij rechten tandwiel per warmtebehandeling

BELANGRIJKE TENDENSEN EN UITDAGINGEN

Gezien dat de er blijvende evolutie is in de vraag naar steeds hogere eisen en naar nieuwe toepassingen is er een nood om de bestaande processen continu te verbeteren en om nieuwe processen en technieken te ontwikkelen. Drijvende krachten zijn: kwaliteit, prestatie van de behandelde onderdelen, kostenbeheersing en reductie, competitiviteit met andere mogelijke oplossingen en tussen bedrijven, milieu- en wettelijke bepalingen.

Hieronder zijn enkele aspecten en uitdagingen verder toegelicht.

A) MAATVERANDERING EN VERVORMING: QUENCHING AND DISTORTION ENGINEERING

Maat- en vormverandering zijn dus intrinsiek verbonden met de warmtebehandelingen. In de praktijk heeft men te maken met opwarmsnelheden en afkoelsnelheden die verschillend zijn aan het oppervlak, randzone en kern en in functie van de massiviteit van de sectie. Hierdoor zijn thermische gradiënten en spanningen niet te vermijden en deze kunnen resulteren in blijvende vervorming en restspanningen. Door deze thermische gradiënten tijdens het afschrikken, zullen transformaties niet op hetzelfde moment plaats vinden waardoor er ook transformatiespanningen ontstaan die ook tot vervorming en restspanningen leiden.

Beheersing van de vervormingen is dan ook een belangrijk aandachtspunt. Restspanningen kunnen zowel trek- als drukspanningen zijn waarbij druk eigenspanningen in de randzone positief zijn voor de vermoeiingsweerstand. Uiteraard zijn er voor het afschrikken diverse afkoel- en afschrikmiddelen beschikbaar en die in eerste lijn aangepast moeten worden aan de soort warmtebehandeling, de staalsoort (hardbaarheid) en de massiviteit (sectieverschillen, overgangsradii,...) van de te behandelen stukken.

Een zuivere maatverandering kan men eenvoudig corrigeren via een betrouwbare zacht-hard relatie. Vervormingen kan men niet eenvoudig compenseren. Waar men vroeger de vervormingen en de beheer-

sing ervan enkel naar de warmtebehandelaar of afdeling toeschoof is er op dit moment een grote consensus dat er nog veel meer invloedfactoren zijn zowel materiaal (hardbaarheid), staalbereiding en smeedprocessen (segregaties, smeedlijnen, onzuiverheden, smeedstukvorm, ..), vormgeving (ontwerp, onvoldoende symmetrie, sectieverschillen en overgangen), verspanende vormgeving of andere vormgevingstechnieken vooraf aan de warmtebehandeling. De ganse productieketen is van invloed. Bovendien blijkt dat de mogelijkheden bij een goed vastgelegd warmtebehandelingsproces vrij beperkt zijn naar verdere optimalisatie. Dit heeft aanleiding gegeven tot heel wat onderzoek en een domein dat men "Quenching and Distortion Engineering" noemt en waar geregeld vrij gespecialiseerde congressen over gehouden worden. Dit onderzoek gaat steeds verder en resulteert in het kwantificeren van alle invloedfactoren. Dit resulteert in het ontwerpen van steeds betrouwbaardere numerieke modellen waardoor het mogelijk wordt om, van in het ontwerpproces, reeds verregaand reeds te optimaliseren waardoor problemen vermeden worden. Bovendien resulteert deze kennis ook in het ontwikkelen van optimalere afschrikmiddelen en ook nieuwe en betere afschrikssystemen en eventueel aangepaste processen.

B) MILIEU EN WETTELIJKE ASPECTEN

Het is duidelijk dat de warmtebehandelingen veel energie vragen en bovendien hebben bepaalde warmtebehandelingen met actieve atmosferen een potentiële hoge emissie aan C- en N-houdende uitstootgassen. Bovendien dient er vrij veel gereinigd te worden waardoor er ook belangrijke stroom aan te behandelen afvalwater kan ontstaan. Ook op het vlak van de afschrikoliën en andere hulpstoffen hebben wetgevingen als REACH een impact.

Dit heeft dan ook aanleiding gegeven tot veel energie efficiëntere ovens (betere isolatiematerialen, flexibelere sturing modulaire ovensystemen,...), reductie van de hoeveelheid actief gas dat nodig is door dichtere ovens en recirculatie en regeneratie van atmosfeergas. Oplossingen om restwarmte nuttig aan te wenden waarbij dit sterk afhankelijk is van de specifieke si-

tuatie gezien er een zekere kritische massa nodig is om dit economisch te verantwoorden.

Dit leidt ertoe dat in een aantal gevallen men een voorkeur geeft aan elektrisch gestookte in plaats van gasgestookte ovens. Uiteraard heeft dit ook geleid tot veel performantere recuperatieve gasbrandersystemen. Sommige milieu eisen kunnen een zeer lokaal karakter hebben waarbij bijvoorbeeld afschrikken met olie niet meer toegelaten is. Dit heeft als gevolg dat bepaalde behandelingen niet meer in dergelijke regio kunnen plaats vinden. Het geeft ook aanleiding tot een verschuiving daar waar mogelijk van klassieke ovens (warme wand) naar vacuüm ovens (koude wand) en waarbij uiteraard in vacuüm de behoefte aan actieve gassen tot een minimum kan beperkt worden.

