

---

## Het lassen van moeilijk lasbare staalsoorten

---

### INLEIDING

Het lassen van niet voor constructieve doeleinden bedoelde staalsoorten - ook wel moeilijk lasbare staalsoorten genoemd - wordt door de een als moeilijk ervaren terwijl het voor de ander een dagelijkse bezigheid is. Soms gaat het om verbindinglassen in nieuwbouw, maar vaak om reparaties of om oplassen.

In deze publicatie zal vooral ingegaan worden op de problematiek van het verbindinglassen die uitgevoerd moet worden in de reparatie sfeer. Hierbij moet gedacht worden aan het lassen van onder andere assen, tandwielen, gietstukken, bouwmachines, landbouwwerktuigen, mobiele kranen, hydraulische hamers en scharen, etc.

In elke lastoevoegmaterialencatalogus vindt men elektrodentypen met de aanduiding – “geschikt voor het lassen van moeilijk lasbare staalsoorten” – Dit zijn vaak dure typen. De vraag is, of dat altijd wel nodig of zelfs wel gewenst is. Voordat we ons hierin gaan verdiepen en allerlei oplossingen proberen te vinden voor probleemgevallen moeten we noodgedwongen, willen we het een en ander goed kunnen begrijpen, eerst aandacht schenken aan de metaalkundige achtergrond. Immers, onder moeilijk lasbare staalsoorten kan men van alles verstaan. We beperken ons echter tot die typen staal, die relatief gezien veel toegepast worden en eigenlijk niet tot de groep lasbare constructiestalen behoren. Tabel 2 geeft een overzicht van enkele kenmerkende staalsoorten voor een bepaalde toepassing.

### METALLURGIE

Het meest belangrijke legeringselement in staal is koolstof. Indien het koolstofgehalte, ongeacht de aanwezigheid van eventuele andere elementen stijgt, loopt de hardbaarheid op en daarmee de koud lasbaarheid terug. Hiermee wordt misschien gesuggereerd dat andere legeringselementen onbelangrijk zijn, dit is echter beslist niet waar. Ze zijn qua hardbaarheid aan koolstof ondergeschikt maar blijven belangrijk. De elementen die normaliter altijd in ontlegerd staal voorkomen zijn:

- koolstof, mangaan, silicium, aluminium
- fosfor, zwavel
- stikstof, zuurstof en waterstof.

Bij vele moeilijk lasbare staalsoorten zijn legeringselementen toegevoegd.

Hierbij moeten we voornamelijk denken aan chroom, nikkel, molybdeen en vanadium. Deze legeringselementen geven aan staal, afhankelijk van het percentage, specifieke eigenschappen zoals bijvoorbeeld:

- corrosievastheid
- vergroten van de doorhardbaarheid
- warm- en kruipvastheid
- taaiheid
- verhoogde rekgrens.



### Koolstofequivalent

Door toevoeging van legeringselementen aan koolstofstaal, wordt in het aldus verkregen laaggelegeerdstaal de lasbaarheid dikwijls negatief beïnvloed.

Voorwarmen, soms tot hoge temperatuur, wordt noodzakelijk om scheurvorming te voorkomen. Na het lassen volgt doorgaans een nauwkeurig gecontroleerde afkoeling. Gelukkig kan in een formule de invloed van de legeringselementen op de “lasbaarheid” worden aan-

geduid. In de literatuur zijn vele formules bekend, de IIW-formule voor het berekenen van dit zogenaamde koolstofequivalent (C-eq) is het meest gangbaar.

$$\text{C - equivalent} = \text{C} + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr} + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + \text{Cu}}{15}$$

Naarmate het koolstofequivalent van een te lassen (constructiestaal) hoger is, neemt de (koud)lasbaarheid af. De koudlasbaarheidsgrens wordt wel eens op een koolstofequivalent van 0,41-0,45 gesteld. Hierbij zal het absolute koolstofgehalte moeten worden beperkt tot maximaal 0,25%.

Voor de groep materialen die hier ter discussie staat zal het koolstofequivalent zich eerder tussen de 0,45 en 1 bewegen. Een niet eenvoudige opgave om dergelijke staalsoorten met succes aan elkaar te verbinden of om op te lassen. Natuurlijk speelt de kwaliteit, lees, samenstelling van het lastoevoegmateriaal een grote rol.

