
Het lassen van hoge rekgrens staalsoorten (S690QL)

Fred Neessen, Lincoln Smitweld B.V.

De eisen gesteld aan de mechanisch technologische eigenschappen van hoge rekgrens staalsoorten (toegepast o.a. in de offshore, de constructiebouw en in de ketel- en apparatenbouw) geven de laatste jaren een sterke verandering te zien, vooral de eisen, gesteld aan de kerftaaiheid en maximale hardheid, worden aangescherpt. Het zal duidelijk zijn dat de lastoevoegmaterialen toegepast in de conventionele staalsoorten zoals S355J2G3 niet zondermeer toegepast kunnen worden bij deze verhoogde rekgrens staalsoorten. Ook de ervaringen opgedaan met de conventionele staalsoorten zijn niet zondermeer over te dragen op de hoge rekgrens staalsoorten.

Constructiestaal S690QL heeft in de industrie vooral bekendheid gekregen onder de handelsnamen T1 - Naxtra 70 - HY 100 en Superelso 700. Dit staal wordt met succes ingezet bij de offshore, kranenbouw, onderzeeboten, militaire toepassingen en incidenteel in de bruggenbouw. Het is om deze redenen dat een specifieke toepassing in dit type fijnkorrelstaal nader wordt toegelicht.

Metaalkundige achtergronden

De hoge rekgrens staalsoorten van het type S690QL zijn laaggelegeerde - relatief laag koolstof-houdende lasbare constructiestalen, die meestal in een veredelde toestand (gehard + hoog ontlaten) geleverd en verwerkt worden. De uitstekende mechanische eigenschappen (**tabel 1**) van deze staalsoorten worden verkregen door een zorgvuldig gekozen chemische samenstelling (**tabel 2**) en een nauwkeurig gecontroleerde warmtebehandeling. Binnen één gekozen chemische samenstelling is het mogelijk om staalsoorten te vervaardigen met verschillende mechanische eigenschappen. Eén en ander wordt mogelijk gemaakt door een variatie in ontlaatt temperatuur te kiezen.

Invloed legeringselementen

In de metaalkunde is het algemeen bekend dat de elementen Ni en Cr voor een goede doorharding zorgen. Borium (B), in hoeveelheden van enkele duizenden procenten, is in dit opzicht zelfs zeer effectief. Om nu ook nog aan de eis van een voldoende taaiheid te kunnen voldoen (ook na het lassen) dient het koolstofgehalte relatief laag gehouden te worden (< 0,20%). Verder is er vanuit de cryogene hoek bekend dat enkele procenten nikkel een zeer gunstige invloed hebben op de taaiheidseigenschappen. Door de elementen titaan, vanadium en zirkoon aan deze legering toe te voegen wordt een fijne martensietstructuur na het afschrikken verkregen daar deze elementen tijdens het austeniteren korrelgroei belemmerend werken. Verder wordt in sommige gevallen het element molybdeen toegevoegd. Het moge duidelijk zijn dat niet alle genoemde elementen aan de smelt toegevoegd worden, doch dat de staalfabrikant, afhankelijk van het eisenpakket en de fabricagemethode, hieruit zijn keuze kan maken (**tabel 2**).

Tabel 1 Mechanische eigenschappen plaatmateriaal

| | Vloeigrens [N/mm ²] | Treksterkte [N/mm ²] | Breukrek L = 5d [%] | | | |
|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|--------|--------|--------|
| FG 36 T | > 355 | 490 - 630 | > 22 | | | |
| Naxtra 70 | > 690 | 790 - 940 | > 16 | | | |
| T1-staal | > 620 | 720 - 930 | > 15 | | | |
| Superelso 700 | > 690 | 790 - 940 | > 14 | | | |
| HY 80 | 550 - 690 | Informatief | ≥ 19 | | | |
| HY 100 | 690 - 820 | Informatief | ≥ 17 | | | |
| Kerfslagwaarden ISO-V [Joule] | | | | | | |
| | | - 18°C | - 20°C | - 40°C | - 46°C | - 51°C |
| FG 36 T | Langs | | 47 | 31 | | |
| | Dwars | | 27 | -- | | |
| Naxtra 70 | Langs | | 50 | 40 | | |
| | Dwars | | 35 | 31 | | |
| T1-staal | Langs | 41 | | | 27 | |
| | Dwars | 27 | | | 20 | |
| Superelso 700 | Langs | | ≥ 48 | | | |
| HY 80 | Langs | | | | | ≥ 47 |
| HY 100 | Langs | | | | | ≥ 47 |

