

Reparatielassen

vm 129

VWM

Reparatielassen

vm 129



Vereniging FME-CWM
vereniging van ondernemers in de
technologisch-industriële sector

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
Telefoon: (079) 353 11 00
Telefax: (079) 353 13 65
E-mail: info@fme.nl
Internet: <http://www.fme.nl>

© Vereniging FME-CWM/november 2009

Niets uit deze uitgave mag worden vervoelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke ander wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

Hoewel grote zorg is besteed aan de waarborging van een correcte en, waar nodig, volledige uiteenzetting van relevante informatie, wijzen de bij de totstandkoming van de onderhavige publicatie betrokkenen alle aansprakelijkheid voor schade als gevolg van onjuistheden en/of onvolkomenheden in deze publicatie van de hand.

Vereniging FME-CWM
afdeling Techniek en Innovatie
Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer
telefoon: 079 - 353 11 00
telefax: 079 - 353 13 65
e-mail: info@fme.nl
internet: <http://www.fme.nl>

Reparatielassen

toelichting:

Dagelijks worden zeer veel voorwerpen en constructies door middel van lassen gerepareerd. Of dit altijd juist gebeurt of dat de reparatie op de juiste wijze wordt aangepakt, is veelal de vraag. Vaak is er grote tijdsdruk en daardoor nauwelijks tijd de reparatie goed uit te voeren. Er zijn voorbeelden te over waar men, zonder nadenken, tot een reparatie is overgegaan en waarvan de reparatie nog eens moest worden overgedaan.

Door, voordat tot de reparatie wordt overgegaan, na te denken over de materiaalidentificatie, de oorzaak van de storing of defect en daarop in te spelen, kan op voorhand vaak al tijd en geld bespaard worden.

Deze voorlichtingspublicatie is niet direct bedoeld voor het repareren van lasfouten in lasverbindingen zelf, maar meer voor andere defecten die zijn opgetreden tijdens bedrijf van het onderdeel. Hierbij moet worden gedacht aan slijtage, corrosie of combinaties van beide. Doorgaans geldt voor de reparatie van lasfouten echter dezelfde systematische aanpak als in deze publicatie besproken. Uiteraard gelden in ieder geval dezelfde eisen als voor de oorspronkelijke las.

Daarnaast kan deze publicatie ook als hulpmiddel worden gebruikt bij het ontwerpen van constructies. De constructeur weet doorgaans of de constructie wordt blootgesteld aan slijtage en/of corrosie. Door een juiste keuze van de toe te passen materialen kan de schade, veroorzaakt door deze fenomenen worden beperkt. Basiskennis van de aard van de optredende slijtage en/of corrosie is dan wel een voorwaarde. Vandaar dat in deze publicatie de meest voorkomende vormen van slijtage en corrosie beknopt worden besproken.

Deze voorlichtingspublicatie is bedoeld voor allen die te maken hebben of te maken krijgen met de selectie, toepassing en reparatie van oppervlaktelagen. Daarbij moet gedacht worden aan constructeurs, lastechnici, werkvoorbereiders, enzovoorts.

Deze voorlichtingspublicatie is een update van de bestaande Praktijkaanbeveling TCV05 - "Reparatie door lassen" (uitgave NIL d.d. september 1999).

De updating was noodzakelijk, omdat er enerzijds geen document beschikbaar was met een duidelijk overzicht van de (belangrijkste) oppervlaktedefecten slijtage en corrosie en anderzijds, omdat de ontwikkelingen in onder andere de nieuwe opslaslegeringen en opslasprocessen beperkingen (kunnen) stellen aan de uitvoering ervan.

De in deze voorlichtingspublicatie genoemde slijtage- en corrosiefenomenen zijn die, welke het meeste voorkomen in de industrie. Deze belangrijke fenomenen worden in beknopte vorm behandeld. Doel van deze publicatie is dan ook basisinformatie te verschaffen over deze fenomenen en hoe ze te bestrijden.

samengesteld door:

W. Pors IWE (NIL) en Th. Luijendijk (TU-Delft); als co-lezers hebben H. de Jong † IWE (NIL) en H. Bodt IWE (NIL) gefungeerd.

Eindredactie: P. Boers (Vereniging FME-CWM).

technische informatie:

Nederlandse Instituut voor Lastechniek (NIL)

- bezoekadres Boerhaavelaan 40, Zoetermeer
- correspondentie-adres Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER
- telefoon 088 - 400 85 60
- telefax 079 - 353 11 78
- e-mail info@nil.nl
- website www.nil.nl

informatie over en bestelling van VM-publicaties, TI-bladen en praktijkbevelingen:

Vereniging FME-CWM / Industrieel Technologie Centrum (ITC)

- bezoekadres Boerhaavelaan 40, Zoetermeer
- correspondentie-adres Postbus 190, 2700 AD ZOETERMEER
- telefoon 079 - 353 11 00
- telefax 079 - 353 13 65
- e-mail info@fme.nl
- website www.fme.nl

Inhoud

| | blz. | | |
|--------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------|----|
| 1 | 5 | 7 | 15 |
| Inleiding | | Reparatieplan | |
| 2 | 5 | 7.1 | 15 |
| Reparatielassen | | 7.2 | 15 |
| 3 | 5 | 7.3 | 15 |
| Reparatiefilosofie | | 7.4 | 15 |
| 4 | 5 | 7.5 | 15 |
| Vaststellen oorzaak van het defect | | 7.6 | 15 |
| 4.1 | 5 | 7.6.1 | 15 |
| Slijtage | | 7.6.2 | 16 |
| 4.1.1 | 6 | 7.6.3 | 16 |
| Contactsituaties | | 7.6.4 | 17 |
| 4.1.2 | 6 | 7.6.5 | 17 |
| Slijtagemechanismen | | | |
| 4.2 | 8 | | |
| Corrosie | | | |
| 4.3 | 9 | | |
| Overige defecten | | | |
| 5 | 9 | 8 | 17 |
| Herkenning van het te repareren materiaal | | Thermische voor- en nabehandeling | |
| 5.1 | 9 | 8.1 | 17 |
| Materialen in een lastechnisch bedrijf | | 8.2 | 17 |
| 5.2 | 10 | 8.3 | 17 |
| Eenvoudige methoden om materialen te herkennen | | 8.4 | 17 |
| 5.2.1 | 10 | 8.5 | 17 |
| Visueel onderzoek | | 8.6 | 17 |
| 5.2.2 | 10 | 8.7 | 18 |
| Gewicht van het materiaal | | | |
| 5.2.3 | 10 | | |
| Onderzoek met een magneet | | | |
| 5.2.4 | 10 | | |
| Onderzoek met een vijl of een zaag | | | |
| 5.2.5 | 10 | | |
| Onderzoek met een hamer | | | |
| 5.2.6 | 10 | | |
| De vlamproef | | | |
| 5.2.7 | 10 | | |
| Onderzoek door het leggen van een lassnoer | | | |
| 5.2.8 | 10 | | |
| Onderzoek met een slijpsteen of -tol | | | |
| 5.2.9 | 11 | | |
| Structuur van het breukvlak | | | |
| 5.2.10 | 11 | | |
| Minder eenvoudige onderzoeksmethoden | | | |
| 5.2.11 | 11 | | |
| Hand XRF apparatuur | | | |
| 5.2.12 | 11 | | |
| Hand hardheidsmetingen | | | |
| 5.2.13 | 11 | | |
| Lichtmicroscopisch onderzoek | | | |
| 5.3 | 11 | | |
| Werkmethode om een materiaal te herkennen | | | |
| 6 | 12 | 9 | 18 |
| Onderzoek | | Bewaking van de kwaliteit | |
| 6.1 | 12 | 9.1 | 18 |
| Onderzoek naar oppervlaktefouten | | 9.2 | 18 |
| 6.1.1 | 12 | | |
| Visueel onderzoek | | | |
| 6.1.2 | 13 | | |
| Magnetisch onderzoek | | | |
| 6.1.3 | 13 | | |
| Penetrant onderzoek | | | |
| 6.2 | 14 | | |
| Inwendig materiaalonderzoek | | | |
| 6.2.1 | 14 | | |
| Ultrasoon onderzoek | | | |
| 6.2.2.1 | 15 | | |
| Röntgenonderzoek | | | |
| 6.2.2.2 | 15 | | |
| Gammagrafisch onderzoek | | | |
| 6.2.2 | 15 | | |
| Radiografisch onderzoek | | | |
| 6.3 | 15 | | |
| Overige onderzoeksmethoden | | | |
| | | 10 | 18 |
| | | Slotwoord | |
| | | 11 | 18 |
| | | Literatuurverwijzing | |
| | | Bijlage 1: Bepaling van het te onderzoeken materiaal | 20 |
| | | Bijlage 2: Overzicht van proeven | 21 |

1 Inleiding

Iets construeren dat gedurende zijn gehele levensduur nooit meer defect raakt is nagenoeg onmogelijk. Denk bijvoorbeeld maar eens aan onze auto die ons om de een of andere reden op de meest ongunstige momenten in de steek laat; of een brug die plotseling "geen zin meer heeft" open dan wel dicht te gaan.

In veel gevallen kunnen storingen worden voorkomen door periodiek onderhoud. Maar het plotseling optreden van bijvoorbeeld een breuk in een constructie door overbelasting, kan met periodiek onderhoud niet worden voorkomen.

Wanneer in constructies fouten of defecten optreden, moeten deze, om verschillende redenen, meestal zo snel mogelijk worden gerepareerd. De vraag alleen is of het niet veel verstandiger is eerst eens na te denken en te bepalen wat de oorzaak van het falen is en die oorzaak trachten weg te nemen, voordat de reparatie wordt uitgevoerd.

In deze voorlichtingspublicatie wordt een "filosofie" (systematische benadering) behandeld aan de hand waarvan reparaties zouden moeten worden aangepakt, opdat geen onnodige tijd en kosten worden verspild. De kans op een succesvolle reparatie wordt daardoor ook groter.

2 Reparatielassen

Er is een bepaalde opvatting over reparatielassen die wij u niet willen onthouden. Deze luidt:

"Reparatielassen is een wetenschap van vage veronderstellingen, gebaseerd op twijfelachtige cijfers, afgelezen van niet werkende instrumenten, verricht met een uitrusting van bedenkelijke onnauwkeurigheid, door personen met een zekere onbetrouwbaarheidsgraad en een gegarandeerd verdachte mentaliteit".

Duidelijk blijkt hieruit de vaak negatieve benadering van het repareren van een defect door middel van lassen. En in veel gevallen is deze negatieve benadering terecht. Onnadenkend overgaan tot een reparatie leidt in de meeste gevallen tot slechte resultaten. Als echter de reparatie weloverwogen ter hand wordt genomen, zal het werkstuk in kwaliteit zeker niet inboeten; het is zelfs denkbaar dat de kwaliteit ervan verbetert. Een weloverwogen aanpak van de reparatie is dus noodzakelijk.

Daarnaast is het in veel gevallen mogelijk om reeds in de constructiefase van een product, dus als de plannen nog op de tekentafel staan, rekening te houden met eventuele reparaties. Denk bijvoorbeeld maar aan onderdelen, onderhevig aan corrosie, slijtage of zelfs combinaties van beide. Indien de mate van aantasting vooraf (enigszins) ingeschat kan worden en er al rekening mee gehouden wordt dat reparatie door middel van lassen plaats zal vinden, kan daarop geconstrueerd worden en de juiste materialen gekozen worden. Materialen die bestand zijn tegen de te verwachten aantasting en basismaterialen die een goede lasbaarheid hebben. Ook hier geldt dus een bepaalde benadering, die feitelijk die van het pure reparatielassen completeert. Deze "reparatiefilosofie" wordt in deze publicatie besproken.

3 Reparatiefilosofie

Indien iets wordt geconstrueerd, weet de constructeur veelal het doel waarvoor het product wordt gemaakt. Bekend is dan of het product onderhevig is aan slijtage, corrosie dan wel combinaties daarvan; dit naast de aard van de belasting.

Op de aard en de grootte van de belasting wordt in het algemeen goed geconstrueerd. Echter, over de aard van de aantasting bezit de constructeur vaak te weinig kennis. Worden materialen toegepast die bestand moeten zijn tegen de te verwachten aantasting, dan moet er inzicht zijn in de vorm van deze aantasting. Kennis van onder andere slijtagefenomenen en corrosievormen is dus eigenlijk onontbeerlijk. Zo moet anderzijds de oorzaak van het ontstaan van het

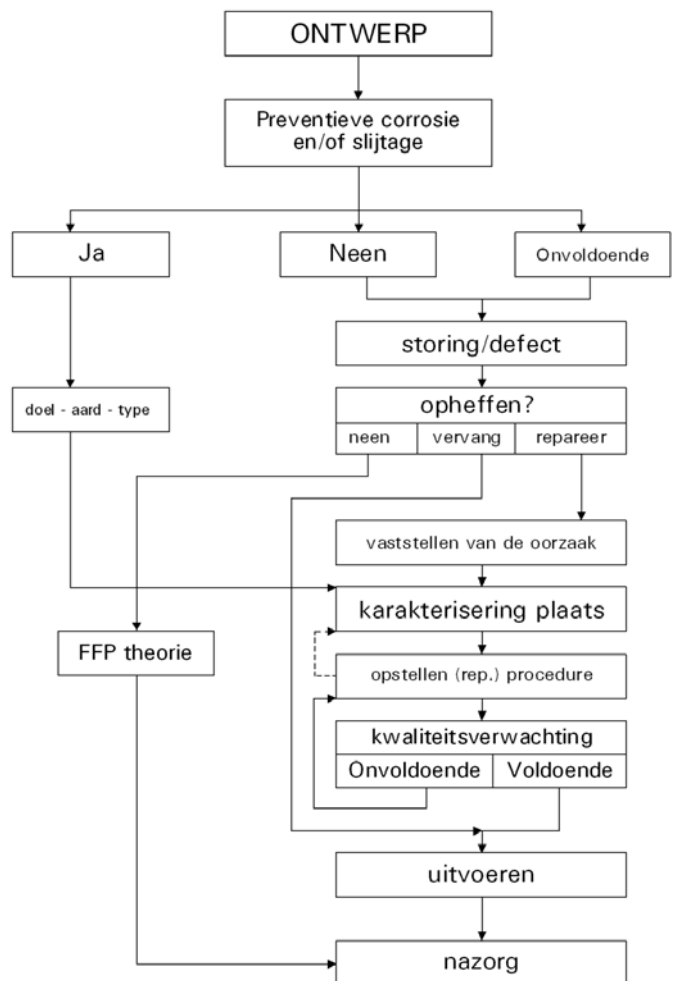
opgetreden defect bekend zijn, wil men op een zodanige wijze repareren dat het defect niet meer optreedt.

Voorts is het van wezenlijk belang dat de reparatieplaats "gekaracteriseerd" wordt. Hieronder moet worden verstaan dat onder andere de volgende punten bekend zijn:

- ▶ wat is de oorzaak van het defect;
- ▶ welke basismaterialen zijn toegepast;
- ▶ welke deklaagmaterialen zijn toegepast;
- ▶ welke kwaliteit wordt vereist;
- ▶ wat zijn de lasomstandigheden.

Als dit alles bekend is, kan een gedegen reparatieprocedure worden opgesteld. Bij elke stap in deze "filosofie" zijn er afwegingspunten. Bovenstaande overwegingsfactoren en afwegingspunten, in combinatie met de verschillende te doorlopen stappen, leiden tot het schema "Reparatiefilosofie" (zie figuur 3.1).

De verschillende stappen in het schema worden nader toegelicht.



figuur 3.1 Schema "Reparatiefilosofie"

4 Vaststellen oorzaak van het defect

De mogelijke (oppervlakte)defecten die een reparatie noodzakelijk maken worden besproken.