Doch **“Staal kan niet denken”**.

Met betrekking tot de vereiste voorwarmtemperatuur raadpleegt men veelal de richtlijnen gegeven in BS 5135 of tegenwoordig in EN 1011 deel 2.

Zoals bekend treden koudscheuren en/of waterstof scheuren op bij de aanwezigheid van hoge restspanningen samen met een harde c.q. brosse structuur, eventueel geholpen door de aanwezigheid van waterstof. Door één of meerdere van deze drie voorwaarden te minimaliseren bestaat de grootste kans op een scheurvrije lasverbinding.

### Structuurverandering

De te lassen constructie (staalsoort) ervaart warmte, zo veel zelfs dat in de overgang smeltverschijnselen optreden. Indien staal wordt verhit tot boven de 700 á 900°C (afhankelijk van het koolstofgehalte en de hoeveelheid legeringselementen) wordt het staal antiemagnetisch. De atomen in het kristalrooster nemen een andere plaats ten opzichte van elkaar in met een andere roosterafstand, men noemt deze structuur austeniet. Koelt men een dergelijke constructie (staalsoort) heel langzaam af (evenwichtsvoorwaarden), dan zal de austeniet zich omzetten naar een basis-structuur te weten ferriet en perliet.

In de praktijk wordt zelden tot nooit voldaan aan evenwichtsvoorwaarden. De afkoeling is bij het lassen altijd sneller. Snel afkoelen van een lasconstructie met een hoog koolstofequivalent zal altijd resulteren in de vorming van martensiet, een harde en brosse structuur die in dit geval voornamelijk in de overgang zal ontstaan.

Deze martensiet structuur heeft een groter volume dan austeniet. Afhankelijk van het koolstofgehalte in de martensiet, kan het rekpercentage teruglopen tot minder dan 1%. Deze lage vervormingsmogelijkheid zal reeds worden overschreden ten gevolge van de volumevergroting die optreedt als bij het afkoelen de austeniet omzet in martensiet. Deze volumevergroting is namelijk groter dan 1%.

In een lasverbinding treden altijd krimpverschijnselen op, met als gevolg dat er altijd extra spanningen opgeroepen worden. Afhankelijk van de complexiteit van de constructie zal er meer of minder krimp optreden. De wijze van lassen en de voorwarm- c.q. interpass temperatuur spelen hierbij een zeer belangrijke rol.

### Waterstof

Tenslotte, moet nog gewezen worden op de zeer negatieve invloed van het element waterstof. Waterstof in grotere hoeveelheden aangeboden aan het te lassen staal kan scheurvorming veroorzaken. Dit fenomeen treedt sterker op, naarmate de hardbaarheid van de constructie (staalsoort) toeneemt, de inwendige spanningen hoog zijn en de temperatuur laag. Het is om deze reden dat het lassen van staal met een hoog koolstofequivalent altijd moet geschieden met laselektroden met een extreem laag waterstofgehalte (EMR) verpakt

in de hermetisch gesloten (vacuüm) Sahara ReadyPack<sup>®</sup>. Hierdoor worden voor het verkrijgen van laag waterstofhoudend lasmetaal optimale condities geschapen.

Het voorkomen van overmatige harding in de overgang zal dus vermeden moeten worden. Voor de in dit referaat besproken groep materialen kan dit gerealiseerd worden door middel van voorwarmen, lassen met een hoge warmte-inbreng en het gericht langzaam afkoelen.

## REPARATIELASSEN

Waar, wanneer en wat voor reparatielassen uitgevoerd moeten worden is van te voren moeilijk voorspelbaar. Voor ongeveer 80% van alle reparaties van bijvoorbeeld breuken of lokale aantastingen gelden de volgende condities:

- **Materiaal**  
hoeklassen en stompe lasnaden in constructiestaal (vermoeiingsscheuren, roest);  
roestvaststaal (locale aantasting);  
gietijzer (breuken);  
aluminium gietwerk (breuken)
- **Lasuitvoering**  
lassen met beklede elektroden, kan overal en altijd worden toegepast;  
lassen in alle posities, is doorgaans gewenst;  
voorverwarming, is niet altijd uitvoerbaar maar is meestal wel noodzakelijk

In eerste instantie dient de oorzaak van het falen van de constructie te worden vastgesteld. Daarna moet beoordeeld worden of reparatielassen wel goed uitvoerbaar is. Het basismateriaal zal dan, eventueel met speciale maatregelen, "lasbaar" moeten zijn. Wanneer tot reparatielassen besloten wordt, dient een "uitvoeringsplan" gemaakt te worden.