Tabel 2. Chemische samenstelling plaatmateriaal

| | FG 36 T | Naxtra 70 | T1-staal | Superelso 700 | HY 80 | HY 100 |
|-------|-------------|-----------|-------------|---------------|-------------|-------------|
| C | ≤ 0,18 | ≤ 0,20 | 0,10 - 0,20 | ≤ 0,20 | 0,10 - 0,20 | 0,10 - 0,22 |
| Mn | 0,90 - 1,60 | 0,7 - 1,2 | 0,60 - 1,00 | ≤ 1,50 | 0,10 - 0,45 | 0,10 - 0,45 |
| Si | 0,10 - 0,50 | 0,4 - 0,8 | 0,15 - 0,35 | > 0,50 | 0,12 - 0,38 | 0,12 - 0,38 |
| P | ≤ 0,030 | ≤ 0,025 | ≤ 0,025 | ≤ 0,030 | ≤ 0,020 | ≤ 0,020 |
| S | ≤ 0,030 | ≤ 0,025 | ≤ 0,025 | ≤ 0,025 | ≤ 0,020 | ≤ 0,020 |
| Cr | | 0,5 - 1,0 | 0,40 - 0,65 | ≤ 0,80 | 1,35 - 1,80 | 1,35 - 1,80 |
| Ni | | | 0,70 - 1,00 | ≤ 1,00 | 2,50 - 3,25 | 2,75 - 3,50 |
| Mo | | 0,2 - 0,6 | 0,40 - 0,60 | ≤ 0,30 | 0,30 - 0,60 | 0,30 - 0,60 |
| Cu | | | 0,15 - 0,50 | | ≤ 0,25 | ≤ 0,25 |
| Al | ≤ 0,015 | | ≤ 0,25 | ≤ 0,25 | | |
| Nb | ≤ 0,05 | | | | | |
| V | ≤ 0,10 | | 0,03 - 0,08 | ≤ 0,060 | ≤ 0,03 | ≤ 0,03 |
| Zr | | ≤ 0,12 | | | | |
| B | | | ≤ 0,0005 | ≤ 0,005 | | |
| C-eq. | ≤ 0,49 | ≤ 0,75 | ≤ 0,75 | | | |

Lasbaarheid

De belangrijkste factoren die de lasbaarheid van de hoge rekgrens staalsoorten bepalen zijn:

- de structuurveranderingen en daarmee gepaard gaande veranderingen van de mechanische eigenschappen in de warmte-beïnvloede zone.
- de mogelijke vorming van scheuren zoals:
 - waterstof geïnitieerde koudscheuren in lasmetaal en warmte-beïnvloede zone.
 - lamellar tearing in de warmte-beïnvloede zone

Invloed van de afkoeltijd

De afkoeltijd, Δt 8/5 tijdens het lassen is, bij een gegeven materiaaldikte, een functie van de warmte-inbreng. Een te snelle afkoeling kan door de aanwezigheid van de legeringselementen gemakkelijk aanleiding geven tot hardingsstructuren (martensiet, bainiet) in de overgang. Hierdoor is het noodzakelijk uiterst precies te zijn in de keuze van het type lastoevoegmateriaal en de warmtehuishouding tijdens het lassen. Bij een foutieve keuze van lastoevoegmateriaal en/of warmtehuishouding (lees: voorwarmtemperatuur, interpasstemperatuur en post weld heat treatment) kunnen problemen optreden zoals ontoelaatbare hardheid, korrelgroei, te lage kerftaaiheid en zelfs scheurvorming. Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 088 SEW 088) geeft voor het lassen van S690QL richtlijnen. Een afkoeltijd Δt 8/5 van ± 20 seconde dient te worden nagestreefd.

Lasprocedure

Door omvangrijke onderzoeken en ervaringen, opgedaan in de praktijk, kan men vaststellen dat de mechanische technologische eigenschappen van de lasverbinding sterk afhankelijk zijn van de keuze van het lastoevoegmateriaal en Δt 8/5 tijdens het lassen. De afkoelsnelheid wordt vooral door de volgende factoren beïnvloedt:

- materiaaldikte
- naadvorm
- voorwarm- en interpass temperatuur
- warmte-inbreng
- naadvulling

De hierboven genoemde factoren kunnen niet op zichzelf worden beschouwd. Ze beïnvloeden elkaar onderling. Bijvoorbeeld: de materiaaldikte bepaalt voor een groot deel reeds de naadvorm maar ook de voorwarmtemperatuur. De voorwarmtemperatuur is weer een functie van de materiaal samenstelling, materiaaldikte, de warmte-inbreng, etc.