In het kader van de Europese "green deal" en de actueel hoge energieprijzen wordt de impact sterk vergroot en zal verder toenemen maar het blijft belangrijk dat de kwaliteit van de warmtebehandeling gehandhaafd blijft want dit is een noodzakelijke voorwaarde om goed functionerende onderdelen en systemen te hebben.

C) ONDERZOEK EN ONTWIKKELING

Er zijn heel veel invloeden die een rol spelen bij de vele warmtebehandelingen. Hoewel een groot deel van de factoren gekend zijn, is er nog veel onderzoek nodig om diepere inzichten in de specifieke werking en vooral in de onderlinge samenhang van factoren te kennen.

Uiteraard is er reeds veel kennis beschikbaar maar dit is nog steeds onvoldoende. De betere fundamentele kennis is een noodzakelijke voorwaarde om verder te kunnen inspelen op nieuwe uitdagingen. Het ontwikkelen van betrouwbare numerieke modellen om alle reacties die bij een warmtebehandeling komen kijken is nog steeds een uitdaging. Belangrijk is ook om de modellen experimenteel in productieomstandigheden te verifiëren. Dit heeft recentelijk tot reeds aanzienlijke verbeteringen geleid voor een aantal warmtebehandelingsprocessen.

D) LEAN MANUFACTURING

Niet als in alle sectoren is er een druk om de intrinsieke kosten te verlagen. Dit kan

door in te grijpen in processen zodat men op kortere tijd of in mindere stappen het gewenste resultaat kan bereiken. Voor het carboneren zal dit betekenen dat men streeft naar hogere temperaturen daar waar het mogelijk is. Een belangrijke parameter is de bestendigheid van het staal tegen korrelgroei. Om optimale eigenschappen te bereiken dient het staal een fijne korrel te behouden op de hogere temperatuur gedurende de behandelingstijd. Dit is een inspanning te leveren door de staalleveranciers. In dit opzicht is lage druk opkolen in een gunstige positie gezien de vacuümvovens tot hogere temperaturen kunnen werken dan de klassieke ovens. Er spelen nog heel wat factoren een rol waaronder de opbouwgereedschappen ook van belang zijn.

Daarnaast zal men proberen het "werk in proces" te minimaliseren door reduceren of elimineren van tussenstocks en het integreren in lijn waar mogelijk om logistieke kosten maximaal te vermijden. Uiteraard zijn hier vele facetten mee in overweging te nemen.

Algemeen zal er een toename zijn van flexibele processen (snel aanpasbaar), integratie in de lijn waarbij vacuüm ovens (koude wand, geen explosieve of brandbare atmosferen) en hoge- gas- afschrikssystemen duidelijk een potentieel bieden. De betere beheersing en dus voorspelbaarheid van het resultaat zijn ook een noodzakelijke voorwaarde om naar "lean manufacturing" te evolueren in de warmtebehandeling. Dit is nodig over de ganse productieketen. Uiteraard is er een groot verschil in aanpak en mogelijkheden tussen ondernemingen met eigen bedrijfsharderijen en de onafhankelijke loonharderijen.

E) DIGITALISERING EN EVOLUEREN NAAR INDUSTRIE 4.0

Belangrijke drivers om hierin met de warmtebehandelingen te volgen zijn: krachtigere computers, de numerieke methoden, de specifieke software, de elektronische apparaten, de moderne sensoren. Er zijn reeds heel wat resultaten bereikt maar het dient verder ontwikkeld te worden om de warmtebehandelingen volwaardig in een industrie 4.0 te integreren.

E) KENNIS EN KUNDE

Uit het voorgaande is overduidelijk gebleken dat warmtebehandeling een vrij specifiek en complex domein is. Er zijn ook tal van bijzonder belangrijke invloedfactoren die van buiten de warmtebehandeling zelf komen. Deze zijn zowel gerelateerd aan het materiaal (structuur en segregaties), de voorbehandeling en vormgeving (interne spanningen, scherpe overgangen en kanten) en het ontwerpproces zelf (design van het onderdeel, specificatie en toleranties). De sleutel tot succes is om van in de ontwerpfase de betrokken partijen samen te brengen zodat van meet af aan alle aspecten correct meegenomen worden. Daarvoor is een elementaire kennis van de warmtebehandelingen bij alle partijen noodzakelijk.

Dit is dan ook één van de belangrijkste doelstellingen van de VWT. Cursussen en bijeenkomsten zijn hiervoor belangrijk. Actueel gaat de 3-daagse cursus "Warmtebehandeling van metalen" van start te Nieuwegein op 22-23 en 24 november 2022. De cursus behandelt alle aspecten gerelateerd tot de warmtebehandeling opgedeeld in 10 lesdelen. De lesgevers zijn experts in hun vakgebied en zorgen voor een degelijke theoretische benadering aangevuld met talrijke praktijkvoorbeelden. Er wordt ook de mogelijkheid geboden aan de cursist om zichzelf te toetsen m.b.t de opgedane kennis. Na het volledig afronden van de cursus wordt er ook een getuigschrift uitgereikt. De cursus is bijzonder geschikt voor alle personen die in hun bedrijf te maken hebben, direct zowel als indirect, met warmtebehandelingen van metalen. In het bijzonder ontwerpers, werkvoorbereiders, uitvoerders, inkopers, kwaliteitsmedewerkers en toeleveranciers.



Alle informatie hierover is te vinden op www.vwt-online.eu