Zoals in de inleiding is opgemerkt worden hier in eerste instantie niet de fouten in lasnaden en lasverbindingen besproken, maar meer andere defecten. Een onderverdeling van deze andere defecten wordt gemaakt naar slijtage en corrosie.

4.1 Slijtage

Door slijtage gaat jaarlijks wereldwijd voor vele miljarden aan euro's verloren. Dit bedrag rechtvaardigt alleszins dat

ruime aandacht wordt besteed aan voorkoming en bestrijding ervan.

De definitie van slijtage luidt:

"Slijtage is een ongewenste verandering van het oppervlak van een vast lichaam, teweeggebracht door contact en een relatieve beweging van een vast of gasvormig tegenlichaam".

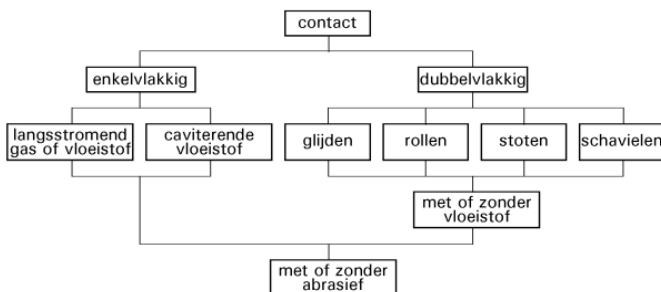
Als de keuze van materialen of oppervlaktebehandelingen voor de bestrijding van slijtage wordt geoptimaliseerd, moet het systeemgebonden karakter van wrijvings- en slijtageverschijnselen bekend zijn. Dit houdt in dat de grootte van de wrijvingskracht die nodig is om twee oppervlakken relatief ten opzichte van elkaar te laten bewegen en de daarbij behorende slijtage bekend moeten zijn. Deze aspecten hangen af van een groot aantal factoren, waarvan de belangrijkste zijn:

- ▶ belasting;
- ▶ snelheid;
- ▶ temperatuur;
- ▶ chemische samenstelling contactvlakken;
- ▶ mechanische eigenschappen contactvlakken;
- ▶ smeringtoestand;
- ▶ omringend milieu;
- ▶ hardheid van het slijtage veroorzakend medium.

Een nauwkeurige voorspelling van het slijtagegedrag is in het algemeen niet goed mogelijk, omdat dit afhangt van de verschillende genoemde parameters. Een zeker materiaal dat in een bepaalde situatie uitstekend voldoet, kan onder andere omstandigheden een volkomen verkeerde keus zijn, omdat slechts één van de omstandigheden anders is.

4.1.1 Contactsituaties

Uit de definitie van slijtage blijkt dat contact nodig is; zonder contact is er geen slijtage. In de praktijk komen verschillende vormen van contact voor, waarvan de twee belangrijkste zijn: enkelvlakkelig en dubbelvlakkelig contact. Deze vormen van contact zijn weergegeven in figuur 4.1.



figuur 4.1 Verschillende vormen van contact

Bij enkelvlakkelige contactsituaties wordt het slijtend oppervlak belast door een materiaalstroom over het oppervlak, een langsstromend gas of vloeistof, waarin zich abrasieve deeltjes (kunnen) bevinden. Ook aantasting van het oppervlak door een caviterende vloeistof behoort tot het enkelvlakkelig contact.

Enkelvlakkelige contactsituaties treft men aan op uiteenlopende terreinen zoals baggerwerktuigen, pompen, pijpleidingen en scheepsschroeven.

Bij dubbelvlakkelige contactsituaties zijn twee oppervlakken met elkaar in bewegend contact, al dan niet in aanwezigheid van een vloeistof. Glijlagers, geleidingen en nokken zijn voorbeelden van situaties waarbij voornamelijk glijden optreedt.

Drielichamen contact is een variant op het dubbelvlakkelige contact, waarbij twee vaste oppervlakken elkaar raken via losse deeltjes, zoals bijvoorbeeld voorkomt in glijlagers die functioneren in de aanwezigheid van zand.

Bij kogellagers en spoorwielen is sprake van een rollende beweging, waarbij de oppervlakken wisselend worden belast en ontlast en waardoor materiaalvermoeding kan optreden.

Stotende bewegingen komen vaak voor in combinatie met glijden bij slaghamers, ertsbrekers en zware grondverzetmachines.

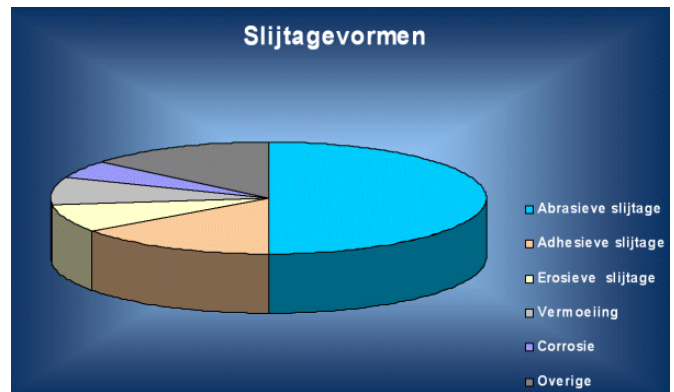
Typisch voor schavielen zijn de kleine heen en weergaande bewegingen die de contactvlakken ten opzichte van elkaar maken. Verstelmecanismen, dynamische belaste schroefdraad- en spieverbindingen zijn hiervan voorbeelden.

4.1.2 Slijtagemechanismen

De verschillende typen slijtage en de mate waarin die in de praktijk voorkomen kan men globaal als volgt indelen:

1. abrasieve slijtage
2. adhesieve slijtage
3. erosieve slijtage
4. vermoeiingsslijtage
5. corrosieve slijtage
6. overige slijtage, waaronder schavielslijtage

Figuur 4.2 geeft weer welke in welke mate deze hoofdvormen van slijtage in het algemeen voorkomen.



figuur 4.2 Onderverdeling van de verschillende hoofdvormen van slijtage

Vaak zal op den duur het ene type slijtage overgaan in een ander type. Ook kunnen twee of meer slijtagemechanismen tegelijk optreden. Dit maakt het vaak moeilijk een optimale oplossing voor een optredend slijtageprobleem te vinden.

Het blijkt dat abrasieve slijtage het meeste voorkomt (in ca. 50% van alle gevallen). Een effectieve bestrijding hiervan is dus zeer de moeite waard. Hoewel de andere vormen van slijtage minder voorkomen, wil dat nog niet zeggen dat zij minder belangrijk zijn. Ook hiervoor geldt, dat met een effectieve bestrijding grote (financiële) schade voorkomen kan worden.

Hieronder volgt een beknopte beschrijving van de verschillende typen slijtage, aangevuld met typische voorbeelden van gesleten oppervlakken. Voor uitgebreidere informatie over slijtagefenomenen en hun bestrijding daarvan door middel van lassen, wordt verwezen naar de voorlichtingspublicatie VM 108 "Corrosiebestendige en slijtvaste oppervlaktelagen door oplassen en thermisch spuiten". Deze publicatie is te downloaden van de site www.dunneplaat-online.nl.

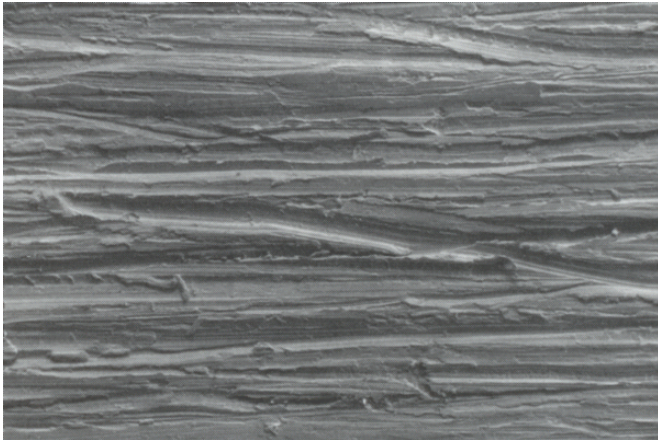
1 Abrasieve slijtage

Deze vorm van slijtage, ook wel ploegslijtage genoemd, treedt op als gevolg van een verspanende werking van relatief harde deeltjes, beklemd of ingebed tussen twee oppervlakken of door harde uitsteeksels op één van de oppervlakken.

Dit slijtageproces, dat in ca. 50% van de praktijkgevallen voorkomt, kenmerkt zich door relatief hoge krachten op het oppervlak. De mate van beschadiging hangt af van:

- ▶ hardheidsverschil tussen het abrasieve medium en het oppervlak;
- ▶ de vorm en de scherpte van het medium;
- ▶ de vrijheid van beweging van het medium.

Het oppervlak van een door middel van abrasieve slijtage aangetast voorwerp heeft een kenmerkend beeld: diepe doorlopende groeven (zie figuur 4.3).

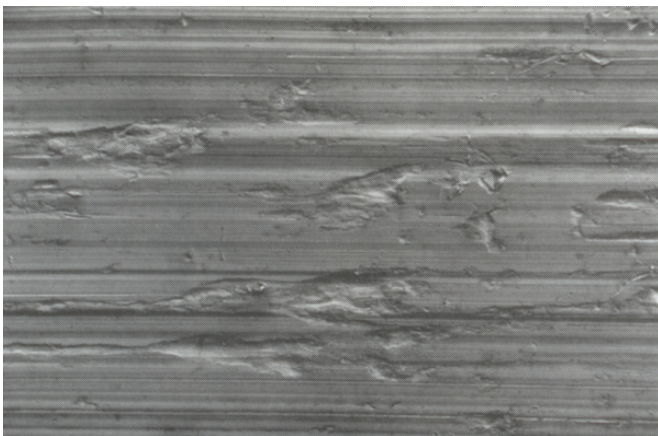


figuur 4.3 Abrasieve slijtage

Deze soort van slijtage vindt men onder andere bij grondverzetmachines, de baggerindustrie, overstorten bij transportbanden, grijpers in de stortgoedoverslag en dergelijke.

2 Adhesieve slijtage

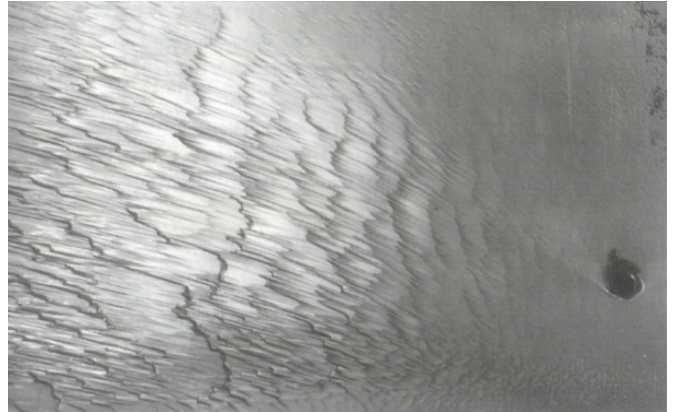
Deze vorm van slijtage is het gevolg van materiaaloverdracht door plaatselijke overbelasting van in contact zijnde oppervlakken, onder invloed van belasting en wrijvingskrachten. In feite is deze vorm van slijtage een voortdurend proces van vastlassen en losbreken van materiaal uit de loopvlakken. Deze vorm van slijtage wordt verklaard door de werking van bindingskrachten tussen de contactvlakken, waarbij de neiging om in elkaar op te lossen een grote rol speelt. Het gesleten oppervlak vertoont een groevenpatroon dat wordt onderbroken door overgedragen deeltjes materiaal (zie figuur 4.4).



figuur 4.4 Adhesieve slijtage

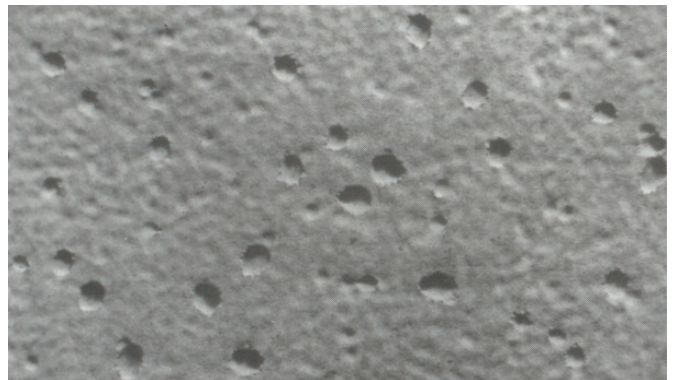
3 Erosieve slijtage

Onder deze vorm van slijtage wordt materiaalverlies verstaan van een vast oppervlak ten gevolge van de inwerking van een langs of tegen het oppervlak stromend vloeistof of gas, al of niet voorzien van vaste deeltjes. Deze vorm van slijtage is weer onder te verdelen in verschillende vormen die hier niet apart worden besproken. Voor meer informatie: zie de eerder genoemde voorlichtingspublicatie VM 108 "Corrosiebestendige en slijtvaste oppervlaktelagen door oplassen en thermisch spuiten". Figuur 4.5 geeft een door deeltjeserosie aangetast oppervlak weer.



figuur 4.5 Door deeltjeserosie aangetast oppervlak

Wel wordt hier nog een bijzondere vorm van erosie genoemd, namelijk cavitatie-erosie. Dit is de aantasting van het oppervlak ten gevolge van het dichtklappen (imploderen) van met vloeistofdamp gevulde belletjes in een langs het oppervlak stromende vloeistof. Door het dichtklappen worden metaaldeeltjes uit het oppervlak gerukt. Deze vorm van slijtage treedt bijvoorbeeld op bij waaiers van centrifugaalpomp, voortstuwingsschroeven van schepen en dergelijke. Figuur 4.6 geeft het beeld weer van een door cavitatie aangetast oppervlak.



figuur 4.6 Door cavitatie aangetast oppervlak

4 Vermoeiingsslijtage

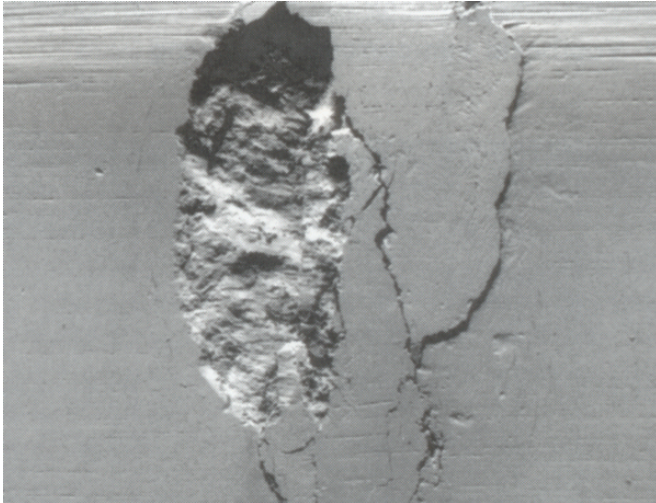
Onder slijtage door oppervlaktevermoeïing verstaat men de verwijdering van materiaal deeltjes uit het oppervlak, losgemaakt door vermoeïing als gevolg van periodieke belastingsvariëaties op dat oppervlak. Dit verschijnsel treedt op bij rollende oppervlakken zoals op flanken van tanden van tandwielen, walsrollen, spoorwagonwielen, spoorstaven, enz. Bij deze soort van slijtage is de belasting op de oppervlakken zeer hoog, waardoor onder en evenwijdig aan het oppervlak schuifspanningen ontstaan, met als gevolg scheurtjes die tot uitbreken van grotere delen van het oppervlak leiden. Figuur 4.7 geeft een beeld van een aantasting door oppervlaktevermoeïing.

5 Corrosieve slijtage

Deze vorm van slijtage ontstaat door de voortdurende vorming en verwijdering van oxiden of andere chemische reactieproducten. Zonder mechanisch contact is er geen sprake van slijtage, ook al doet zich dit proces op loopvlakken voor. Men heeft dan te maken met "gewone" corrosie.