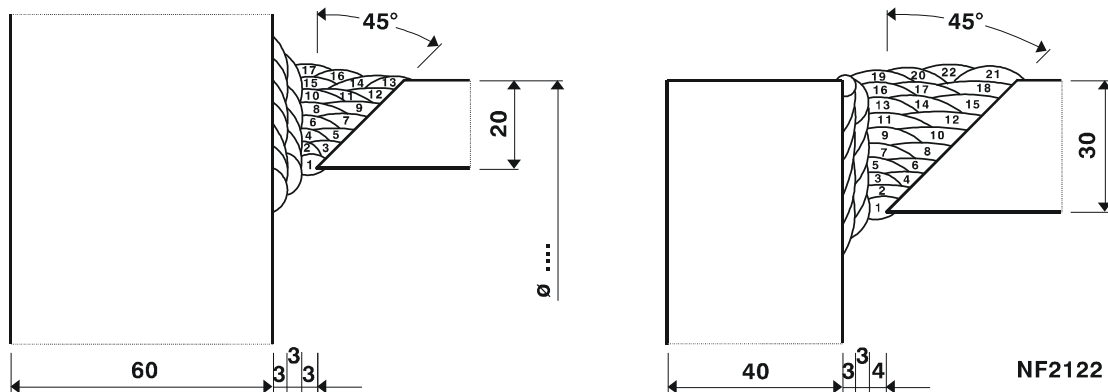
Materiaaldikte

Het moge duidelijk zijn dat de afkoelsnelheid een functie van de materiaaldikte + warmte-inbreng is. De materiaaldikte bepaalt of we te maken hebben met een twee- of drie dimensionale afkoeling. De gecombineerde plaatdikte ligt hier uiteraard aan ten grondslag. Indien een constructie in de dikterichting (Z-richting) belast wordt, is het van groot belang om bufferlagen aan te brengen alvorens de lasverbinding tot stand komt (**figuur 1**). Een en ander is noodzakelijk om het risico van lamellar tearing te verminderen.