Een checklist voor zo'n plan omvat veelal de volgende aspecten:

- **Defecten**  
indien mogelijk verwijder de oorzaken die geleid hebben tot de schade
- **Basismateriaal**  
Probeer vast te stellen om welk type basismateriaal(en) het gaat en bepaal vervolgens de noodzakelijke voorwarm- en interpass temperatuur.  
Verwijder het defect en eventuele vervuiling.
- **Lasnaadvoorbewerking**  
Kies de juiste lasnaadvorm, zodanig dat de gewenste inbranding en/of doorlassing uitgevoerd kan worden danwel dat er een las gemaakt kan worden die vrij is van ongewenste insluitingen en poreusheid
- **Lasproces**  
Kies het meest geschikte lasproces, veelal zijn beklede elektroden goed toepasbaar en hebben het voordeel van bijvoorbeeld een basische slak
- **Lastoevoegmaterialen**  
Kies de juiste lastoevoegmaterialen die afgestemd zijn op de soort reparatie en het te stellen eisenpakket, zie **tabel 1**.



**Tabel 1. Keuzetabel voor reparatielassen in verschillende materialen (vereenvoudigd model) voor beklede elektroden**

Basis materiaal		Beklede elektrode	Opmerking
Ongelegeerd constructiestaal	C-eq < 0,40	Pantafix	
hoogvast constructie-staal	Re <sub>L</sub> < 450 N/mm <sup>2</sup>	Baso G, Conarc	
laaggelegeerd / hoogvast	Re <sub>L</sub> < 600 N/mm <sup>2</sup> starre constructies	49C Conarc 70G Kardo	voorwarmen grondlagen beperkt voorwarmen
hoog koolstofhoudend staal	0,2 < C < 0,4%	Limarosta 312 Arosta 307-160	voorwarmen i.v.m. hardheid W.B.Z. 200-300°C
roestvaststaal	AISI 304, 316(L) alsmede Ti of Nb gestabiliseerd	Arosta 316L	Ti < 150°C
hittebestendig CrNi-staal	Si < 1,5%, Al en Ti < 0,2%	Intherma 310	Ti < 100°C
roestvaststaal aan on- of laaggelegeerd staal		Arosta 307-160 en Limarosta 312	Ti < 150°C
14% Mn slijtvaststaal		Arosta 307-160	koud lassen
pantser staal		Arosta 307-160	voorwarmen
NiCr-legeringen en 3,5 – 5 – 9% Ni-staal		NiCro 70/15Mn	Ti < 100°C
NiCu-legeringen		NiCu 70/30	Ti < 100°C
grijsgietijzer en nodulair gietijzer		RepTec Cast 1 RepTec Cast 31	Beperk warmte- inbreng + hameren
aluminiumbrons		RepTec Cu 8	
aluminium kneedlegeringen		RepTec AlSi 5	
aluminium gietlegeringen		RepTec AlSi 12	
Ti = tussenlaag temperatuur (interpass)			

### Reparatie methode(n) versus staalsoort

Het is natuurlijk ondoenlijk om alle staalsoorten met hun handelsnamen te benoemen. In **tabel 2** zijn de staalsoorten onderverdeeld naar toepassing, tevens is de meest bekende DIN-aanduiding genoemd. Verder is in de tabel opgenomen een kolom 'opmerking' en een kolom voor het te kiezen 'lastoevoegmateriaal'.

Het is begrijpelijk dat de gegeven adviezen slechts richtlijnen kunnen zijn. Het geven van een eenduidig advies is onmogelijk als niet alle details bekend zijn. Elke toepassing vereist zijn eigen aanpak.

De meeste staalsoorten uit **tabel 2** hebben een vrij hoog koolstofgehalte, c.q. koolstof-equivalent, hetgeen wil zeggen dat ze niet zondermeer lasbaar zijn. Bij een koolstofgehalte van 0,6% moet men het verbindingslassen eenvoudig vergeten.