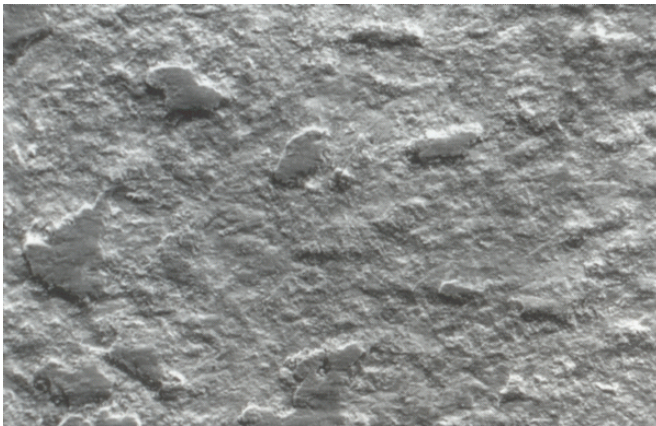
6 Schavielslijtage

Deze vorm van slijtage, ook wel fretting genoemd, treedt op wanneer twee oppervlakken ten opzichte van elkaar een heen en weer gaande beweging maken met een kleine amplitude, zoals bij oppervlakken die trillen ten opzichte van elkaar.



figuur 4.7 Oppervlakte vermoeiing

Als voorbeelden kunnen worden genoemd pasvlakken, koppelingen, kogellagers op assen en dergelijke. Deze vorm van slijtage wordt vaak gekenmerkt door de "passingsroest" die bij het losnemen van de onderdelen vrijkomt. Figuur 4.8 geeft een beeld van een oppervlak dat is blootgesteld aan schavielslijtage.



figuur 4.8 Schavielslijtage (fretting)

4.2 Corrosie

Ook aan corrosie gaat jaarlijks wereldwijd voor vele miljarden aan euro's verloren. Het is dus lonend om ook aan de bestrijding dan wel voorkoming van deze vorm van aantasting van het oppervlak ruime aandacht te besteden.

De definitie van corrosie is:

"Corrosie is de ongewenste aantasting van een materiaal ten gevolge van chemische of elektrochemische reacties met een omgevend medium."

Ook bij corrosie zijn verschillende vormen te onderkennen. Voor meer informatie omtrent de verschillende vormen van corrosie wordt verwezen naar de publicatie VM 108 "Corrosiebestendige en slijtvaste oppervlaktelagen door oplassen en thermisch spuiten".

In de voorliggende voorlichtingspublicatie wordt beknopt ingegaan op de meest bekende vormen van corrosie. Deze zijn:

1. algemene corrosie
2. galvanische corrosie
3. putvormige corrosie
4. spleetcorrosie
5. interkristallijne corrosie
6. spanningscorrosie

1 Algemene corrosie

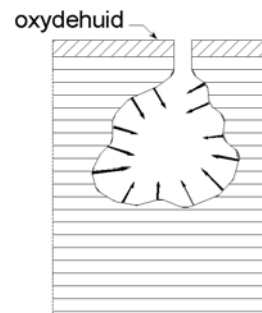
Bij deze vorm van corrosie is het gehele oppervlak min of meer gelijkmatig aangetast.

2 Galvanische corrosie

Deze vorm van corrosie ontstaat wanneer een "edel" metaal (met een hoog spanningspotentiaal) wordt gekoppeld aan een minder edel metaal. Door deze koppeling zal er een potentiaalverschil ontstaan, waardoor er een klein elektrisch stroompje gaat vloeien dat het minder edele metaal aantast. Voorbeelden van deze vorm van corrosie is het doorroesten van de stalen boutjes, waarmee de aluminium nummerplaten aan de stalen carrosserie van auto's zijn bevestigd of het bewust laten wegrotten van zinkanodes bevestigd aan stalen scheepswanden of offshore constructies. In dit laatste geval wordt door de aantasting van het zink de constructie zelf niet aangetast.

3 Putvormige corrosie

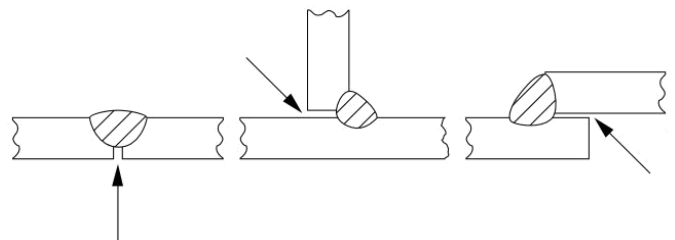
Deze vorm van corrosie, ook wel pitting genoemd, treedt vaak op bij bepaalde typen roestvast staal dat in contact is met chloorionenhoudende milieus. Op plaatsen waar de passieve oxidehuid van het roestvaste staal is verdwenen door bijvoorbeeld beschadiging, ontstaat een actief oppervlak, dat snel wordt aangetast. Deze vorm van corrosie kan aanleiding zijn tot het ontstaan van lekkages, doordat de putjes zich door de volledige wanddikte kunnen vreten. Figuur 4.9 geeft schematisch de putvormige corrosie weer.



figuur 4.9 Putvormige corrosie

4 Spleetcorrosie

Deze vorm van corrosie is aanwezig op plaatsen waar weinig zuurstof kan komen, zodat geen oxidehuid kan worden gevormd. Hierbij moet worden gedacht aan nauwe spleten in bijvoorbeeld flensverbindingen, eenzijdig gemaakte hoeklassen en dergelijke (zie figuur 4.10). Deze vorm van corrosie is eigenlijk terug te voeren tot een onjuiste constructie of uitvoering van het onderdeel.

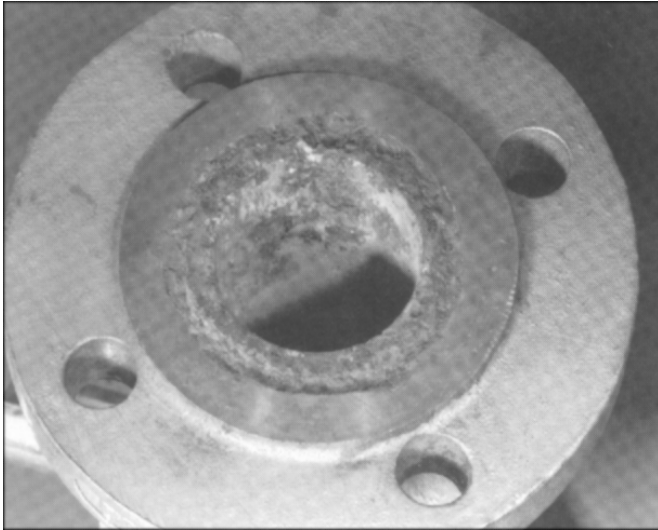


figuur 4.10 Voorbeelden waar spleetcorrosie kan optreden

Figuur 4.11 geeft een voorbeeld van opgetreden spleetcorrosie in een flensverbinding.

5 Interkristallijne corrosie.

Deze vorm van corrosie ontstaat doordat plaatselijk in het metaal, meestal roestvast staal, de gewenste oxidehuid zich niet meer kan vormen, doordat de daarvoor benodigde chroom zich gebonden heeft aan de in het staal aanwezige koolstof. Hierdoor zakt het chroompercentage plaatselijk beneden het benodigde vereiste minimum van 13%.

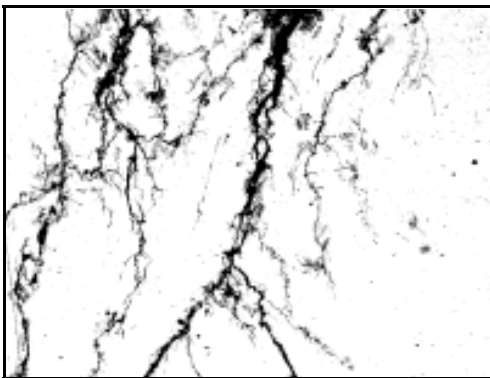


figuur 4.11 Aantasting door spleetcorrosie

Het oppervlak zal daar ter plaatse niet meer kunnen worden voorzien van de chroomoxidehuid. Plaatselijke aantasting is het gevolg en deze aantasting zet zich voort langs de kristalgrenzen het materiaal in, omdat het chroom zich juist op deze plaatsen aan de koolstof bindt.

6 Spanningscorrosie

Deze vorm van corrosie ontstaat door een combinatie van trekspanningen in het materiaal en een milieu, waarin het materiaal gevoelig is voor deze vorm van aantasting. Hierdoor treden kleine haarscheurtjes op, waardoor dan weer een versnelde aantasting plaats vindt. Figuur 4.12 geeft een door spanningscorrosie aangetast materiaal weer.



figuur 4.12 Spanningscorrosie

4.3 Overige defecten

Naast slijtage en corrosie kunnen nog veel andere soorten van defecten voorkomen in (las)metaal. In de norm NEN-EN-ISO 6520 "Lassen en verwante processen - Indeling van geometrische onvolkomenheden in metalen - Deel 1: Smeltlassen" zijn deze defecten weergegeven. In deze norm worden de onvolkomenheden onderverdeeld in 6 groepen, te weten:

- Groep 1: Scheuren;
- Groep 2: Holten;
- Groep 3: Vaste insluitsels;
- Groep 4: Bindingsfouten en onvolkomen doorlassing;
- Groep 5: Geometrische afwijking;
- Groep 6: Overige onvolkomenheden, die niet in een van de bovengenoemde groepen kunnen worden ondergebracht.

Daarnaast is in NEN-EN-ISO 5817 "Lassen - Smeltlasverbindingen in staal, nikkel, titanium en hun legeringen (laserlassen en elektronenbundel uitgezonderd) - Kwaliteitsniveaus voor onvolkomenheden" voor een 26-tal onvolkomenheden

de grenswaarden voor deze onvolkomenheden in een drietal kwaliteitsniveaus ingedeeld. De onderscheiden kwaliteitsniveaus zijn:

- ▶ D = matig;
- ▶ C = gemiddeld;
- ▶ B = streng.

In deze norm is aangegeven bij welk kwaliteitsniveau een bepaald defect is toegelaten en hoe groot dit defect dan mag zijn.

Het is niet zo dat elke onvolkomenheid in een las zonder meer moet worden gerepareerd. Als de onvolkomenheid ontoelaatbaar is, mag pas feitelijk van een lasfout worden gesproken. Bij scherpe fouten zoals scheuren zullen de spanningen aan de scheurtip hoger zijn dan bij meer bolvormige fouten zoals gasinsluitingen. Zo is een theoretische benadering opgesteld, aan de hand waarvan kan worden bepaald of een fout noopt tot reparatie of hoe groot de fout mag zijn, voordat een en ander kritisch wordt. Deze wijze van benaderen staat bekend onder de naam Fitness for Purpose (FFP). Het voert voor deze voorlichtingspublicatie te ver om er op in te gaan.

Wel wordt nog opgemerkt, dat deze wijze van benaderen onder meer geënt is op de mechanische eigenschappen van een metaal, de foutgrootte, de aard en de ligging van de fout, de aard en de grootte van de mechanische belasting. De grootte en de ligging van de fout is belangrijk bij de overweging welke reparatiemethodiek wordt toegepast. Daarom is onderzoek naar de fouten essentieel en maakt het onderzoek deel uit van deze voorlichtingspublicatie.

5 *Herkenning van het te repareren materiaal*

Wanneer een versleten of gebroken onderdeel van een constructie of machine moet worden gerepareerd, gaat het niet alleen om de reparatietechniek. Voordat met de reparatie kan worden begonnen, moet worden nagegaan welk type materiaal en nog specifiek, van welke legering er sprake is. Voor grote constructies als bruggen, kranen, schepen, gebouwen, enz. zijn meestal de materiaalgegevens nog voorhanden. Hoe ouder de constructie, des te groter de kans dat deze gegevens niet meer beschikbaar zijn. Met de komst van de draagbare röntgenfluorescentie-apparatuur (XRF) is het bepalen van de chemische samenstelling van het materiaal heel eenvoudig. Echter, niet iedereen beschikt over dergelijke relatief dure meetapparatuur. Veelal moet van eenvoudigere technieken gebruik worden gemaakt. In dit hoofdstuk wordt allereerst aandacht besteed aan eenvoudige technieken voor het achterhalen van het soort materiaal. Daarna wordt enige aandacht besteed aan de bepaling van de chemische samenstelling via de XRF-technieken.

5.1 *Materialen in een lastechnisch bedrijf*

Een bedrijf dat lasconstructies maakt, gebruikt grotendeels constructiestaalsoorten. Constructiestaalsoorten hebben in het algemeen een laag koolstofgehalte, maar hoe ouder het materiaal, des te hoger zijn het koolstofgehalte en het gehalte aan verontreinigingen (zwavel en fosfor).

Naast constructiestaalsoorten worden ook veel veredelingsstaalsoorten gebruikt. Dit materiaal heeft een aanzienlijk hoger koolstofgehalte en is gelegeerd met chroom en molybdeen. Het is daarmee moeilijker lasbaar dan de constructiestaalsoorten.

Bevat een constructie bewegende delen, dan is er vaak sprake van machinestaalsoorten, die vaak een koolstofgehalte hebben van meer dan 0,45%.

Al deze staalsoorten hebben dezelfde kleur en zijn visueel niet van elkaar te onderscheiden. Om de kleur goed te kunnen beoordelen moet het oppervlak eerst schoon en liefst zo glad mogelijk worden gemaakt.

De geometrie van het onderdeel bijvoorbeeld kan ook informatie opleveren over het type staal. Een as zal meestal van machinestaal met een relatief hoog koolstofgehalte zijn gemaakt.

Roestvast staal is door de kleur van het oppervlak en vaak door de afwezigheid van roest te onderscheiden van constructiestaal. Echter, roestvast staal kan onder bepaalde omstandigheden sterk zijn gecorrodeerd en het is dan moeilijk om dit materiaal van constructiestaal te onderscheiden. Een magneetje biedt dan de oplossing; de ferritische en martensitische roestvaste staalsoorten bijvoorbeeld zijn magnetisch.

Titaanlegeringen worden weinig toegepast, maar zij hebben in het algemeen een meer dof grijze kleur dan staal en vertonen ook geen zichtbare corrosie.

Aluminiumlegeringen worden meer en meer toegepast en zijn aan de kleur van hun oppervlak relatief gemakkelijk te herkennen. Echter, er is een groot verschil in de lasbaarheid van de aluminiumlegeringen die hun sterkte krijgen door een warmtebehandeling en de legeringen die hun sterkte alleen ontlede aan de hoeveelheid legeringselementen.

De koperlegeringen zijn gemakkelijk aan hun kleur te herkennen. Brons en messing hebben duidelijk verschillende kleuren, maar aluminiumbrons daarentegen lijkt qua kleur heel sterk op messing met een laag zinkgehalte.

Tenslotte worden ook gegoten onderdelen ter reparatie aangeboden en het is als de giethuid nog aanwezig is niet altijd duidelijk of het om gietijzer of gietstaal gaat.

De geometrie van een constructieonderdeel en de kleur kunnen al veel informatie leveren over het soort materiaal.

5.2 *Eenvoudige methoden om materialen te herkennen*

5.2.1 *Visueel onderzoek*

Gelaste constructies zijn door hun vorm en de aanwezigheid van een las gemakkelijk van gegoten onderdelen te onderscheiden. Een gietstuk is meestal minder hoekig dan een gelast onderdeel en heeft rondere vormen. De vorm is vaak aangepast aan de belastingswijze van het product of onderdeel.

De kleur van het materiaal is een tweede kenmerk; zie ook hierboven.