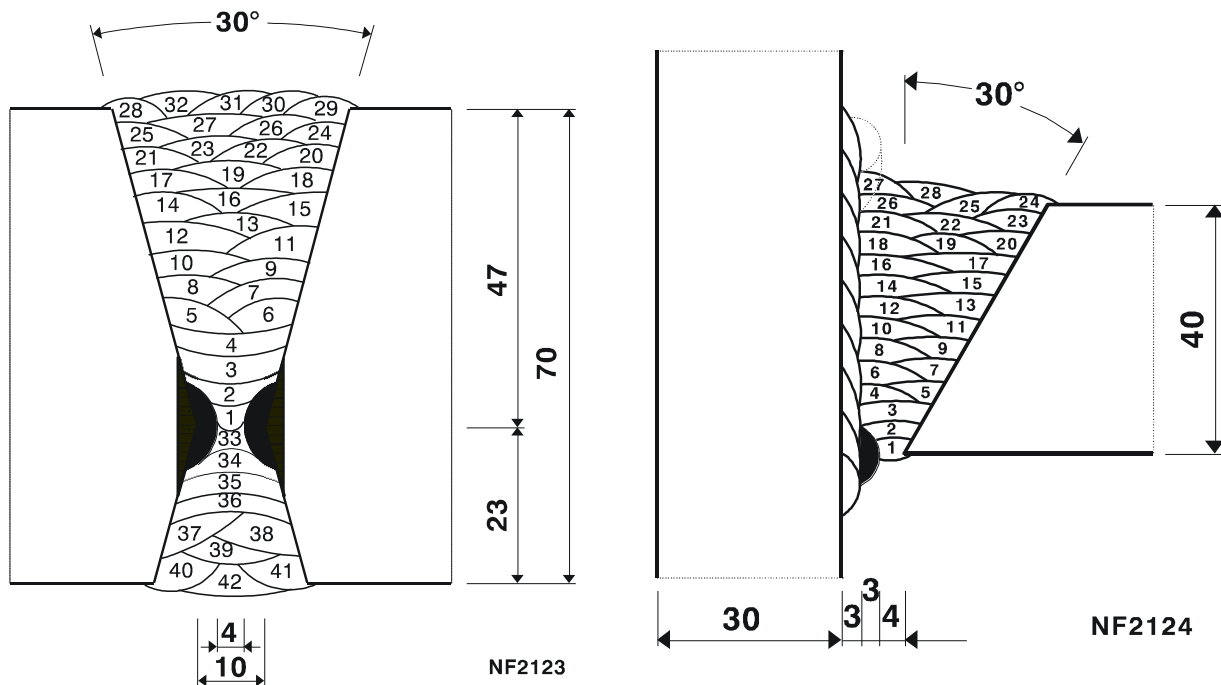
Naadvorm

Uit economische overwegingen dient men de meest gunstige naadvorm te kiezen. Afhankelijk van de gestelde eisen, de bereikbaarheid, de materiaaldikte, lasproceskeuze etc. dienen hier vaak concessies gedaan te worden. Het werken met afwijkende naadvormen die op het eerste gezicht uit den boze zijn in verband met economie kunnen achteraf soms de goedkoopste en meest doeltreffende oplossingen zijn (**figuur 2 – 3 - 4**).

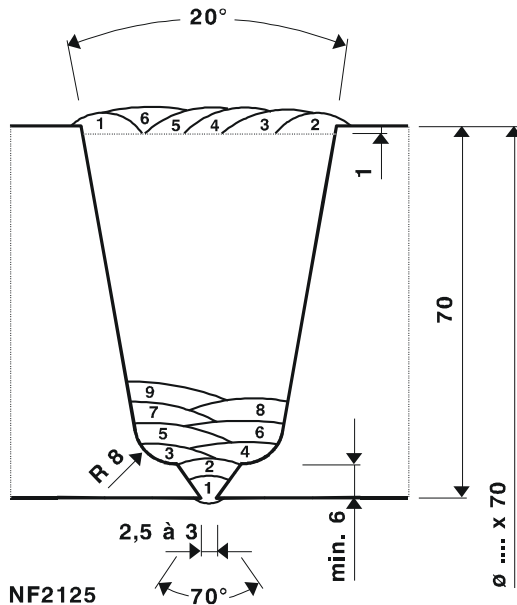
De kwaliteit van een lasverbinding hangt in belangrijke mate af van de voorbereiding van de lasnaad. In het algemeen geeft het autogeen snijden geen problemen, echter men dient na het snijden de snijkanten te reinigen door middel van slijpen. Moet men grotere plaatdiktes snijden dan is het aan te raden, afhankelijk van het type staal om voor te warmen.



Figuur 1 Praktijkvoorbeelden van het aanbrengen van bufferlagen ter voorkoming van lamellar tearing



Figuur 2 en 3 Naadvormen met aangebrachte neus waardoor de openingshoeken kleiner worden. **Figuur 3** geeft een naadvorm die lamellar tearing kan voorkomen



Voorwarm- en interpass temperatuur

Ter voorkoming van een snelle afkoeltijd en te hoge krimpspanningen moet er te allen tijde voorgewarmd worden.

Figuur 4
Naadvorm voor éézijdig bereikbare constructies

Het is noodzakelijk dat de bedrijfsleiding omstandigheden creëert, welke het voorwarmen en het in stand houden van een juiste interpass temperatuur ook mogelijk maken. Een te hoge interpass temperatuur kan aanleiding geven tot korrelgroei in de overgangszone en ongewenste brosse structuren in het lasmetaal. Om deze redenen is het dan ook gewenst om de voorwarm-apparatuur uit te rusten met thermokoppels, regelapparatuur en registratiemodules, waardoor zowel de voorwarm- als interpass temperatuur automatisch geregeld wordt op de vooraf ingestelde waarden. Het is aan te bevelen om de "Quenched and Tempered" staalsoorten aansluitend aan het lassen waterstof-arm te gloeien gedurende ± 72 uur op 160 - 180°C, om de nog opgeloste waterstof uit de lasverbinding en overgangszone te laten verdwijnen, en daarmee de kans op vorming van waterstof geïnitieerde koudscheuren tot een minimum te beperken. Ogenschijnlijk is 72 uur gloeien op ca. 180°C een kostbare aangelegenheid, doch deze investering verdient zich terug. Waterstof geïnitieerde scheurvorming, een veelvuldig optredend fenomeen bij deze typen staalsoorten, wordt uitgebannen. Bij toepassing van de juiste voorwarm- en interpass temperatuur kan deze apparatuur zeer eenvoudig ook geschikt gemaakt worden voor de "soaking"-behandeling op 180°C.