Oplassen - op beperkte schaal - is nog wel mogelijk, maar alleen als de krimpspanning van het lasmetaal omgezet wordt in een drukspanning. Het radiaal (dwars op de lengte richting) oplassen van assen is hier een voorbeeld van. De oplassing krimpt als het ware op het onderliggende staal.

<b>Tabel 2. Overzicht van enkele kenmerkende staalsoorten met toepassing</b>			
<b>Toepassing</b>	<b>DIN-aanduiding</b>	<b>Opmerking</b>	<b>Lastoevoegmateriaal</b>
Staalconstructies Scheepsbouw Bruggen, etc.	St 37 – St 52 C 22 St 52.3 – FeE 355	laag koolstof, goed lasbaar	Afhankelijk van staal type, eisen pakket en toepassing, van Supra tot Kryo 2
Bruggen, Offshore, etc.	FeE 420 – FeE 450 FeE 500 – FeE 690	goed lasbaar mits !!!	van Kryo 1 tot Conarc 85
Assen Assen Rails	St 50 / C 35 * St 60 / C 45 * St 70 / C 60, etc. *	goedkoop en koudbros, maar matig tot niet lasbaar	Baso, Conarc, Kryo, Nichroma + Jungo 307, Limarosta 312
Assen, tandwielen Slijtvast, maalkogels Slijtplaten	30Mn4 – 36Mn5 * 60Mn3 – 85Mn3 * 42MnV7 – 51MnV7 * 65Mn4 * – X120Mn12	allemaal moeilijk lasbaar	Conarc 60G, 70G, etc. Jungo 307, Nichroma, Limarosta 312, Jungo 307
Assen, etc.	42Cr4 * 42CrMo4 * (VCMO 140)	als C45, doch betere kwaliteit idem	Conarc 49C, SL 19G, Nichroma, Limarosta 312, Jungo 307
Verenstaal, warm vervormd	38Si2 – 60Si7	38Si2 ploegenstaal, taai en veredeld	Jungo 307 Limarosta 312
Bladveren, koud gewalst	46Mn7 – 50Mn7 *		Limarosta 312, Jungo 307, Arosta 329 NIET LASBAAR
Verenstaal, koud gewalst	C67(Pb) – C 75(Pb)	(Pb) goed verspaanbaar	
Messen, verenstaal, hydraulisch zuigerstangen	X30Cr13 tot X46Cr13 *		Limarosta 312, NiCro70/19 NiCro 60/20
Vijl Grasmaaiers (autom.) Zeisblad (hand) Beitel Roterende eg-tanden Aandrijf assen/onderdelen Koppelingen, zwaar belast Slijtvaste machine onderdelen Kettingen	70Cr2 75Cr1 St 37 59CrV4 90Mn4 17CrNi66 13NiCr6 – 31NiCr14 20MnCr53 - 28MnCr43 27MnSi5 – 21Mn4Al	(hameren + wetten)  inzet staal veredelbaar mogen beslist geen warmte- behandeling meer ondergaan gelaste uitvoering	NIET LASBAAR NIET LASBAAR  NIET LASBAAR NIET LASBAAR  Welke uitvoering ook NOOIT aan lassen
Grijs gietijzer Smeedbaar gietijzer  Nodulair gietijzer Gietstaal	GG 10 – GG 35 GTS-35-10 GTW-S-38-12 GGG 40/50/60 GS 38/45/52		RepTec Cast 1 / 31 RepTec Cast 1 / 31 RepTec Cast 1 / 31 RepTec Cast 31 / 1 Baso, Conarc 49C
Opmerkingen: * voorwarmen noodzakelijk. Afhankelijk van de toepassing moet ook overwogen worden om te butteren			

Ons probleem bij het lassen van onder andere de in tabel 2 genoemde staalsoorten ligt geheel in de hoge hardheid van de overgangszone. Naast de las ontstaat een zeer harde, brosse zone. Indien de krimpspanning van de las een te hoge waarde bereikt, zal de las zich van het staal lostrekken, er zitten dan vaak al hardings-scheurtjes in de overgangszone. Is de lasdoorsnede gering, dan zal de las door de krimp, zich zelf mechanisch overbelasten en scheuren. Voor de eenvoudige CMn-stalen als C45 of bijvoorbeeld 42MnV7 (in de volksmond vaak ten onrechte mangaanstaal genoemd), zie **tabel 3**, is de kans hierop erg groot. Bij typen met legeringselementen wordt dit iets minder. Toevoeging van nikkel, molybdeen, chroom of mangaan maakt de doorharding groter, de hardingsstructuur wordt als het ware homogener en zal daardoor minder beïnvloed worden door toevallige lasomstandigheden.