5.2.2 *Gewicht van het materiaal*

Op grond van hun kleur, vooral in gepolijste toestand, zijn aluminiumlegeringen soms moeilijk te onderscheiden van roestvast staal. Het gewicht van het onderdeel kan dan uitsluitend geven over het materiaal.

Aluminium is bijna driekeer zo licht als roestvast staal. Gietijzer is lichter dan gietstaal, maar de verschillen zijn gering en een nauwkeurige bepaling van het soortelijk gewicht en volume is daarom nodig.

5.2.3 *Onderzoek met een magneet*

Constructie-, veredelings- en machinestaalsoorten zijn magnetisch, terwijl austenitisch roestvast staal dat niet is. Duplex roestvast staal is licht magnetisch, terwijl ferritisch en martensitisch roestvast staal magnetisch zijn.

De laatste twee zijn toch relatief gemakkelijk van constructiestaal te onderscheiden omdat het oppervlak niet of nauwelijks is geroest.

Aluminiumlegeringen, alsmede koper en koperlegeringen zijn eveneens niet magnetisch, maar vooral de kopersoorten zijn door hun kleur gemakkelijk van constructiestaalsoorten te onderscheiden.

5.2.4 *Onderzoek met een vijl of een zaag*

Hoe lager het koolstofgehalte van een staalsoort, des te lager de hardheid. Met een vijl of zaag is gemakkelijk de hardheid van een materiaal af te schatten en kan de conclusie worden getrokken of het om een constructiestaalsoort gaat of een machinestaalsoort.

Bij het machinaal bewerken van het materiaal, bijvoorbeeld een lasnaadvoorbewerking, zal bij de constructie- en ongeleerd gietstaalsoorten een lintspaanspan worden gevormd,

terwijl bij machine- en hoog gelegeerde gietstaalsoorten er korte spanen worden gevormd.

Lamellair gietijzer geeft een brokkelspaan en er komt grafit vrij.

Nodulair gietijzer vormt eveneens een lintspaanspan, maar de spanen zal bij het afvegen zwart afgeven en is daarmee van gietstaal en constructiestaal te onderscheiden.

5.2.5 *Onderzoek met een hamer*

De geluidssnelheid in een materiaal wordt mede bepaald door de elasticiteitsmodulus en door inluitsels die het geluidssignaal verstoren. Lamellair gietijzer zal bij een lichte tik met een hamer aanzienlijk doffer klinken dan nodulair gietijzer en gietstaal. Ook is het verschil te horen tussen het geluid dat een aluminiumlegering en roestvast staal maakt. Bovendien zal het oppervlak bij aluminiumlegeringen gemakkelijker beschadigd worden (indeuken) dan bij roestvast staal.

5.2.6 *De vlamproef*

Bij deze proef wordt met een autogeenbrander of met een elektrische boog een klein deel van het materiaal tot smelten gebracht. De vorming van een oxidehuid, de vloeibaarheid van het materiaal, de vorming van dampen en dergelijke zijn kenmerkend voor een materiaal.

Aluminiumlegeringen vormen bij verhitting in lucht een dikke rimpelige en stroperige oxidehuid en zijn daarmee gemakkelijk te onderscheiden van roestvast staal dat een dun vloeibaar smeltbad vormt.

Magnesiumlegeringen kunnen herkend worden, doordat ze bij verhitting in lucht kunnen gaan branden.

De smelt van gietijzer zal aanzienlijk dunvloeibaarder zijn dan die van de constructiestaalsoorten.

Bij het smelten van messing zal een grijs-witte rookpluim worden gevormd. Voorkomen moet worden dat deze dampen worden ingeademd.

De vlamproef wordt niet aanbevolen, omdat als gevolg van het smelten de eigenschappen van het materiaal en het oppervlak nadelig worden beïnvloed. Dit nadeel kan worden ondervangen door de vlamproef uit te voeren met spanen van het onbekende materiaal.

5.2.7 *Onderzoek door het leggen van een lassnoer*

Door op het onbekende materiaal een lassnoer te leggen met een beklede elektrode van bekende samenstelling, kan het koolstofgehalte van de staalsoort worden afgeschat. Heeft de staalsoort een relatief hoog koolstofgehalte, dan zal door opmenging met het lasmetaal een las met een hoge hardheid ontstaan. Een veel lagere hardheid ontstaat als de staalsoort een laag koolstofgehalte heeft. De hardheid van de lasrups kan met een vijl of een zaag worden gecontroleerd.

Bij de gietijzersoorten zal de hardheid van de las zo hoog worden, dat als gevolg van de snelle afkoeling scheurvorming in de warmte-beïnvloede zone en soms ook in de las zal optreden. Het leggen van een lassnoer is, als er sprake is van gietijzer, een minder geschikte onderzoeksmethode.

5.2.8 *Onderzoek met een slijpsteen of -tol*

Een veel toegepaste methode om achter de samenstelling van een materiaal te komen, is de slijpproef. Bij het slijpen ontstaat een bundel aan vonken. De vonkenregen is voor elk materiaal verschillend. Het koolstofgehalte speelt een rol, maar ook de legeringselementen die de staalsoort bevat. De vonken worden weggeslingerd van het oppervlak en laten een lichtend spoor achter. Om die reden kan de slijpproef het beste in het half duister worden uitgevoerd.

Het vonkenspoor kan wel of niet onderbroken zijn. Ook kunnen in het vonkenspoor nieuwe uitspreidende korte vonken worden gevormd. De vonken kunnen naaldvormig zijn, die in meer of mindere mate spreiding vertonen. Er kun-

nen ook dichte en minder dichte vonkenbundels worden gevormd. Soms is er sprake van de vorming van speerpunten en knotsen en zelfs druppels. Het is niet eenvoudig om op basis van een vonkenproef onderscheid te maken tussen de diverse staalsoorten en gietijzersoorten. Het lukt alleen met de nodige ervaring.

Uit de tabellen B.1 t/m B.3 in bijlage 1 volgen enkele aanwijzingen voor het herkennen van het vonkenspoor.

5.2.9 *Structuur van het breukvlak*

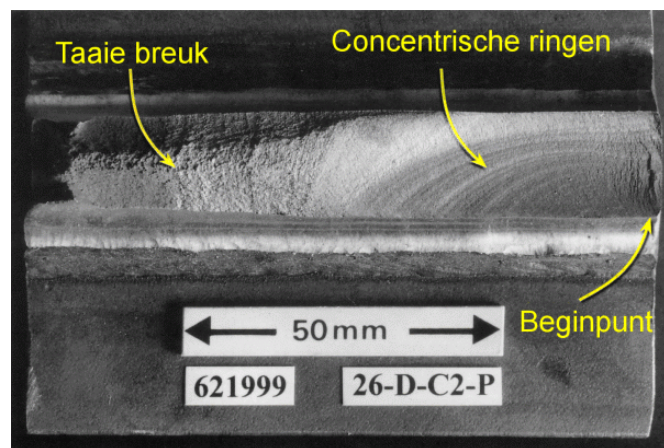
Als er sprake is van een geweldbreuk, dan levert het uiterlijk van het breukvlak ook de nodige informatie op over de aard van het materiaal.

Het breukvlak van grijs gietijzer bijvoorbeeld vertoont nauwelijks plastische deformatie (vervorming) en is veel doffer en grover dan het breukvlak van een gelegeerd gietstaal of machinestaal.

Gelegeerde staalsoorten, machinestaalsoorten en gereedschapsstaalsoorten laten meestal een breukvlak zien met geringe plastische deformatie. Dit breukvlak is lichter van kleur en vaak veel fijner dan het breukvlak van lamellair gietijzer.

Het breukvlak van nodulair gietijzer daarentegen laat in het algemeen vrij veel plastische deformatie zien en is grover van structuur dan het breukvlak van machinestaal.

Vermoeingsbreuken zijn in het algemeen glad en vaak is aan de hand van halve maanvormige ringen de initiatieplaats van de scheur terug te vinden (zie figuur 5.1).



figuur 5.1 Breukvlak van een vermoeingsbreuk

Een vermoeingssscheur is relatief vlak en vertoont weinig deformatie.

In lamellair gietijzer is de vermoeingsbreuk vaak vertakt en daarmee te onderscheiden van de vermoeingsbreuk van nodulair gietijzer, gietstaal en machinestaalsoorten.

5.2.10 *Minder eenvoudige onderzoeksmethoden*

Zoals gezegd kan de hardheid de nodige informatie opleveren voor het soort materiaal. Met behulp van mobiele hardheidsmeetapparatuur kan de hardheid binnen nauwe grenzen worden bepaald. Als een klein stukje uit het gebroken of versleten onderdeel kan worden genomen, dan kan de micro-vickershardheid gemakkelijk worden bepaald. Ook kan de chemische samenstelling van het materiaal met mobiele röntgenfluorescentie-apparatuur worden gemeten. Tenslotte kan met behulp van de lichtmicroscopie de structuur van het materiaal worden bepaald van het uitgenomen kleine stukje materiaal.

Het zal duidelijk zijn dat deze methoden arbeidsintensiever en daarmee aanzienlijk duurder zijn dan eerder genoemde eenvoudige onderzoeksmethoden. Bovendien beschikt niet iedereen over de benodigde apparatuur om de chemische samenstelling, de hardheid of de microstructuur te bepalen.

5.2.11 *Hand XRF apparatuur*

Handapparatuur voor het middels röntgenfluorescentie bepalen van de chemische samenstelling heeft de afmetingen van een middelgrote boormachine of slijptol. De chemische samenstelling wordt bepaald over een oppervlak van minder dan 1 cm²; belangrijk is dat dit oppervlak relatief glad moet zijn. Er zijn meerdere leveranciers op de markt voor draagbare röntgenfluorescentie-apparatuur, maar de prijs van dergelijke apparatuur ligt al gauw rond de 10.000 euro. Niet iedereen kan zich de aanschaf van dergelijke apparatuur veroorloven.

Er is bovendien nog een belangrijk nadeel verbonden aan deze meetmethode. Lichtere elementen dan het element magnesium kunnen met deze methode eigenlijk niet worden gemeten. Dit betekent dat een nauwkeurige bepaling van het koolstofgehalte bijvoorbeeld niet mogelijk is.

Voor het bepalen van lichte elementen als magnesium, aluminium, silicium, fosfor, zwavel en chloor wordt wel gebruik gemaakt van helium als beschermgas rond het te meten deel van het te repareren onderdeel. Aan de andere kant kan met behulp van deze apparatuur probleemloos onderscheid worden gemaakt tussen austenitisch roestvast staal type 304 en 316 en kunnen nikkellegeringen gemakkelijk worden opgespoord.

5.2.12 *Hand hardheidsmetingen*

De hardheid van een materiaal kan worden gemeten met een zogenoemde Poldihamerproef. Hierbij wordt de indrukking op het te onderzoeken materiaal vergeleken met de indrukking in een materiaal met bekende hardheid.

Andere methoden berusten op de opstuithoogte van een kogeltje vanaf het te meten oppervlak en bij weer een andere methode wordt een impactlichaam op het materiaal geschoten en wordt de hardheid bepaald uit het verschil tussen de inslagsnelheid en de terugkaatssnelheid.

Als een klein deel van het materiaal kan worden uitgenomen, kan de hardheid aan een gepolijst oppervlak gemeten worden met de microvickershardheidsmeter. Dit is een uiterst nauwkeurige meetmethode en het gemaakte preparaat kan dan ook worden gebruikt voor een metallurgisch onderzoek.

5.2.13 *Lichtmicroscopisch onderzoek*

Het preparaat voor de hardheidsmetingen kan worden gebruikt voor lichtmicroscopisch onderzoek. Bij een goed gekozen etsmethode kan met één oogopslag het verschil worden bepaald tussen gietijzer, gietstaal, constructiestaal en machinestaal. Voor al deze materialen is het etsmiddel Nital geschikt voor een eerste beoordeling van de structuur. Niet iedereen is echter vertrouwd met het analyseren van structuurbeelden; deze methode is normaal voorbehouden aan specialisten bij onderzoeksinstituten.

5.3 *Werkmethode om een materiaal te herkennen*

Hoe te werk kan worden gegaan bij het bepalen van de aard van het te onderzoeken materiaal is een stroomschema opgesteld (zie figuur B.1 in bijlage 2). Verder zijn in de tabellen B.1 t/m B.3 in bijlage 1 de tot nu toe besproken onderzoeksmethoden samengevat voor constructiestaalsoorten, de roestvaste staalsoorten en gietijzersoorten.

Tenslotte nog een opmerking over de herkenning van materialen.

Aluminiumlegeringen kunnen op grond van hun kleur en gewicht gemakkelijk van de ijzerlegeringen worden onderscheiden. Dat geldt ook voor de koperlegeringen.

Nikkellegeringen echter, hebben praktisch dezelfde kleur als staal. Het verschil tussen beide is, dat de nikkellegeringen meestal niet of nauwelijks zijn gecorrodeerd. Bovendien hebben nikkellegeringen een hoger soortelijk gewicht (grotere dichtheid). Tenslotte is er een aantal eenvoudige chemische proeven om onderscheid te maken tussen materialen.

6 Onderzoek

Onderzoek naar de grootte en de ligging van een las- of materiaalfout is belangrijk. Kennis over de on(mogelijkheden) van de onderzoeksmethoden is van belang voor het opstellen van een verantwoorde reparatiemethodiek. De onderzoeksmethoden kunnen in twee hoofdgroepen worden onderverdeeld, namelijk:

- ▶ destructief onderzoek (DO);
- ▶ niet-destructief onderzoek (NDO).

Bij het destructieve onderzoek wordt het materiaal kapot gemaakt, opdat bepaalde materiaaleigenschappen bekend worden. Zo wordt, afhankelijk van het type beproeving, onder andere inzicht verkregen in de sterkte-eigenschappen, de taaieigenschappen, de snelheid van scheurgroei, de hardheid en andere eigenschappen van het onderzochte materiaal. Ook wordt meer bekend over de grootte en de ligging van de fout.

Wordt het werkstuk op deze wijze onderzocht, dan moet het te onderzoeken deel worden uitgenomen; later moet dan weer een nieuw stuk metaal worden ingezet.

De destructieve beproevingsmethoden zoals de trekproef, de buigproef, hardheidsmetingen en andere methoden worden hier niet behandeld.

Om iets te weten te komen over het type fout, alsmede de plaats en de ligging ervan, is het eenvoudiger om een niet-destructief onderzoek uit te voeren.

Beknopt worden de niet-destructieve methoden besproken.

Het niet-destructief onderzoek is in twee categorieën onder te verdelen, namelijk:

- ▶ onderzoek naar oppervlakte fouten;
- ▶ onderzoek naar inwendige fouten.

Van deze beide categorieën worden, voor wat betreft de wijze van onderzoek, de meest voorkomende methoden beknopt behandeld. Ook worden de voor- en nadelen, alsmede de toepassingsgebieden van de verschillende methoden gegeven.

Voordat de verschillende onderzoeksmethoden de revue passeren, wordt ingegaan op een Europees model voor het onderzoeken op verschillende kwaliteitsniveaus.

In de NEN-bundel 23 "Normen voor niet-destructief onderzoek van lassen" wordt het Europese model voor de samenhang van vervaardigingsnormen eerstelijnsnormen genoemd. Voor de tweedelijnsnormen, zoals de normen voor kwaliteitsniveaus, worden acceptatiecriteria en NDO-methoden gegeven. In dit overzicht speelt de norm NEN-EN 12062 een centrale rol. In deze norm worden algemene regels gegeven voor het niet-destructief onderzoek van lassen. Vervolgens wordt de relatie gelegd tussen de verschillende NDO-technieken en wordt de samenhang beschreven tussen de kwaliteitsniveaus en de acceptatiecriteria.