Warmte-inbreng

Al eerder schreven we dat de afkoelsnelheid $\approx 8/5$ van grote betekenis is. Met andere woorden: de warmte-inbreng mag variëren binnen een klein afgebakend gebied. De warmte-inbreng kan gemakkelijker berekend worden met de formule:

$$\text{Warmte-inbreng} = \frac{\text{Stroomsterkte} \times \text{Boogspanning} \times 60}{\text{Voortloopsnelheid} [\text{cm/min}]} \quad [\text{J/cm}]$$

De praktijk leert ons dat de variatie in stroomsterkte en boogspanning bij een bepaalde gegeven toepassing slechts weinig varieert. Dit is niet het geval met de voortloopsnelheid. De voortloopsnelheid hebben we zelf in de hand, sterker nog; de voortloopsnelheid staat in de noemer en heeft dus een veel sterkere invloed op de warmte-inbreng. In haar algemeenheid kunnen we stellen dat de warmte-inbreng voor het lassen van de hoogvaste fijnkorrelige staalsoorten zich beweegt van ± 15 tot ± 22 kJ/cm. Dit zijn slechts richtwaarden en ook als zodanig bedoeld. Indien er geen voorschriften van de staalfabrikant aanwezig zijn of indien men nog geen enkele ervaring heeft met dergelijke staalsoorten dan is het raadzaam om vooraf proeflassen te maken. Afhankelijk van de te verwerken staalsoort en de gestelde

eisen aan de lasverbinding moet men een lastoevoegmateriaal kiezen (**tabel 3**). Deze keuze kan men het beste maken in overleg met de leverancier van lastoevoegmaterialen. In haar algemeenheid worden hoge kerftaaiheden behaald met het lassen indien men last met een lage warmte-inbreng. De hardheid in de overgang zal in dit geval oplopen.

Teneinde te voldoen aan de hardheidseis, moet men lassen met een verhoogde warmte-inbreng, wat een negatieve invloed kan uitoefenen op de kerftaaiheid bij lagere temperatuur. Het is zinvol, indien u met een dergelijke vraagstelling wordt geconfronteerd, te zoeken naar het juiste compromis.

Tabel 3, Richtanalyse zuiver lasmetaal [gew. %]

| AWS classificatie | C | Mn | Si | Ni | Cr | Mo |
|--|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Conarc 49C E 7018-1 H4R | 0,05 | 1,5 | 0,3 | - | - | - |
| Conarc 60G E 9018-M H4 | 0,06 | 1 | 0,4 | 1,6 | - | 0,3 |
| Conarc 70G E 9018-G H4 | 0,06 | 1,4 | 0,4 | 1 | - | 0,4 |
| Conarc 80 E 10018-M H4 | 0,06 | 1,5 | 0,3 | 2,2 | 0,2 | 0,4 |
| Conarc 85 en 85-150 E 12018-G H4 | 0,06 | 1,7 | 0,3 | 1,9 | 0,4 | 0,4 |
| LNS 168 / P 230 S3 NiMoCr 2,5 ¹⁾ LNS T690 | 0,08 <u>0,1</u> | 1,6 <u>1,7</u> | 0,4 <u>0,6</u> | 1,3 <u>2,4</u> | 0,3 <u>0,3</u> | 0,5 <u>0,4</u> |
| Outershield 81Ni1-H E 81T1-Ni1 MJ H4 | 0,05 | 1,35 | 0,2 | 0,95 | - | - |
| Outershield 81K2-H E 81T1-K2 MJ H4 | 0,05 | 1,5 | 0,2 | 1,4 | - | - |
| Outershield 690-H E 111T1-K3 MJ H4 | 0,06 | 1,5 | 0,2 | 2,0 | - | 0,5 |
| E 110C-G E 120C-G | 0,06 0,05 | 1,9 2 | 0,4 0,4 | 1,8 1,9 | 0,15 0,15 | 0,4 0,8 |
| LNM Moniva ER 100S-G | 0,09 | 1,6 | 0,5 | 1,5 | 0,3 | 0,3 |
| LNM 70 ER 110S-1 | 0,08 | 1,6 | 0,4 | 2,25 | 0,3 | 0,4 |
| LNM 90 ER 120S-1 | 0,09 | 1,6 | 0,4 | 2,4 | 0,4 | 0,5 |

¹⁾ Oude DIN aanduiding

Naadvulling

Voor en tijdens het vullen van de naad moet men de volgende zaken goed in de gaten houden om tot een bevredigend resultaat te komen.

- In verband met het mogelijke optreden van hardingsstructuren dienen hecht- en montagelassen voorkomen te worden. Arc-strike (hechten buiten de naad) is ten strengste verboden.
- Om geen onnodige spanningsconcentraties te introduceren dient het stellen van constructieonderdelen zéér zorgvuldig te gebeuren.
Het aanbouwen met mechanische hulpstukken verdient de voorkeur.
- Afhankelijk van het gekozen lasproces dient men de toe te passen lastoevoegmaterialen (elektroden, laspoeder) voor gebruik over te drogen gedurende 2 uur op 350°C. Indien

het H_{DM}-gehalte < 3ml/100 gram lasmetaal in leveringstoestand is, dan kan het overdrogen komen te vervallen.