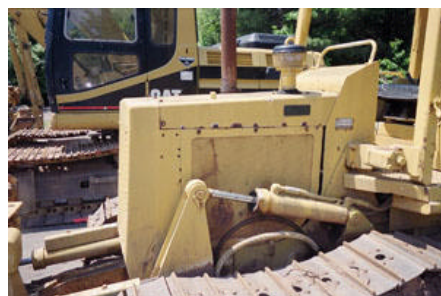
Verder geldt: hoe dikker het staal, hoe groter de afkoelsnelheid van het lasmetaal, en dus des te groter het probleem.

<b>Tabel 3. Chemische samenstelling</b>								
	<b>St 50-2</b> (1.0050)	<b>St 60-2</b> (1.0060)	<b>St 70-2</b> (1.0070)	<b>St 52</b> (1.0580)	<b>St 52.3</b> (1.0570)	<b>42MnV7</b> (1.5223)	<b>(G)-X120Mn12</b> (1.3401)	<b>(G)-X120Mn13</b> (1.3802)
<b>C</b>	= 0.40	= 0.50	= 0.65	= 0.22	= 0.22	0.38-0.45	1.1-1.3	1.1-1.3
<b>Mn</b>	0.20-0.50	0.20-0.50	0.20-0.50	= 1.6	= 1.6	1.6-1.9	12.0-13.0	11.5-13.5
<b>Si</b>	0.03-0.30	0.03-0.30	0.03-0.30	= 0.55	= 0.55	0.15-0.35	0.30-0.50	= 0.50
<b>P</b>	= 0.050	= 0.050	= 0.050	= 0.050	= 0.040	= 0.035	= 0.100	= 0.100
<b>S</b>	= 0.050	= 0.050	= 0.050	= 0.050	= 0.040	= 0.035	= 0.040	= 0.030
<b>Cr</b>							= 1.5	= 0.050
<b>V</b>						0.07-0.12		

### LASMETHODE (LASUITVOERING)

De meeste van de in tabel 2 genoemde staalsoorten kan men lassen, repareren volgens een drietal werkwijzen:

- Hoog voorwarmen
- Butteren
- Austenitische lastoevoegmaterialen



#### Hoog voorwarmen

Deze methode kan als volgt omschreven worden:

“Hoog voorwarmen en liefst spanningsarm gloeien”. Door voorwarmen wordt de afkoelsnelheid vertraagd, de vloeigrens verlaagd, de hardheid lager en dus het risico voor scheurvorming kleiner. Tot 6 mm dikte kan met licht voorwarmen volstaan worden, bijvoorbeeld 150°C, daarboven geldt hoe hoger, hoe beter. Een goed gegeven is 280-350°C, doch hoger hoeft geen bezwaar te zijn. Kan men spanningsarm gloeien, dan is 580°C voldoende – met als voordeel dat voor dynamische belastingen een beter resultaat bereikt wordt.

Voor het lassen moet een laag waterstofhoudende basische elektrode gebruikt worden van het type Conarc 49C respectievelijk Conarc 60G. Bedenk wel dat door opmenging met het moedermateriaal de vastheid van het opgemengde lasmetaal sterk kan oplopen ten gevolge van een hoger koolstofgehalte en de aanwezigheid van legeringselementen in het basismateriaal.

Stelt men ook eisen aan de sterkte bij hogere temperatuur, hetgeen bij het type AISI 4130, 4140 en 42CrMo4 het geval kan zijn, dan is toepassing van de SL19G gewenst – Daarmee benadert men in het lasmetaal de samenstelling van het basismateriaal. Spanningsarm gloeien is dan absoluut noodzakelijk.

Het lassen van gebroken assen uit dergelijke staalsoorten kent een extra probleem. Hier speelt de vermoeiingssterkte mede een rol. Een gebroken en daarna gelaste as zal nooit zijn oorspronkelijke sterkte meer kunnen bereiken. Goed voorwarmen, spanningsarm gloeien en nauwkeurig nabewerken – zeer glad – leveren de beste resultaten.