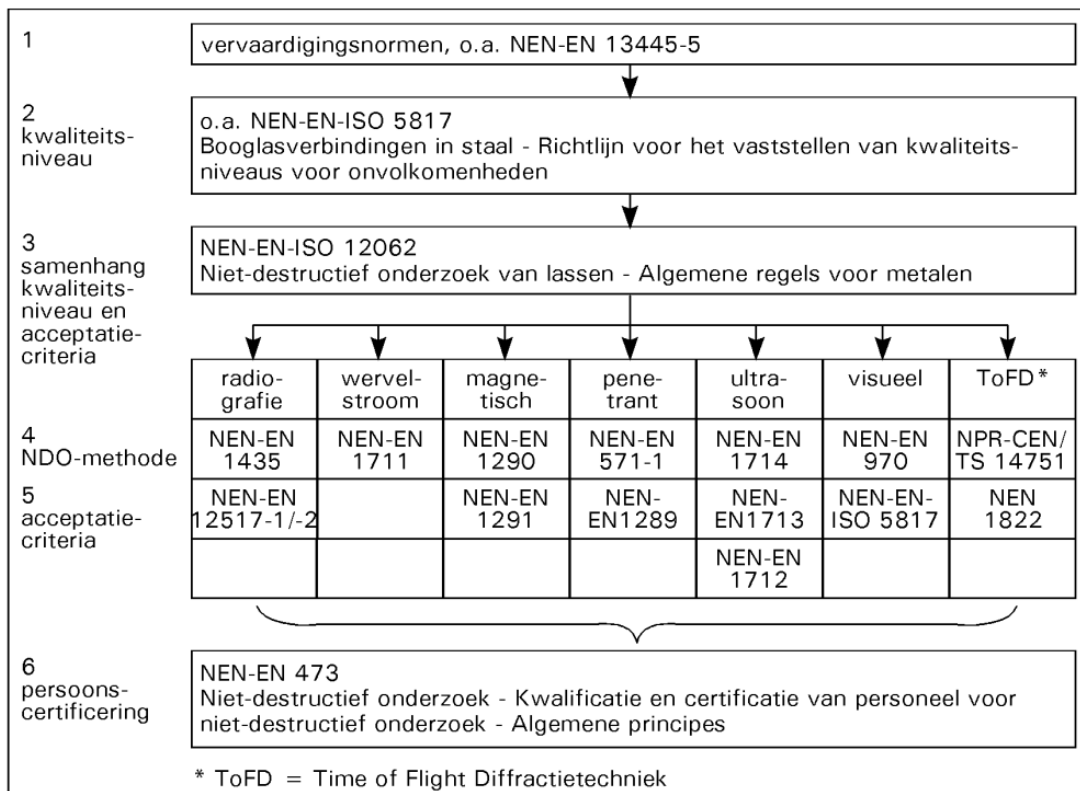
In figuur 6.1, het Europese model, wordt de samenhang van de verschillende normen duidelijk. Deze samenhang wordt niet verder uitgediept. Daarvoor wordt verwezen naar de voorlichtingspublicatie VM 118 "Niet destructief onderzoek".

6.1 Onderzoek naar oppervlakte fouten

6.1.1 Visueel onderzoek

Deze methode wordt feitelijk door iedere lasser na het leggen van een lasrups al automatisch toegepast. Zo controleert hij of er geen eindkraters aanwezig zijn, of de rups vrij is van porositeiten en scheuren en of er geen randin-kartelingen aanwezig zijn.

Veelal wordt er van uitgegaan dat dit onderzoek zonder hulpmiddelen, zoals een loep of een meetinstrument, moet worden uitgevoerd. Niets is minder waar! Bij het visuele onderzoek moet gecontroleerd worden of de geconstateerde afwijkingen toelaatbaar zijn overeenkomstig de norm NEN-EN-ISO 5817. Meetgereedschap moet derhalve aanwezig zijn. Bovendien moet de te inspecteren plaats toegankelijk zijn en moet er voldoende licht aanwezig zijn. Het is duidelijk dat deze methode alleen geschikt is voor onderzoek naar oppervlaktefouten die zichtbaar zijn. Deze onderzoeksmethode is op alle materialen toe te passen. Een belangrijke norm bij deze methode van onderzoek is NEN-EN 970: "Lassen - Visueel onderzoek aan gesmelt-laste verbindingen".



figuur 6.1 Europees model voor het onderzoek op verschillende kwaliteitsniveaus

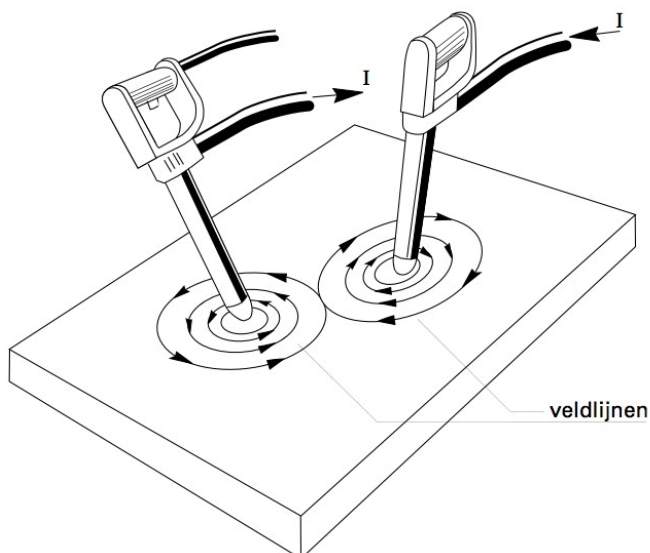
6.1.2 Magnetisch onderzoek

Deze onderzoeksmethode berust op het fenomeen dat ijzervijlsel, in een vloeistof opgelost, de eigenschap heeft, indien het zich in een magnetisch veld bevindt, eventueel onderbroken magneetveldlijnen te herstellen.

Bij de uitvoering van het onderzoek worden de polen van een permanente magneet of een elektromagneet op het te onderzoeken oppervlak geplaatst, nadat het te onderzoeken gebied licht wit is geschilderd. Hierna wordt ijzervijlsel, opgelost in olie, tussen de magneetpolen gebracht. Door het magnetische veld zal het ijzervijlsel zich verzamelen op de plaats van eventuele scheuren. Het wil namelijk de ter plaatse van de scheur onderbroken magneetlijnen herstellen: het vormt een brug over de scheur. Het zwarte ijzervijlsel tekent zich daar ter plaatse dan scherp af tegen de witte achtergrond. Figuur 6.2 is een schematische weergave van deze methode.

Het zal duidelijk zijn dat deze onderzoeksmethode alleen geschikt is voor gebruik op magnetiseerbare metalen. Het is niet toepasbaar op austenitische roestvast staalsoorten en de non-ferrometalen zoals aluminium, koper, nikkel en hun legeringen.

Van deze onderzoeksmethode krijgt men niet automatisch een rapport; dit zal door de onderzoeker moeten worden opgesteld, al of niet onderbouwd met foto's als bewijsmateriaal.



figuur 6.2 Magnetisch scheuronderzoek

Toepassing van een permanente dan wel elektromagneet maakt in feite niet uit; op moeilijk bereikbare plaatsen zal men eerder overgaan tot gebruik van sterke permanente magneten.

Een variant van dit onderzoek is het onderzoek onder fluorescerend licht. Het voordeel hiervan is, dat het werkstuk oppervlak niet hoeft te worden geschilderd en dus gaaf blijft. Een nadeel is, dat het veelal in speciale en verduisterde ruimten moet worden uitgevoerd.

Indien het onderzoek goed wordt uitgevoerd met krachtige magneten, is het zelfs mogelijk scheuren op te sporen die net onder het oppervlak liggen. Ervaring is echter wel vereist voor dit onderzoek en de interpretatie van de resultaten.

Belangrijke normen bij deze methode van onderzoek zijn NEN-EN 1290: "Niet destructief onderzoek van lassen - Methode" en NEN-EN 1291: "Niet destructief onderzoek van lassen - Aanvaardbaarheidsniveau's".

Opgelet moet worden als men dit onderzoek toepast op lasverbindingen in bijvoorbeeld moeilijk lasbare staalsoorten waarbij een austenitisch toevoegmateriaal is gebruikt. Bij deze onderzoeksmethode zal de smeltlijn tussen lasmetaal en basismetaal zich als een scheur aftekenen. Weten welke

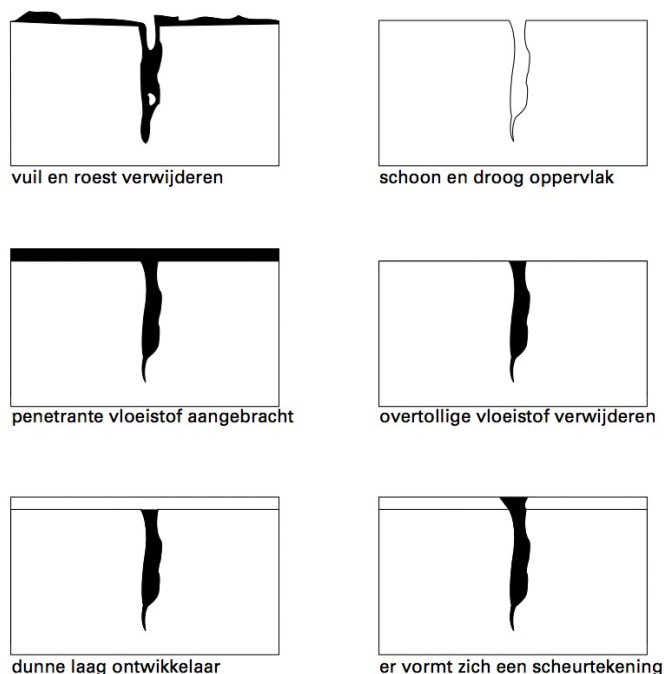
lasmethode en welk lastoevoegmateriaal is toegepast is dus een vereiste.

6.1.3 Penetrant onderzoek

Deze onderzoeksmethode ziet er heel simpel uit en wordt daarom vaak verkeerd uitgevoerd en geïnterpreteerd. Ook hiervoor is ervaring vereist.

Dit onderzoek maakt gebruik van de capillaire werking van vloeistoffen in oppervlakte-onvolkomenheden. De op het oppervlak gespoten vloeistof, meestal zeer dun en rood van kleur, zal in de in het oppervlak aanwezige onvolkomenheden dringen. Uiteraard moet het daarvoor wel de tijd krijgen. Na deze tijd wordt het oppervlak gereinigd, waarna een zogenaamde "ontwikkelaar" op het oppervlak wordt gespoten. Deze ontwikkelaar, meestal wit van kleur, werkt net als het ouderwetse vloeiblad: het zuigt de rode vloeistof uit de onvolkomenheden op. Er tekenen zich dus in de witte stof rode lijnen of stippen af. Hier ter plaats zijn dus oppervlakte onvolkomenheden aanwezig. Deze methode is ook bekend onder de naam "dye-check".

Voor een beknopte werkwijze van deze methode wordt verwezen naar figuur 6.3.



figuur 6.3 Penetrant onderzoek

Zoals opgemerkt: door de eenvoud wordt deze methode veelvuldig verkeerd uitgevoerd. De intrektijd van de rode vloeistof in de oppervlakte-onvolkomenheden is al genoemd. Een tweede fout kan zijn, dat men met een te grote hoeveelheid van de reinigingsvloeistof de rode stof uit de onvolkomenheden spoelt.

Als derde fout kan de ontwikkelaar zo dik worden aangebracht, dat de rode stof niet tot aan het oppervlak ervan kan doordringen.

En als laatste: de ontwikkelaar moet de tijd krijgen de rode vloeistof op te zuigen. Interpretatie van de resultaten moet plaats vinden ca. 10 - 15 minuten na het aanbrengen van de ontwikkelaar.

Deze onderzoeksmethode levert geen direct bewijsmateriaal en protocol op; ook hier zal de onderzoeker zelf een rapport moeten opstellen, al of niet met foto's als bewijsmateriaal.

Deze methode kan op zowel magnetische (ferro), alsook op niet magnetische (non-ferro) materialen worden uitgevoerd.

De norm ISO 3452-1 "Niet-destructief onderzoek - penetrant onderzoek - Algemene uitgangspunten" geeft de uitvoering van deze onderzoeksmethode weer, terwijl de norm

NEN EN 1289: " Niet destructief onderzoek van lassen - Penetrant onderzoek van lassen - Aanvaardbaarheidsniveau's" bij de uitvoering van het onderzoek een belangrijk document is.

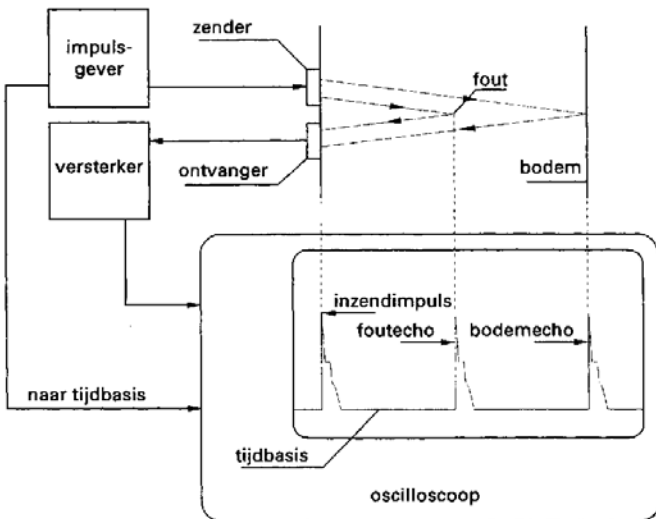
6.2 Inwendig materiaalonderzoek

Met deze onderzoeksmethoden krijgt men inzicht in onvolkomenheden die zich in het materiaal bevinden en die niet aan het oppervlak komen. Tot deze groep van methoden behoren:

- ▶ het ultrasoon onderzoek;
- ▶ het radiografisch onderzoek.

6.2.1 Ultrasoon onderzoek

Bij deze methode, vaak afgekort tot US-onderzoek, maakt men gebruik van de eigenschap dat geluid met een zeer hoge frequentie zich kan voortplanten door metalen. De snelheid van het geluid is een materiaalconstante en ligt tussen de 3,2 en 5,9 km/sec. Wordt het geluid op een plaats uitgezonden en op een andere plaats opgevangen, dan kan, aan de hand van de gemeten tijd tussen zenden en ontvangen, de afgelegde weg worden berekend. Dank zij de moderne elektronica kan dit zeer snel geschieden en kan een en ander op een beeldscherm worden weergegeven. In figuur 6.4 is het principe weergegeven van het ultrasoon onderzoek; in dit geval het meten van een plaatdikte, waarbij een aparte zender en ontvanger wordt gebruikt.



figuur 6.4 Principe van het ultrasoon onderzoek

Bovendien is het zo dat, net als bij het biljarten de bal van de tafelrand terugkaatst, geluid op een scheidingsvlak ook wordt teruggekaatst. Hierdoor kan men de zender en ontvanger in één huis, de zogenaamde taster, onderbrengen.

Door de zender en de ontvanger beide onder een hoek te plaatsen in de taster en met de taster over het plaatoppervlak te schuiven, kan met het gereflecteerde geluid, afkomstig van bijvoorbeeld een defect in een lasnaad, de plaats van het defect bepaald worden. Figuur 6.5 geeft een en ander weer. Met deze onderzoeksmethode kunnen zowel volumetrische als ook vlakke fouten worden gevonden.