- Voor de grondlaag kiest men een lastoevoegmateriaal van een lagere sterkte-klasse. Immers in de grondlaag treedt de hoogste menging met het basismateriaal op en tevens de hoogste krimp.
- Verontreinigingen zoals roest, zand, olie, etc. moet niet alleen van de laskanten maar ook in de onmiddellijke omgeving van de lasnaad grondig verwijderd worden. Het zijn immers de bronnen voor waterstof.
- Voor aanvang van de werkzaamheden dient men een lasprocedure + lasplan op te zetten waarin alle relevante gegevens vermeld staan. Het is van het allergrootste belang om deze exact op te volgen.
- Een goede naadvulling wil zeggen; relatief veel dunne lasrupsen en zo veel mogelijk ver-kanten (**figuur 5** Welding Procedure Approval Record).
- Vooral bij het leggen van de sluitlaag moet men de "temper-bead" techniek volgen (**figuur 2, 3 en 5**). Hierbij worden de laatste lassnoeren op een zodanige wijze aan-gebracht dat deze de harde structuren in de overgangszone ten gevolge van de voor-gaande snoeren geheel of gedeeltelijk uitgloeien.

Een lasverbinding uitgevoerd zoals hierboven omschreven, zal in zijn algemeenheid goede mechanische technologische eigenschappen geven van het lasmetaal en de overgangszone.

Slotopmerking

In dit artikel is getracht een globaal overzicht te geven aangaande de problematiek tijdens het lassen van de zogenaamde 'Quenched and Tempered' – staalsoorten. Uiteraard is het niet mogelijk om een pasklaar lasrecept te geven.

Indien men een grote zorgvuldigheid betracht, tijdens, maar ook voor en na het lassen dan behoeven zich géén onoverkomelijke problemen van lastechnische aard voor te doen.

Literatuur

1. Het lassen van hoge rekgrens staalsoorten (StE 690), Fred Neessen en Karel Bekkers, Lastechniek Jaargang 54, Juli/Augustus 1988, pag. 156-160
2. Das UP-Schweißen von Feinkorn- und hochfesten Feinkornbaustahl, K. Bekkers. Voordracht te Rudersdorf d.d. 23 sept. 1983.
3. Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 088
4. Smitweld Reportage no.3 oktober 1982
5. Brochure:
Shoralsim 450 – Fabrique de Fèr,
Naxtra 70 – Thyssen,
Superelso 700 – Creusot Loire,
T 1 – United Steels