#### Butteren

Levert het voorwarmen problemen op, dan kan vooraf butteren – dus het opbrengen van een laag van 5 mm lasmetaal, liefst in twee lagen – een goed alternatief zijn. Dit kan op een geschikte plaats waar men wel kan voorwarmen en eventueel spanningsarm gloeien. Het aan elkaar lassen op locatie kan dan koud gebeuren. Conarc 49C, Kryo 1 maar vooral de Kardo zijn laselektroden die hiervoor uitermate geschikt zijn.

## Austenitische lastoevoegmaterialen

De derde maar iets “duurdere” methode, is het lassen met een austenitische elektrode, zoals de Nichroma, Arosta 307, Jungo 307 of Limarosta 312. Bij de laatste moet men rekening houden met een dikte beperking van de lasdoorsnede om ongewenste brosse fasen te voorkomen als gevolg van de eigen laswarmte. Maar ook hier blijft voorwarmen altijd gewenst, al kan het op een wat lagere temperatuur, zoals bijvoorbeeld 150°C. Aan welk van de genoemde typen men de voorkeur geeft, is afhankelijk van de omstandigheden danwel van de te lassen c.q. te repareren staalsoort.

## PRAKTIJKVOORBEELDEN

### Het lassen van 12% mangaan staal

Het lassen van (G)-X120Mn12, een staalsoort met ongeveer 1,2% koolstof en een mangaangehalte dat varieert tussen de 12 en 14% (tabel 3), vertoont een afwijkend gedrag ten opzichte van de eerder besproken reparatie wijze.

We hebben vastgesteld dat indien een staal een hoog koolstofgehalte heeft er altijd voorgewarmd dient te worden om scheurvorming te voorkomen, in iedergeval om dit verschijnsel te minimaliseren.

Een duidelijk ander gedrag toont een 12 tot 14% Mn-staal met hoog koolstof. De structuur van dit staal bestaat voornamelijk uit austeniet dat kan worden omgezet naar een martensiet door middel van deformatie. Wil men in een constructie van 12% Mn-staal een lasverbinding maken dan moet men koud lassen. De temperatuur tijdens het lassen moet zo laag mogelijk worden gehouden. In de praktijk betekent dit dat men bijvoorbeeld last in een waterbak, **afbeelding 1**.

Als lastoevoegmateriaal kan men de keuze maken uit een overeenkomstige chemische samenstelling zoals de Wearshield Mangjet of lassen met elektrode Arosta 307 of de basische versie Jungo 307, beide met een chemische samenstelling van 18%Cr + 8%Ni + 6%Mn. In de praktijk worden de beste resultaten bereikt indien men korte stukken last en onmiddellijk de las gaat hameren met de pen van een hamer.



Afbeelding 1. Lassen van mangaanstaal in een waterbak

## Repareren van een gegoten cilinder

Na verloop van jaren trad olie lekkage op bij een gietstalen (GS45.3) perscilinder van een extrusiepers. Door de persdruk van 250 bar waren vermoeiingsscheuren in de 145 mm dikke wand ontstaan.

### Schadeonderzoek

Tijdens een onderhoudsinspectie constateerde men dat er persolie door de cilinderwand naar buiten sijpelde. Een penetrantonderzoek aan de binnenzijde van de cilinderwand maakte een tweetal scheuren zichtbaar. Met behulp van een kobaltbron werden vervolgens gammastralings opnamen gemaakt. Uit deze opnamen bleek dat de scheuren in een zône met gietfouten lagen. De films gaven indicaties van gietgallen, slinkholten, krimpscheurtjes en vuilinsluitingen. De twee scheuren die men tijdens het penetrantonderzoek gevonden had bleken onderling verbonden te zijn. Een zône met gelijksoortige indicaties vond men precies tegenover het gebied van de lekkage, aan de andere kant van de cilinder. Op deze plek had nog geen scheurvorming plaats gevonden. Een grondige reparatie was dus noodzakelijk. De gietfouten moesten volledig en zorgvuldig uitgegutst worden en vervolgens weer met lasmetaal foutvrij opgevuld worden.

Uit een breukvlakonderzoek aan een uitgegutst gedeelte van de scheur kon men zien dat de gietfouten een vermoeiingsproces hadden geïnitieerd hetgeen na ongeveer twee miljoen belastingswisselingen resulteerde in lekkage.