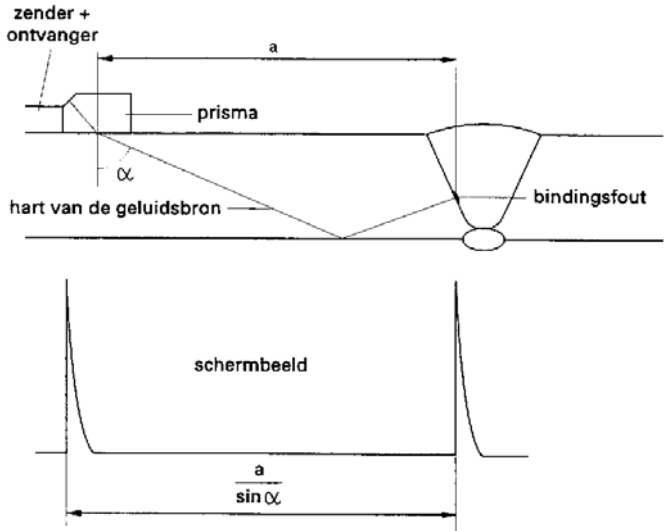
Deze laatste categorie is moeilijker te vinden. Worden dergelijke fouten verwacht in een lasnaad, dan moet de onderzoeker bekend zijn met de lasvorm. Hierop moet hij zijn straalvorm en gevoeligheid van meten instellen.

Het voordeel van een ultrasoon onderzoek is, dat men vrij nauwkeurig de diepte van het defect kan bepalen.

Belangrijke normen zijn:

- ▶ NEN-EN 1713 "Niet-destructief onderzoek van lassen - Ultrasoon onderzoek - Karakterisering van fouten in lassen";
- ▶ NEN-EN 1714 "Niet destructief onderzoek van lassen - Ultrasoon onderzoek van lasverbindingen".

De hedendaagse technische ontwikkelingen hebben het mogelijk gemaakt om, in plaats van het handmatig bewegen van de taster langs de lasnaad, dit gemechaniseerd te doen. Bovendien kan het resultaat digitaal worden opgeslagen, waardoor het mogelijk is geworden in alle rust de resultaten op een computerscherm te evalueren.



figuur 6.5 Ultrasoon lasonderzoek

6.2.2 Radiografisch onderzoek

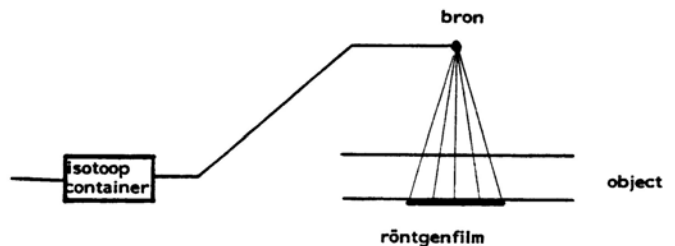
Bij het radiografisch onderzoek maakt men gebruik van het fenomeen dat röntgenstralen door een metaal dringen en een aan de andere zijde van de wand aangebrachte gevoelige plaat "belichten". Ter plaatse van volumetrische defecten in het metaal zal minder straling op de film komen en daar zal de film meer "zwarting" vertonen. Op de film tekenen zich na het ontwikkelen de gevonden fouten af. Op welke diepte deze fouten aanwezig zijn, is meestal niet af te leiden van de film.

Het vinden van inwendige scheuren met deze methode kan alleen, indien deze evenwijdig aan de straling lopen.

Er zijn twee soorten van straling, namelijk een die door een röntgenbuis wordt opgewekt en een ander die door een radioactieve bron wordt uitgestraald. In het eerste geval spreekt men van röntgenonderzoek en in het tweede geval van gammagrafisch onderzoek.

6.2.2.1 Röntgenonderzoek

Zoals gezegd wordt hierbij de straling in een röntgenbuis opgewekt. Het betreft hier dus elektrisch opgewekte straling, hetgeen inhoudt dat deze onderzoeksmethode alleen kan plaatsvinden daar waar elektriciteit voorhanden is. Het principe van deze methode is weergegeven in figuur 6.6.



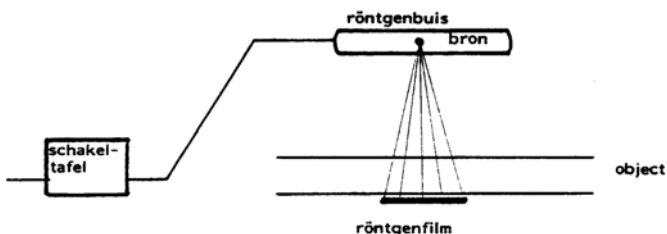
figuur 6.6 Röntgenonderzoek

De tijdsduur van het doorstralen kan door de onderzoeker worden geregeld met behulp van een regelkast.

6.2.2.2 Gammagrafisch onderzoek

Bij deze methode wordt gebruikgemaakt van de natuurlijke straling van radioactieve bronnen (isotopen) zoals bijvoorbeeld Iridium 192. Voor het stralen wordt de bron uit een "dichte" container via een afstandsbediening naar de plaats van doorstraling bewogen. Bij deze methode is men niet plaatsgebonden voor wat betreft de aanwezigheid van elektriciteit.

In figuur 6.7 is het principe van deze methode weergegeven.



figuur 6.7 Gammagrafisch onderzoek

6.3 Overige onderzoeksmethoden.

Naast de genoemde en besproken niet-destructieve onderzoekstechnieken zijn er enkele die hier niet besproken worden. Te denken valt aan bijvoorbeeld wervelstroomonderzoek, lekkdetectie testen, gemechaniseerd ultrasoon onderzoek en dergelijke.

7 Reparatieplan

Voordat met het daadwerkelijk uitvoeren van de reparatie wordt aangevangen, is het aan te bevelen, zoals uit het schema van figuur 3.1 blijkt, een reparatieplan op te stellen. In dit plan komen de volgende stappen aan de orde:

- ▶ Vaststellen van de oorzaak van het defect (§ 7.1);
- ▶ Karakterisering van de lasplaats (§ 7.2);
- ▶ Verwijderen van het defect (§ 7.3);
- ▶ Voorbewerking (§ 7.4);
- ▶ Keuze lasproces (§ 7.5).

7.1 Vaststellen van de oorzaak van het defect

Zoals uit de behandeling van zowel de slijtage- als de corrosievormen is gebleken, vergt iedere vorm een ander toe te passen materiaal voor de bedekkingslaag. Duidelijk is dat het vaststellen van de juiste oorzaak van het opgetreden defect noodzakelijk is. Naast de bespreking van een aantal defecten in deze publicatie, kan de eerder genoemde voorlichtingspublicatie (VM 108) behulpzaam zijn.

7.2 Karakterisering van de lasplaats

Hieronder moet worden verstaan het inventariseren van de volgende punten:

- ▶ identificatie van het te lassen basismateriaal;
- ▶ onder welke omstandigheden moet het laswerk worden uitgevoerd (in een werkplaats, buiten, op grote hoogte, wat zijn de weersomstandigheden als buiten gelast moet worden);
- ▶ welke processen kunnen onder de gegeven omstandigheden worden toegepast;
- ▶ is lastoevoegmateriaal verkrijgbaar voor het toe te passen lasproces;
- ▶ hoe groot is de reparatieplek.

Als de omstandigheden voor de reparatie bekend zijn, met andere woorden: de reparatieplaats is gekarakteriseerd, kan tot het opstellen van een reparatieprocedure worden overgegaan.

Tot deze procedure behoren:

- ▶ het verwijderen van het defect;
- ▶ eventueel voorwarmen;
- ▶ uitvoeren van het lassen zelf;
- ▶ inspectie en onderzoek;
- ▶ nazorg.

Als tekeningen van het te repareren onderdeel beschikbaar zijn is het vaststellen van het te repareren basismateriaal eenvoudig. Zijn geen gegevens voorhanden, dan zal op de een of andere manier het te repareren type basismateriaal moeten worden vastgesteld. Op het herkennen van basismaterialen is in hoofdstuk 5 ingegaan.

7.3 Verwijderen van het defect

Verwijdering van defecten kan plaats vinden met één van de volgende methoden (of combinaties daarvan): slijpen, hakken en/of gutsen.

Men moet er zeker van zijn dat het defect volledig is verwijderd! Tussentijdse inspectie met één van de in hoofdstuk 6 genoemde onderzoeksmethoden is aan te bevelen. Men moet zich wel realiseren dat scheuren ten gevolge van slijpen en hakken dichtgedrukt kunnen worden, zodat zij bij een visuele inspectie niet opgemerkt behoeven te worden.

Bij het koolbooggutsen is het noodzakelijk dat men beschikt over een stroombron met voldoende vermogen, een open spanning van minimaal 80 V, alsook over voldoende perslucht, zowel in hoeveelheid als druk (minimaal 600 l per minuut bij een druk van 7 bar). Indien men niet over de juiste installatie beschikt, treden voortdurend kortsluitingen tussen elektrode en werkstuk op, met als gevolg koolstofopname op de flank van de lasnaad. Naslijpen is in dat geval absolute noodzaak!

Bovendien moeten staalsoorten, die voor het lassen dienen te worden voorgewarmd, ook voor het gutsen worden voorgewarmd. In deze wordt verwezen naar de norm NEN-EN 1011: "Booglassen van metallische materialen, deel 1: Algemene voorwaarden" en deel 2: "Het lassen van ferritische staalsoorten".

7.4 Voorbewerking

Doorgaans zal de lasnaadvoorbewerking gelijk met het verwijderen van het defect plaatsvinden. Er moet gezorgd worden voor een vloeiend verloop van de lasnaad naar het oppervlak van het werkstuk. Hierdoor kunnen allerlei narigheden achteraf worden voorkomen.

7.5 Keuze lasproces

In principe komt ieder lasproces voor toepassing bij een reparatie in aanmerking. Echter, er is een aantal factoren die de keuze van het proces beïnvloeden. Voorbeelden hiervan zijn:

- ▶ Indien de reparatie buiten moet worden uitgevoerd, zal eerder worden gekozen voor het lassen met beklede elektroden of met gasloze gevulde draad, dan dat er wordt overgegaan tot het bouwen van een volledige tent waarbinnen een booglasproces onder gasbescherming kan worden toegepast.
- ▶ Als de reparatie op bijvoorbeeld grote hoogte moet worden uitgevoerd, zal eerder worden gekozen voor een proces waarbij relatief kleine en lichte lasapparatuur kan worden ingezet. Hierbij zal veelal worden overgegaan tot toepassing van het lassen met beklede elektroden, waarbij de moderne inverter stroombronnen kunnen worden gebruikt.
- ▶ De toepassing van een bepaald proces is ook afhankelijk van de verkrijgbaarheid van het gewenste lastoevoegmateriaal. Zo is bijvoorbeeld het assortiment aan massieve lasdraden voor MAG-oplassen van slijtvaste lagen aanzienlijk beperkter dan het assortiment beklede elektroden en gevulde draden.

In het algemeen zijn de processen die het eerst in aanmerking komen voor het uitvoeren van een reparatie het lassen met beklede elektroden, alsmede het MIG/MAG lassen met massieve dan wel gevulde draden.

7.6 Keuze lastoevoegmateriaal

7.6.1 Oplassen slijtvaste lagen

Omdat de omstandigheden nagenoeg oneindig kunnen variëren, bestaat er geen lijst aan de hand waarvan voor

alle situaties een optimale opaslegering kan worden gekozen. De keuze moet gebaseerd zijn op de volgende mogelijkheden:

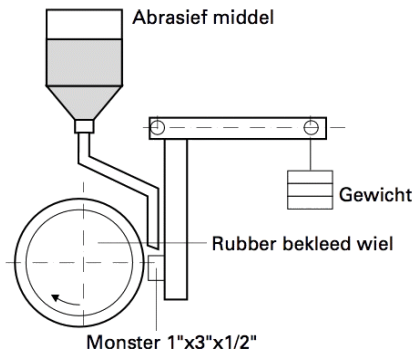
1. ervaring in het eigen bedrijf;
2. advies van leveranciers van opaslegeringen;
3. informatie uit literatuur voor ongeveer gelijke situaties;
4. inzicht in optredende slijtagemechanismen;
5. kennis van de eigenschappen van opasmaterialen;
6. resultaten uit doelgericht slijtageonderzoek.

De punten 1 tot en met 3 hebben betrekking op reeds aanwezige specifieke kennis binnen het bedrijf zelf, bij de leverancier van opasmaterialen of bij derden. In feite komen deze drie punten neer op het toepassen van opgebouwde ervaring uit de praktijk. Lukt het niet om op die manier een goede keuze te maken, dan moet toevlucht worden genomen tot de punten 4 tot en met 6. Dit zal vooral het geval zijn bij nieuwe constructies, reparaties of wanneer de bestaande opgelaste deklaag niet voldoet.

7.6.2 Beproevingsmethoden slijtvaste lagen

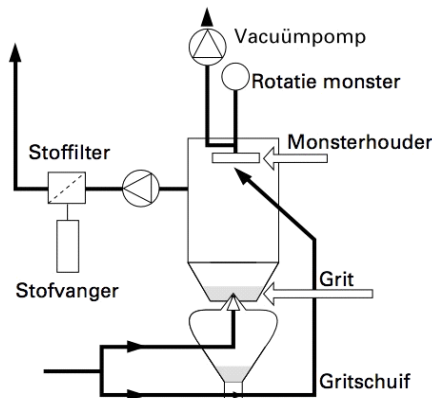
Er zijn verschillende methoden ter beproeving van slijtvaste oplassingen. Velen daarvan zijn gestandaardiseerd. Echter, men moet er van uitgaan, dat deze beproevingsmethode afwijken van de werkelijke situatie waaraan de opassing wordt blootgesteld. Veel van deze beproevingen zijn vergelijkingsproeven: verschillende opaslegeringen worden onder dezelfde condities beproefd. Bekend zijn onder meer de rubberwiel slijtproef, de straal-slijtageproef, de schuurpapierproef en de slurryproef

Bij de rubberwiel slijtproef (zie figuur 7.1) wordt een te beproeven proefblokje met een constante kracht tegen een rubberen schijf gedrukt, terwijl een abrasief medium tussen schijf en monster wordt gevoerd. Na een bepaalde beproevingstijd wordt de gewichtsafname van het monster bepaald en uitgedrukt in procenten van dat van staal type S235.



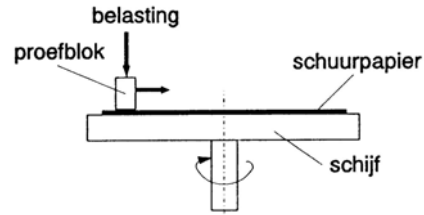
figuur 7.1 Rubberwiel slijtproef

Bij de straal-slijtageproef, zie figuur 7.2, wordt straalgrit gedurende een bepaalde tijd op het te beproeven monster gestraald. Ook nu is de gewichtsafname van het monster een maat voor de slijtagebestendigheid.



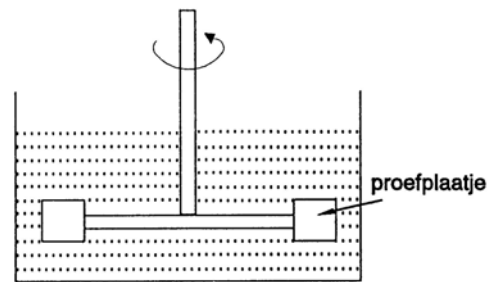
figuur 7.2 Straalslijtageproef

Bij de schuurpapierproef (figuur 7.3) wordt het monster onder een constante druk gedurende een bepaalde tijd op een ronddraaiend schuurpapier gedrukt. Ook nu is de gewichtsafname een maat voor de slijtbestendigheid



figuur 7.3 Schuurpapierproef

Bij de slurryproef (figuur 7.4) wordt het monster gedurende een bepaalde tijd in bijvoorbeeld een water-zandmengsel rondgedraaid. Het zal duidelijk zijn dat de gewichtsafname een maat voor de slijtbestendigheid is.



figuur 7.4 Slurryproef

Voor meer informatie over de verschillende slijtageproeven wordt verwezen naar de eerder genoemde voorlichtingspublicatie VM 108 - "Corrosiebestendige en slijtvaste oppervlaktelagen door oplassen en thermisch spuiten".

Zoals eerder opgemerkt is het voorspellen van de meeste geschikte opaslegering alleen mogelijk in algemene termen. Hiervoor is, naast het eventueel gedrag bij een van de slijtageproeven, veel ervaring nodig. Toch is er een aantal hulpmiddelen waarmee men de richting van zoeken kan bepalen. De matrix in figuur 7.5 is zo'n hulpmiddel.

| | | | |
|--------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|
| laag ← weerstand tegen abrasieve slijtage → hoog | | | |
| austenitische Mn- en Cr-Mn stalen | laag gelegeerde stalen | wolframcarbide composieten | laag |
| martensitische roestvaste stalen | | | ↑ |
| austenitische Cr-Ni stalen | snelstalen | austenitische en martensitische hoog Cr stalen | weerstand tegen hoge temp. en corrosie |
| legeringen op basis van Co en Ni | | | ↓ |
| laag ← weerstand tegen stootbelastingen → hoog | | | hoog |

figuur 7.5 Kenmerkende eigenschappen van de belangrijkste groepen opasmaterialen

7.6.3 Oplassen corrosievaste lagen

Bekend is dat de bekende roestvaste staalsoorten ieder hun specifieke toepassing hebben. Zij worden dan ook gekozen voor die toepassing op grond van hun specifieke corrosiebestendigheid in een bepaald milieu. Zo kunnen natuurlijk ook deze legeringen worden opgelast op een dragermateriaal om dit bestand te maken tegen een corrosieve aantasting. Hiertoe is een scala aan lastoevoegmaterialen voor de meest toegepaste lasprocessen beschikbaar.

In de eerder genoemde voorlichtingspublicatie (VM 108) is een groot aantal voorbeelden hiervan gegeven. Bovendien worden de verschillende corrosieproeven genoemd.

7.6.4 Opmenging

Bij het oplassen van zowel slijtvaste alsook corrosievaste lagen speelt de vermenging van het lastoevoegmateriaal met het basismateriaal een grote rol. De opmenging is afhankelijk van onder andere de volgende factoren:

- ▶ lasstroomsterkte;
- ▶ boogspanning;
- ▶ voortloopsnelheid;
- ▶ toegepaste beschermgas bij het MAG-lassen;
- ▶ overlap van de lasrups met de vorig gelegde lasrups.

Zo gelden als richtwaarden voor opmengpercentages:

- ▶ Oplassen met beklede elektroden: 30 - 40%;
- ▶ MAG-oplassen: 25 - 40%;
- ▶ MIG-oplassen: 25 - 40%;
- ▶ Onder poeder oplassen met draad: 25 - 70%;
- ▶ Oplassen onder poeder met band: 15 - 25%;
- ▶ Elektroslakoplassen met band: 5 - 20%.

Bovenstaande opmengpercentages leren ons dat, wil men de juiste eigenschappen bereiken die door de fabrikant van de lastoevoegmaterialen in hun documentatie is opgenomen, men voor het lassen met beklede elektroden in minimaal drie lagen moet oplassen. Voor het oplassen onder poeder met band kan veelal met twee lagen worden volstaan, terwijl bij het elektroslakoplassen met band veelal met slechts één laag kan worden volstaan. Hierbij wordt dan meestal van een iets overgelegeerde lasband uitgegaan.

7.6.5 Verbindingslassen

Bij een reparatie kunnen hoge spanningen optreden in de grondlaag bij het maken van de doorlassing. In dat geval kan worden overwogen een lastoevoegmateriaal toe te passen met een lagere vloeigrens dan het te repareren basismetaal zelf. Deze lastoevoegmaterialen worden ook wel de "low-yield" toevoegmaterialen genoemd. Het voordeel is dat de nodige rek gemakkelijk door deze toevoegmaterialen kan worden geleverd.

Bovendien moet men in het achterhoofd houden dat, zeker bij reparaties in ferritische staalsoorten waarbij hoge spanningen worden verwacht, lastoevoegmaterialen moeten worden gebruikt die een laag gehalte aan waterstof hebben. Hierdoor kunnen de zogenaamde "waterstofscheuren", ook wel koude scheuren genoemd, worden voorkomen.

8 Thermische voor- en nabehandeling

De keuze van een thermische voor- en nabehandeling is afhankelijk van een aantal factoren, waarvan de belangrijkste zijn:

- ▶ de samenstelling van het basismateriaal;
- ▶ de dikte van het te lassen materiaal;
- ▶ het spanningsniveau;
- ▶ de warmte-inbreng tijdens het lassen;
- ▶ de omgevingstemperatuur;
- ▶ de restspanningen na het lassen;
- ▶ de hoeveelheid diffundeerbare waterstof van het lastoevoegmateriaal.

Thermische behandelingen bij het lassen kunnen zijn:

- ▶ voorwarmen voor het lassen;
- ▶ aanhouden van de tussenlagentemperatuur (de zogenaamde interpass temperatuur);
- ▶ waterstofarmgloeien;
- ▶ spanningsarmgloeien;
- ▶ toepassen van de zogenaamde "temperbead methode".

Voor deze warmtebehandelingen wordt verwezen naar de voorlichtingspublicatie VM 128 - "Warmtebehandelingen van staal", waarin de warmtebehandelingen uitgebreid worden besproken.

8.1 Voorwarmen

Werkstukken worden voor aanvang van het lassen voorverwarmd om de snelheid van afvoer van de laswarmte te verlagen. Hiermee bereikt men dat het optreden van harde zones in daartoe gevoelige staalsoorten wordt voorkomen.

8.2 Tussenlagentemperatuur

De tussenlagentemperatuur is die temperatuur die een bepaald punt in de lasnaad mag hebben, voordat de lasboog dat punt weer passeert. Beperking van deze temperatuur laat het staal alsook het lasmetaal zijn taaierheid behouden.

8.3 Meten van de voorwarm- en tussenlagentemperatuur

Uiteraard is het op de juiste wijze meten van de voorwarmtemperatuur van belang. Ook dit onderwerp wordt in de voorlichtingspublicatie VM 128 - "Warmtebehandelingen van staal" uitgebreid behandeld.

8.4 Waterstofarmgloeien

Het doel van het waterstofarmgloeien is er voor te zorgen, dat het eventueel in het lasmetaal aanwezige waterstof wordt uitgedreven. In het algemeen is de temperatuur voor deze behandeling, ook wel nawarmen of soaken genoemd, ca. 250 °C; de houdtijd is ca. 2 uur.

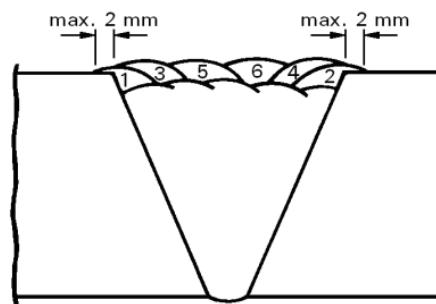
Ook heeft het nawarmen het voordeel dat aanwezige krimpspanningen zich meer gelijkmatig kunnen verdelen rond de lasplaat. Zie ook de voorlichtingspublicatie VM 128 - "Warmtebehandelingen van staal".

8.5 Spanningsarmgloeien

Doel van het spanningsarmgloeien is door een warmtebehandeling de hoogte van de inwendige spanningen, ontstaan door onder andere het lassen, te doen afnemen. De temperatuur hiervan is voor ongelegeerd staal ca. 580-620 °C. Zie ook de voorlichtingspublicatie VM 128 - "Warmtebehandelingen van staal".

8.6 Temperbead methode

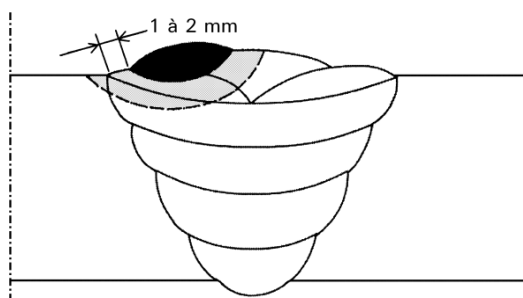
Bij het verbindingslassen is het nagenoeg altijd aan te bevelen een meerslagen techniek toe te passen. Voor het vullen van de naad moet altijd aan de laskant worden begonnen, zodat met de warmte van de daarop aangebrachte lasrups ook de overgangzone wordt uitgloeit. Bij het vullen van een lasnaad zoals aangegeven in figuur 8.1 vindt dit uitgloeien plaats.



figuur 8.1 Juiste wijze van vullen van een lasnaad, waarbij de laatst gelegde lasrups de vorige uitgloeit, de zogenaamde "temperbead methode".

Echter, het op deze wijze leggen van de sluitlaag is niet altijd mogelijk. Denk aan het sluiten van een V-naad uit de zij (positie PC). Hierbij legt men de laatste lasrups boven in de naad. Hierna wordt geen lasrups meer gelegd die de harde zone naast de las uitgloeit.

Met de zogenaamde "temperbead methode" last men op ca 1,5 mm naast de smeltlijn bovenop de laatstgelegde lasrups nog een kleine rups, waarvan de warmte de harde zone uitgloeit. In figuur 8.2 is dit schematisch weergegeven.



figuur 8.2 Tempersnoer

8.7 Overige nabehandelingstechnieken

Om de spanningen die zijn ontstaan door het krimpen van het lasmetaal te verlagen, is als warmtebehandeling het spanningsarmgloeien genoemd.

Als nadeel van het spanningsarmgloeien moet worden genoemd, dat er ontoelaatbare vervormingen kunnen ontstaan doordat vloeien in het materiaal optreedt.

Een andere methode om de spanningen te doen afnemen is het spanningsarmtrillen. Bij deze methode wordt het werkstuk in trilling gebracht en wel in de frequentie van het eigen trillingsgetal. Ook door deze trillingsenergie vindt een herordening van de inwendige spanningen plaats, zodat het niveau van de spanningen afneemt. Een voordeel van het spanningsarmtrillen is dat er geen vervormingen van het werkstuk optreden.

Scherpe materiaalovergangen zoals kerven naast lasrupsen kunnen, bij een wisselende belasting, aanleiding zijn tot het ontstaan van vermoeiingscheuren. Ook hoge piekspanningen (trekspanningen) kunnen onder invloed van de wisselende belasting meewerken aan het ontstaan van vermoeiingscheuren. Kunnen de hoge trekspanningen worden omgezet in drukspanningen, dan zal de vermoeiingssterkte toenemen. Een methode om drukspanningen aan te brengen is het zogenaamde Ultrasonic Impact Treatment, afgekort tot UIT. Bij deze methode kunnen via het in een hoge frequentie brengen van trilnaden, drukspanningen naast de las worden geïntroduceerd.

9 Bewaking van de kwaliteit

Het is van belang dat de kwaliteit van de reparatie goed is. Om dit te bereiken staan ons enkele "hulpmiddelen" ter beschikking:

- ▶ de lasmethodebeschrijving en lasmethodekwalificatie;
- ▶ de lasserskwalificatie.

9.1 Lasmethodebeschrijving en de -kwalificatie

De methode van lassen wordt in eerste instantie beschreven in de z.g. lasmethodebeschrijving (WPS of LMB genoemd). In deze WPS worden alle relevante details nauwkeurig vastgelegd, zodanig dat de lasser precies weet wat er van hem wordt verlangd. Een WPS wordt beschreven in NEN-EN-ISO 15609-serie "Beschrijving en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Lasmethodebeschrijving". Natuurlijk is een beschrijving niet voldoende en zal er moeten worden aangetoond dat een aldus gelegde las aan de gestelde eisen voldoet. In dat geval moet de WPS worden gekwalificeerd door bijvoorbeeld een proeflas te maken. Dit wordt in detail beschreven in de EN ISO 15614-serie "Beschrijving en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Lasmethodebeproeving". Deze werkwijze voor het verkrijgen van een goedgekeurde WPS kent nog enkele alternatieve methoden die worden beschreven in:

- ▶ NEN-EN-ISO 15610 "Beschrijving en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Goedkeuring op basis van beproefde lastoevoegmaterialen";

- ▶ NEN-EN-ISO 15611: "Beschrijving en goedkeuren van lasmethoden voor metalen" - Goedkeuring op basis van opgedane ervaring";
- ▶ NEN-EN-ISO 15612 "Beschrijving en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Goedkeuring op basis van een standaard lasmethode";
- ▶ NEN-EN-ISO 15613 "Beschrijving en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Goedkeuring op basis van een lasproef voor aanvang van de productie".

Zoals gemeld, is een gekwalificeerde methode niet altijd vereist, maar volgens NEN EN 1011 zal men bij de uitvoering van laswerk ook moeten beschikken over een gekwalificeerde reparatiemethode.

9.2 Lasserskwalificatie

Indien nog gekwalificeerde lassers kunnen worden ingezet voor het uitvoeren van de reparatie, is dit een extra bijdrage aan het laten slagen van de reparatie.

De norm NEN EN 287-1; "Het kwalificeren van lassers - Smeltlassers - deel 1: staal" is een goede basis voor het doorvoeren van de reparatie indien het lassen handmatig wordt uitgevoerd. Wordt de reparatie geheel mechanisch dan wel automatisch uitgevoerd, dan komt voor het kwalificeren van lassers norm NEN EN 1418: "Laspersoneel - Het kwalificeren van bedieners van lasmachines voor smeltlassen en instellers van weerstandlasapparatuur voor geheel mechanisch en automatisch lassen van metallisch materialen" om de hoek kijken.

Kijk voor meer informatie in de VM 85 "Kwaliteitsborgingsaspecten bij de vervaardiging van gelaste constructies".

10 Slotwoord

Deze voorlichtingspublicatie is bedoeld als een handleiding voor het aanpakken en uitvoeren van reparaties door middel van lassen. Het is onmogelijk om voor alle reparaties een pasklaar antwoord of een pasklare oplossing te geven. Vandaar dat deze publicatie een leidraad is, aan de hand waarvan men stap voor stap de invloedsfactoren die leiden tot een goede en verantwoorde reparatie kan doorlopen. Daar reparatielassen in veel gevallen om specialisme vraagt, is het verstandig om, indien men twijfelt aan de aanpak en uitvoering van lasreparaties, specialisten te raadplegen. Informatie vooraf met een gedegen voorbereiding van de aanpak kost tijd. Maar als een reparatie meermalen moet worden uitgevoerd, omdat ondoordacht te werk is gegaan, zullen de totale reparatiekosten hoger uitkomen dan nodig is. Hier geldt feitelijk de spreuk: Meten is weten en gissen is missen!

11 Literatuurverwijzing

- [1] NEN-EN 287-1: Het kwalificeren van lassers - Smeltlassers - deel 1: staal.
- [2] NEN-EN 970: Lassen - Visueel onderzoek aan gesmeltlaste verbindingen.
- [3] NEN-EN 1011-1: Het lassen van metallische materialen - Algemene voorwaarden.
- [4] NEN-EN 1011-2: Het lassen van metallische materialen - Het lassen van ferritische staalsoorten.
- [5] NEN-EN 1289: Niet destructief onderzoek van lassen - Penetrant onderzoek van lassen - Aanvaardbaarheidsniveau's.
- [6] NEN-EN 1290: Niet destructief onderzoek van lassen - Methode.
- [7] NEN-EN 1291: Niet destructief onderzoek van lassen - Aanvaardbaarheidsniveau's.
- [8] NEN-EN 1418: Laspersoneel - Het kwalificeren van bedieners van lasmachines voor smeltlassen en instellers van weerstandlasapparatuur voor geheel mechanisch en automatisch lassen van metallisch materialen.
- [9] NEN-EN 1713: Niet-destructief onderzoek van lassen - Ultrason onderzoek - Karakterisering van fouten in lassen.


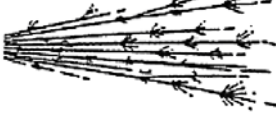
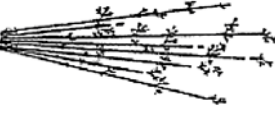
- [10] NEN-EN 1714: Niet destructief onderzoek van lassen - Ultrasoon onderzoek van lasverbindingen.
- [11] ISO 3452-1: Niet-destructief onderzoek - penetrant onderzoek - Algemene uitgangspunten.
- [12] NEN-EN-ISO 5817: Lassen - Smeltlasverbindingen in staal, nikkel, titanium en hun legeringen (laserlassen en elektronenbundel uitgezonderd) - Kwaliteitsniveaus voor onvolkomenheden.
- [13] NEN-EN-ISO 6520: Lassen en verwante processen - Indeling van geometrische onvolkomenheden in metalen - Deel 1: Smeltlassen.
- [14] NEN-EN-ISO 15609: Beschrijving en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Lasmethodebeschrijving.
- [15] NEN-EN-ISO 15610: Beschrijving en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Goedkeuring op basis van beproefde lastoevoegmaterialen.
- [16] NEN-EN-ISO 15611: Beschrijving en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Goedkeuring op basis van opgedane ervaring.
- [17] NEN-EN-ISO 15612: Beschrijving en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Goedkeuring op basis van een standaard lasmethode.
- [18] NEN-EN-ISO 15613: Beschrijving en goedkeuren van lasmethoden voor metalen - Goedkeuring op basis van een lasproef voor aanvang van de productie.
- [19] "Slijtage en corrosie; Voorkomen en repareren." H.J.M. Bodt, A. Kraak en W. Pors, NIL bestelnummer NIL: V950907.
- [20] VM 108: "Corrosiebestendige en slijtvaste oppervlaktelagen door oplassen en thermisch spuiten"; FME.
- [21] Voorlichtingspublicatie VM 128 "Warmtebehandelingen van staal"; FME.
- [22] "Modificatie van een installatie - Schade aan een rvs-leiding"- L. Brandsma; Lastechniek 2 -2005.
- [23] "Warmtebehandelingen - Uitvoer en nazorg van lasreparaties"- W. Pors; Lastechniek 2 -2005.
- [24] "Ultrasonic Impact Treatment Technologie (UIT)" - H. Pieper; Lastechniek 2 -2005.
- [25] "Reparatie en NDO - Een brug te ver" - A. de Roode; Lastechniek 2 -2005.
- [26] "Reparatie met laser - Voordelen van een onconventionele methode: - J. Dijk; Lastechniek 2 -2005.

Bijlage 1

Onderzoeksmethoden voor diverse materialen

Staalsoorten



tabel B.1 Overzicht van proeven voor staal­soorten

| soort proef | toelichting | constructiestaal | veredelingsstaal | machinestaal |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vonkenproef | Vonktekening |  |  |  |
| | | middellange tot lange vonken­bundel, donker tot lichtgeel in het brandende gedeelte, weinig naalden of speerpunten | middellange tot lange vonken­bundel, lichtrood tot donkergeel, lichter bij het spreiden, lange speerpunten en naalden | middellange vonken­bundel, donkergeel tot geel in het brandende gedeelte, fijne naalden of fijnvertakte speerpunten |
| Magneetproef | Magnetisch Licht magnetisch Niet magnetisch | Magnetisch | Magnetisch | Magnetisch |
| Visuele inspectie van a) onderdeel b) breukvlak | <ul style="list-style-type: none"> ▶ oppervlaktegesteldheid, uiterlijk en structuur ▶ geometrie ▶ eventuele aanduidingen ▶ aanwezige vervorming en/of scheuren | Onderdeel of constructie geroest Breukvlak: fijnkorrelig en dof grijs bij aanzienlijke vervormingen, soms glanzend bij brosse breuk | Onderdeel of constructie roestend Breukvlak: fijnkorrelig en dof grijs bij aanzienlijke vervormingen en glanzend bij geringe vervorming | Onderdeel geroest Breukvlak: fijnkorrelig en zowel dof grijs als glanzend |
| Verspaningsproef | <ul style="list-style-type: none"> ▶ spaanvorming ▶ oppervlak na bewerken | Lange lintspaan en gemakkelijk te verspanen Oppervlak relatief ruw na verspanen | Lange lintspaan, minder gemakke­lijk te bewerken Oppervlak gladder dan bij construc­tiestaal | Korte spanen, grote spaankracht Relatief glad bewerkt oppervlak |
| Hardheid eventueel te bepalen met behulp van een vijl | <ul style="list-style-type: none"> ▶ reactie van het materiaal ▶ kleur van het gevijlde materiaal | 90-130 HB Gemakkelijk te vijlen en dof grijs oppervlak na vijlen | 150-180 HB Vrij gemakkelijk te vijlen, dof grijs oppervlak na vijlen | Ca. 200 HB Minder gemakkelijk te vijlen, oppervlak na vijlen grijs tot licht glanzend |
| Lasproef met laag koolstof elektrode | Bepaling van de hardheid van de las met een vijl | Goed te vijlen | Minder goed te vijlen | Moelijk te vijlen |
| Vlamproef a) onderdeel b) spanen | <ul style="list-style-type: none"> ▶ smeltgedrag ▶ vorming van oxidehuid ▶ brandbaarheid | Dunvloeibare smelt, niet brand­baar bij smelten in lucht | Dunvloeibare smelt, niet brand­baar bij smelten in lucht | Dunvloeibare smelt, niet brand­baar bij smelten in lucht |
| Weegproef | Bepaling soortelijk gewicht | 7,85 g/cm ³ | 7,85 g/cm ³ | 7,85 g/cm ³ |

Uit tabel B.1 volgt dat om onderscheid te maken tussen constructiestaal, veredelingsstaal en machinestaal het verschil in hardheid en bewerkbaarheid uitsluitend moet geven. Met de slijpproef kan uit het vonkgedrag aanvullende informatie worden verkregen over de aard van het materiaal. Hoe hoger het koolstofgehalte van het materiaal, des te meer naalden en speerpunten.

Roestvaste staal­soorten

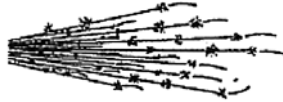

tabel B.2 Overzicht van proeven voor roestvaste staal­soorten

| soort proef | toelichting | austenitisch roestvast staal | duplex roestvast staal | ferritisch roestvast staal |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vonkenproef | Vonktekening |  | |  |
| | | middellange tot lange vonken­bundel, geel tot lichtgeel, ononder­broken lijnen, geen sterren | | magere, korte vonken­bundel, lichtrood tot lichtgeel, is zo nu en dan verdeeld in kleine naalden of speerpunten |
| Magneetproef | Magnetisch Licht of niet magnetisch | Niet magnetisch | Licht magnetisch | Magnetisch |
| Visuele inspectie van a) onderdeel b) breukvlak | <ul style="list-style-type: none"> ▶ oppervlaktegesteldheid, uiterlijk en structuur ▶ geometrie ▶ eventuele aanduidingen ▶ aanwezige vervorming en/of scheuren | Onderdeel of constructie niet geroest, dof glanzend oppervlak Breukvlak: grofkorrelig en glanzend Aanzienlijke vervorming bij breuk | Onderdeel of constructie niet geroest, dof glanzend oppervlak Breukvlak: fijnkorrelig en glanzend Grote vervorming bij breuk | Onderdeel of constructie niet geroest, glanzend oppervlak Breukvlak: fijnkorrelig en glanzend Minder grote vervorming bij breuk |
| Verspaningsproef | <ul style="list-style-type: none"> ▶ spaanvorming ▶ oppervlak na bewerken | Lange lintspaan en lastig te ver­spanen Oppervlak relatief ruw na verspanen | Lange lintspaan, gemakkelijker te bewerken dan austenitisch RVS en oppervlak gladder | Lange spanen, grotere spaankracht dan bij austenitisch RVS Relatief glad bewerkt oppervlak |
| Hardheid | <ul style="list-style-type: none"> ▶ reactie van het materiaal | Gegloeid: 130-180 HB Verstevigd: tot 250 HB | Max. hardheid ca. 260 HB | Gegloeid: 130-180 HB Licht martensitische soorten: 160-210 HB |
| Weegproef | Bepaling soortelijk gewicht | 7,9 g/cm ³ | 7,85 g/cm ³ | 7,7 g/cm ³ |

Het feit of een roestvast staal magnetisch, licht magnetisch of niet magnetisch is, is de belangrijkste indicatie voor het type RVS. De vervorming bij breuk en de hardheid van het materiaal zijn de andere indicaties voor de soort. De vonken­proef biedt slechts geringe mogelijkheden om onderscheid te maken tussen deze materialen.

Bijlage 1 (vervolg)**Gietijzersoorten**

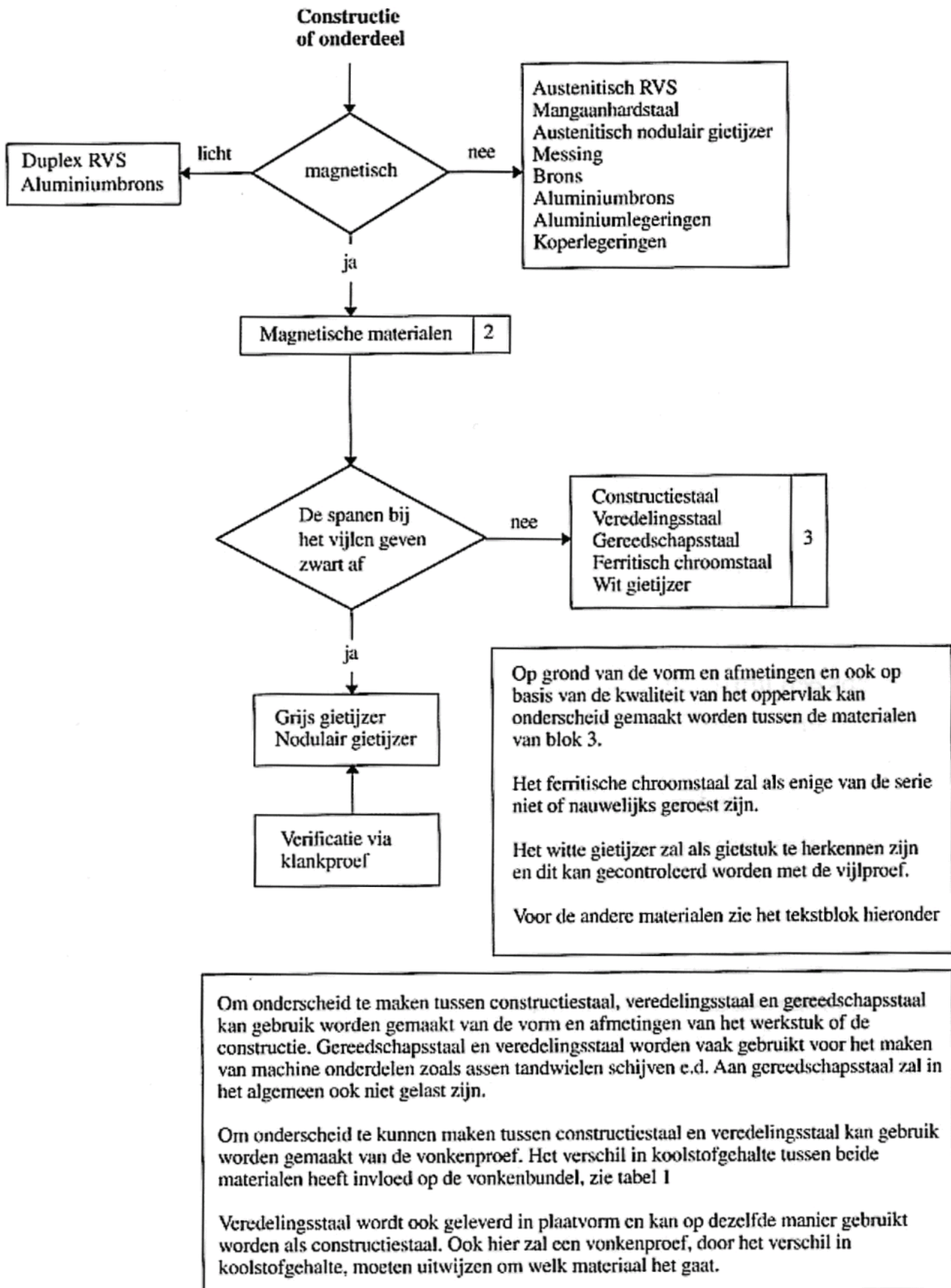
tabel B.3 Overzicht van proeven voor gietijzersoorten

| soort proef | toelichting | grijs gietijzer | nodulair gietijzer | wit gietijzer |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vonkenproef | Vonktekening | korte en middellange vonkenbundel, donkerrode lijnen, voor het spreiden een beetje helderder, elke lijn vormt een donkerrode ster |  lijkt op grijs gietijzer, maar iets lichter en meerdere sterren op een lijn, sterren minder dicht |  korte bundel donkerrode vonken, af en toe vorming van dezelfde sterren als bij grijs gietijzer |
| Magneetproef | Magnetisch Licht magnetisch Niet magnetisch | Magnetisch | Magnetisch Austenitisch nodulair gietijzer is niet magnetisch | Magnetisch |
| Visuele inspectie van a) onderdeel b) breukvlak | <ul style="list-style-type: none"> ▶ oppervlaktegesteldheid, uiterlijk en structuur ▶ geometrie ▶ eventuele aanduidingen ▶ aanwezige vervorming en/of scheuren | Werkstuk is minder geroest dan gietstaal Breukvlak is grofkorrelig, mat grijs en laat grafietsporen achter op de vinger | Uiterlijk als van lamellair gietijzer Het breukvlak is eveneens grofkorrelig en grijs, maar aanzienlijk grotere vervormingen zijn herkenbaar | Met giethuid geen verschil met lamellair gietijzer Breukvlak heeft een zilverwitte kleur |
| Verspaningsproef | <ul style="list-style-type: none"> ▶ spaanvorming ▶ oppervlak na bewerken | Korte gladde en brossen spaan met een lengte van ca. 3 mm | Middellange spaan | Zeer moeilijk verspaanbaar, kleine gladde brossen spanen |
| Hardheid eventueel te bepalen met behulp van een vijl | <ul style="list-style-type: none"> ▶ reactie van het materiaal ▶ kleur van het gevijlde materiaal | Met giethuid moeilijk te vijlen, zonder giethuid goed te vijlen Vingers worden zwart bij aanraken van het oppervlak | Als bij grijs gietijzer | Niet te vijlen |
| Weegproef | Bepaling soortelijk gewicht | 7,2 g/cm ³ | 7,2 g/cm ³ | 7,7 g/cm ³ |

De meest simpele methode om onderscheid te kunnen maken tussen lamellair en nodulair gietijzer is het geven van een tik met een hamer. Lamellair gietijzer geeft daarbij een dof geluid en nodulair gietijzer een helder geluid. De aard van het breukvlak is een andere belangrijke indicatie. Nodulair gietijzer kan aanzienlijk vervormen voordat er breuk optreedt, terwijl lamellair gietijzer nauwelijks plastische vervormingen toelaat. Wit gietijzer is voornamelijk aan het witte breukvlak en de hoge hardheid te herkennen.

Bijlage 2

Bepaling van het te onderzoeken materiaal



figuur B.1 Stroomschema bij het bepalen van de aard van het te onderzoeken materiaal



Vereniging FME-CWM
vereniging van ondernemers in de
technologisch-industriële sector

Boerhaavelaan 40

Postbus 190, 2700 AD Zoetermeer

T (079) 353 11 00

F (079) 353 13 65

E alg@fme.nl

I www.fme.nl