Figuur 5

| LINCOLN ELECTRIC Lincoln Smitweld | | Welding Procedure Approval Record | | | | WPAR : P 230.09 Rev. : 0 Ref. WQP : 95.098 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|--|------------------------|---------|----------------|--|------------------|------------------------|------------------------|-------------------|----------------|--------------|-------------|------------|---------------|---------|-------------|---------|---------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|---------------|-------|-----|-----|---------|-----|---------------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|-----|-----|---------|-----|------|-------|-----|-----|-----|----|-----|-----|-------|----|-----|-----|----|-----|------|--|--|---|------|------|----|------|------|----|------|------|---|-------|-------|---|-------|-------|----|-------|-------|---|-------|---|----|------|------|----|------|------|----|------|------|----|------|------|----|------|------|
| Procedure Specification | | | | | | Test Results | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Base material S1E 690 Welding processes A: SMAW B: SAW Manual or machine Manual and machine Welding position PA (1G) * Filler metal (trade) 1: Conarc 70G 2: LNS 168 mod. Flux P 230 Filler metal classific. 1: EN 757: E 55 4 1Ni Mo B 3 2 H5 2: EN 756*: S 70 4 AB S0 ** Shielding gas [l/min] N.A. Flow Backing (gas) [l/min] N.A. Flow Gouge method Arc air + grinding Current / polarity DC + Preheat temp. [°C] min. 160 Interpass temp. [°C] max. 200 Postheat treatment Soaking 72h/180°C Welder's name - Laboratory Test No. Remarks : * Conarc 70G in 3G up (PF) and DC - | | | | | | Radiographic-ultrasonic Examination: Acceptable Dye - Penetrant, Visual Inspection: Acceptable Reduced-section tension test <table border="1"> <tr> <td colspan="2">Tensile strength [MPa]</td> <td colspan="2">Fracture location</td> </tr> <tr> <td>1.</td> <td>19.4 x 34.8</td> <td>830</td> <td>Base material</td> </tr> <tr> <td>2.</td> <td>19.2 x 35.2</td> <td>840</td> <td>Base material</td> </tr> </table> | | Tensile strength [MPa] | | Fracture location | | 1. | 19.4 x 34.8 | 830 | Base material | 2. | 19.2 x 35.2 | 840 | Base material | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tensile strength [MPa] | | Fracture location | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1. | 19.4 x 34.8 | 830 | Base material | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. | 19.2 x 35.2 | 840 | Base material | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| All-weld-metal tension test | | | | | | ø 10.0 Yield point [MPa] : 785 Tensile strength [MPa] : 899 Elongation, A5 [%] : 20 Reduction, Z [%] : | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bend tests | | | | | | Former diameter: 4 x t Side 2x 180° Acceptable Side 2x 180° Acceptable | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Impact tests | | | | | | ISO-V [Joule] Test temp. [°C]: -40 Size of specimen: 10 x 10 x 55 mm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | <table border="1"> <tr> <td></td> <td colspan="2">Mid weld</td> <td>av.</td> <td>Root</td> <td>av.</td> </tr> <tr> <td>Chw</td> <td>105</td> <td>89</td> <td>81</td> <td>92</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fl</td> <td>95</td> <td>120</td> <td>109</td> <td>108</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fl + 2</td> <td>171</td> <td>161</td> <td>166</td> <td>166</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fl + 5</td> <td>168</td> <td>191</td> <td>168</td> <td>176</td> <td></td> </tr> </table> | | | Mid weld | | av. | Root | av. | Chw | 105 | 89 | 81 | 92 | | Fl | 95 | 120 | 109 | 108 | | Fl + 2 | 171 | 161 | 166 | 166 | | Fl + 5 | 168 | 191 | 168 | 176 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Mid weld | | av. | Root | av. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Chw | 105 | 89 | 81 | 92 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fl | 95 | 120 | 109 | 108 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fl + 2 | 171 | 161 | 166 | 166 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fl + 5 | 168 | 191 | 168 | 176 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Welding Procedure | | | | | | Micro examination: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Pass No.</th> <th>Consumable index</th> <th>Consumable Ø [mm]</th> <th>Welding Current Ampere</th> <th>Volts</th> <th>Speed [mm/min]</th> <th>H.I. [kJ/mm]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>A1</td><td>3.2</td><td>120-130</td><td>23 - 25</td><td>50 - 70</td><td>~ 3.0</td></tr> <tr><td>2+3</td><td>B2</td><td>4.0</td><td>500</td><td>28</td><td>500</td><td>1.68</td></tr> <tr><td>4 - 7</td><td>B2</td><td>4.0</td><td>600</td><td>30</td><td>600</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>8 + 9</td><td>B2</td><td>4.0</td><td>500</td><td>26</td><td>450</td><td>1.73</td></tr> <tr><td>10</td><td>B2</td><td>4.0</td><td>500</td><td>26</td><td>700</td><td>1.11</td></tr> <tr><td>11+12</td><td>B2</td><td>4.0</td><td>550</td><td>28</td><td>600</td><td>1.54</td></tr> <tr><td>13-25</td><td>B2</td><td>4.0</td><td>600</td><td>30</td><td>600</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>26-29</td><td>B2</td><td>4.0</td><td>500</td><td>26</td><td>450</td><td>1.73</td></tr> </tbody> </table> | | | | | | Pass