Uit microscopisch onderzoek bleek dat het gietstaal een grove kristalstructuur had. Deze grove structuur duidt er op dat de enorme cilinder na het gieten niet was normaalgegløeid, een warmtebehandeling die eigenlijk gebruikelijk is voor grote dikwandige gietstukken.

### Lasprocedure

De cilinderwand was van GS45.3. Een spectraalanalyse gaf de volgende chemische samenstelling:

C	Si	Mn	P	S	Cu	Fe	C-eq.
0.3%	0.4%	0.8%	0.05%	0.011%	0.19%	rest	<b>0.43</b>

Bij een staal met een koolstofequivalent van 0,43 en een wanddikte van 145 mm is het optreden van harding bij het gutsen en lassen te verwachten. Om dit te ondervangen moet het werkstuk vóór het gutsen op een voorwarmtemperatuur van ca. 200°C gebracht worden en dient aangehouden te worden gedurende de gehele reparatie. Om thermische spanningen in de starre constructie zoveel mogelijk te beperken was het nodig de hele cilinder op deze temperatuur te brengen, en niet alleen de laszône. Dit werd gerealiseerd door de cilinder te verwarmen met gloeimatten, en door de binnen- en buitenzijde af te dekken met glaswoldekens.

Tijdens het gutsen werden de scheuren regelmatig afgeboord, om scheuruitbreiding te voorkomen. De lasnaad die na het gutsen overbleef kan ruwweg beschreven worden als een asymmetrische X-naad (1/3-2/3). Om een tweetal redenen was het beter eerst de binnenzijde (2/3 wanddikte) uit te gutsen en te vullen en pas daarna hetzelfde te doen met de buitenzijde, **afbeelding 2** omdat:

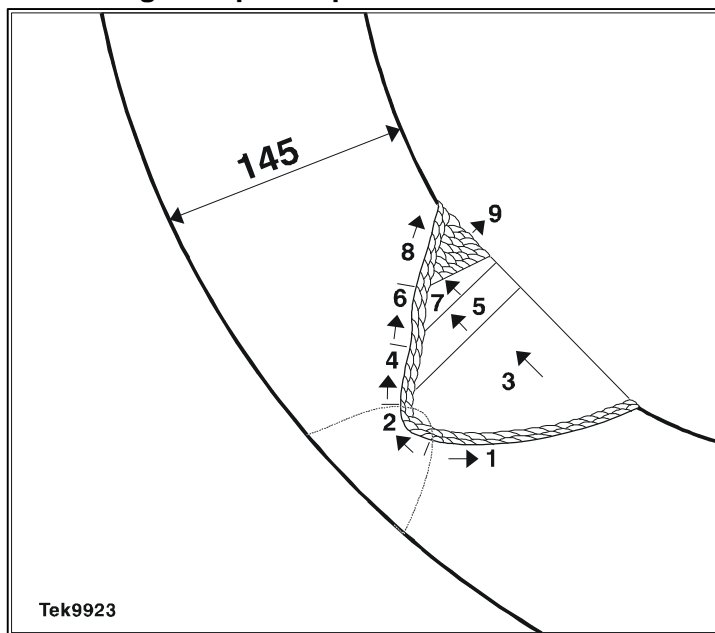
- bij volledig doorgutsen bestond het gevaar dat door inwendige spanningen de cilinder zou vervormen
- wanneer de laslagen om en om aan binnen- en buitenzijde worden gelegd ondergaat de grondlaag van de X-naad steeds opnieuw een warmtecyclus en een krimpvorming, waardoor de taaiheid verloren kan gaan.



Bij het vullen van de naad is er bij de eerste lagen sprake van een grote opmenging met het basismateriaal (0,3%C, 0,8%Mn). Gebruik van elektroden met gelijke samenstelling zou hier resulteren in lasmetaal met een hoge sterkte en een te lage rek. Het advies bij dergelijke reparaties zoals hier omschreven is dan ook om eerst te butteren met een zachte basische elektrode zoals de Kardo en vervolgens de naad te vullen met de basische elektrode Conarc 51 of Conarc 49C, een E7016-1 respectievelijk E7018-1 type.

De methode van vullen was gericht op het vermijden van krimpspanningen. De gutsholte werd door middel van butteren geleidelijk verkleind tot een V-vormige opening, waarbij de butterlagen voortdurend vrij konden krimpen. Pas op het laatst werd de las op traditionele wijze laag voor laag gevuld. De krimpspanningen die hierbij ontstaan worden voor het merendeel opgenomen door de zachte Kardo butterlagen.

### Afbeelding 3. Reparatieprocedure met Kardo en Conarc 51 (Conarc 49C)



*Het butteren met Kardo  $\varnothing$  3,2 mm en het butteren met Conarc 51 (49C)  $\varnothing$  3,2 mm gebeurt afwisselend, in volgorde van de cijfers 1 t/m 8. De overblijvende V-vormige opening wordt iets uitgeslepen en op traditionele wijze gevuld. Pas als de gehele binnenzijde klaar is, wordt de buitenzijde van de cilinderwand uitgegutst en op overeenkomstige wijze gelast. De stippellijn geeft de gutsdiepte aan.*



Zowel de Kardo als de Conarc 51 respectievelijk Conarc 49C zijn extra vochtarme elektroden (EMR), die leverbaar zijn in een hermetisch gesloten vacuüm verpakking, Sahara Ready Pack<sup>®</sup>, hetgeen een harde eis is bij dit soort reparaties. Het overdrogen van de elektroden komt hierdoor te vervallen en het gebruik van droogkokers bij deze toch al niet eenvoudige reparatie zou weer een extra handicap en risico hebben betekend.

Het uitvoeren van dergelijke ingewikkelde reparaties vraagt zeer veel van de lassers, immers eenmaal aan de reparatie begonnen wil zeggen dat men "rond de klok" moet werken om de klus in één keer af te maken. Door de hoge temperatuur is het niet mogelijk om langer in de cilinder te blijven dan ca. 10 minuten, zodat frequent aflossen van lassers noodzakelijk is.

Met behulp van magnetisch onderzoek werd het laswerk tijdens de reparatie regelmatig onderzocht op de aanwezigheid van lasfouten of scheuren. Als indicatiemedium gebruikte men hierbij metaalpoeder, omdat de temperatuur van het gietstuk te hoog was voor olie. Na het afronden van de laswerkzaamheden werd de cilinder onderworpen aan een uitgebreid gammastralings-onderzoek, waarbij de voorwarmtemperatuur teruggebracht werd tot 100°C om beschadiging van de films te voorkomen. "En passant" repareerde men op dezelfde wijze ook de oneffenheden aan het binnenoppervlak van de cilinder (voornamelijk gietgallen).

### *Spanningsarmgloeien*

Voor het spanningsarmgloeien van GS 45.3 geldt een temperatuurtraject van 550-580°C en een gloeitijd van 2 minuten/mm wanddikte. Bij een wanddikte van 145 mm moet dus 5 uur gegloeid worden.

De cilinder werd met 50°/uur van 150°C naar de gloeitemperatuur gebracht. Na het gloeien moest het gietstuk volgens de voorschriften afkoelen met 25°/uur. De gehele reparatie vond plaats in een productiehal, waar geen speciale voorzieningen voor klimaatbeheersing waren, zodat het werkstuk niet beschermd was tegen tocht. Om te voorkomen dat er een ongelijke afkoeling van het gietstuk zou ontstaan waardoor scheurvorming op zou kunnen treden heeft men de cilinder zoveel mogelijk afgedekt onder glaswoldekens. Het afkoelen na de spanningsarmgloeibehandeling is eveneens onder de dekens uitgevoerd. Hierdoor koelde de cilinder gemiddeld 11°/uur af.

### **CONCLUSIE**

Het uitvoeren van reparaties in moeilijk lasbare staalsoorten is vaak heel goed uitvoerbaar. Van belang hierbij is dat men goed vast gesteld heeft waar de oorzaak ligt van het defect in het machine onderdeel danwel de constructie. Op basis van deze gegevens dient men van te voren een gedegen plan van aanpak (reparatieplan) op te zetten. Alleen dan kan men de juiste voorzorgsmaatregelen nemen die leiden tot een succesvolle reparatie.

#### **Keywords:**

Steels difficult to weld, SMAW, repair welding, welding procedures, manganese steel, castings, applications, welding consumables