No. | Consumable index | Consumable Ø [mm] | Welding Current Ampere | Volts | Speed [mm/min] | H.I. [kJ/mm] | 1 | A1 | 3.2 | 120-130 | 23 - 25 | 50 - 70 | ~ 3.0 | 2+3 | B2 | 4.0 | 500 | 28 | 500 | 1.68 | 4 - 7 | B2 | 4.0 | 600 | 30 | 600 | 1.8 | 8 + 9 | B2 | 4.0 | 500 | 26 | 450 | 1.73 | 10 | B2 | 4.0 | 500 | 26 | 700 | 1.11 | 11+12 | B2 | 4.0 | 550 | 28 | 600 | 1.54 | 13-25 | B2 | 4.0 | 600 | 30 | 600 | 1.8 | 26-29 | B2 | 4.0 | 500 | 26 | 450 | 1.73 | E 690T LNS 168 mod. Chemical composition: <table border="1"> <tr><td>C</td><td>0.18</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>Si</td><td>0.44</td><td>0.62</td></tr> <tr><td>Mn</td><td>0.99</td><td>1.74</td></tr> <tr><td>P</td><td>0.007</td><td>0.009</td></tr> <tr><td>S</td><td>0.002</td><td>0.006</td></tr> <tr><td>Al</td><td>0.042</td><td>0.006</td></tr> <tr><td>B</td><td>0.003</td><td>-</td></tr> <tr><td>Cr</td><td>0.89</td><td>0.27</td></tr> <tr><td>Cu</td><td>0.11</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>Mo</td><td>0.42</td><td>0.40</td></tr> <tr><td>Ni</td><td>0.06</td><td>2.43</td></tr> <tr><td>Ti</td><td>0.02</td><td>0.09</td></tr> </table> | | C | 0.18 | 0.10 | Si | 0.44 | 0.62 | Mn | 0.99 | 1.74 | P | 0.007 | 0.009 | S | 0.002 | 0.006 | Al | 0.042 | 0.006 | B | 0.003 | - | Cr | 0.89 | 0.27 | Cu | 0.11 | 0.08 | Mo | 0.42 | 0.40 | Ni | 0.06 | 2.43 | Ti | 0.02 | 0.09 |
| Pass No. | Consumable index | Consumable Ø [mm] | Welding Current Ampere | Volts | Speed [mm/min] | H.I. [kJ/mm] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | A1 | 3.2 | 120-130 | 23 - 25 | 50 - 70 | ~ 3.0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2+3 | B2 | 4.0 | 500 | 28 | 500 | 1.68 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 - 7 | B2 | 4.0 | 600 | 30 | 600 | 1.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 + 9 | B2 | 4.0 | 500 | 26 | 450 | 1.73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | B2 | 4.0 | 500 | 26 | 700 | 1.11 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11+12 | B2 | 4.0 | 550 | 28 | 600 | 1.54 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 13-25 | B2 | 4.0 | 600 | 30 | 600 | 1.8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 26-29 | B2 | 4.0 | 500 | 26 | 450 | 1.73 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| C | 0.18 | 0.10 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Si | 0.44 | 0.62 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mn | 0.99 | 1.74 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P | 0.007 | 0.009 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| S | 0.002 | 0.006 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al | 0.042 | 0.006 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 0.003 | - | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cr | 0.89 | 0.27 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cu | 0.11 | 0.08 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mo | 0.42 | 0.40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ni | 0.06 | 2.43 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ti | 0.02 | 0.09 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Micro examination of weld and HAZ at 100x investigation shows no unacceptable structures or fissures. (Micro test specimen taken from cap area). | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Joint Detail | | | | | | Hardness see sketch Test type: Vickers Load: 5 kg | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | <table border="1"> <tr> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>8</td> <td>9</td> <td>.....</td> </tr> <tr> <td>1 = Base</td> <td>257</td> <td>269</td> <td>262</td> <td>257</td> <td>271</td> <td>249</td> <td>257</td> <td>262</td> <td>257</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2 = HAZ</td> <td>307</td> <td>306</td> <td>293</td> <td>296</td> <td>341</td> <td>341</td> <td>336</td> <td>317</td> <td>299</td> <td>310</td> </tr> <tr> <td>3 = Weld</td> <td>265</td> <td>265</td> <td>271</td> <td>271</td> <td>262</td> <td>265</td> <td>283</td> <td>286</td> <td>286</td> <td></td> </tr> <tr> <td>4 = HAZ</td> <td>353</td> <td>296</td> <td>296</td> <td>293</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table> | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | 1 = Base | 257 | 269 | 262 | 257 | 271 | 249 | 257 | 262 | 257 | | 2 = HAZ | 307 | 306 | 293 | 296 | 341 | 341 | 336 | 317 | 299 | 310 | 3 = Weld | 265 | 265 | 271 | 271 | 262 | 265 | 283 | 286 | 286 | | 4 = HAZ | 353 | 296 | 296 | 293 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 = Base | 257 | 269 | 262 | 257 | 271 | 249 | 257 | 262 | 257 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 = HAZ | 307 | 306 | 293 | 296 | 341 | 341 | 336 | 317 | 299 | 310 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 = Weld | 265 | 265 | 271 | 271 | 262 | 265 | 283 | 286 | 286 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 = HAZ | 353 | 296 | 296 | 293 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Sketch | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| We hereby, certify that the statements in this record are correct. | | | | | | Project Matanzas Manufacturer or Contractor - Authorized by Det Norske Veritas Issued by Fred Neessen Date 29 December 1998 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |