

DE NIEUWE GENERATIE 12% CR-STALEN: VM12

LASBAARHEID EN HOOGTEMPERATUREIGENSCHAPPEN

Vandaag worden martensitische 9% Cr-stalen gebruikt in thermische centrales met geavanceerde stoomparameters. Het Europees onderzoeksprogramma COST 522 had tot doel nieuwe materialen te ontwikkelen die een hogere stoomtemperatuur (tot 650 °C) toelieten, wat de efficiëntie van de centrale verhoogt en bijgevolg bevorderlijk is voor het milieu. Om aan deze vraag te voldoen heeft Vallourec-Mannesmann een nieuw martensitisch 12% Cr-staal ontwikkeld, genaamd VM12, geproduceerd in tube en pipe, met een beoogde kruipsterkte vergelijkbaar met E911, T/P92 en een betere oxidatieweerstand dan X20CrMoV12-1.

Door Ing. Johan Vekeman

Doelstelling

Doel van dit project was de lasbaarheid van dit nieuwe 12% Cr-materiaal na te gaan en het gedrag van gelaste verbindingen bij hoge temperatuur te onderzoeken. De resultaten van dit project werden tevens gepresenteerd in het nieuwe Europese onderzoeksprogramma COST 536: "Alloy development for critical components of environmental friendly power plant" (ACCEPT). Binnen het project werden zowel dunwandige tubes, met een wanddikte van 8,8 mm en een uitwendige diameter van 60,3 mm, als een dikwandige pipe, met een wanddikte van 35 mm en een

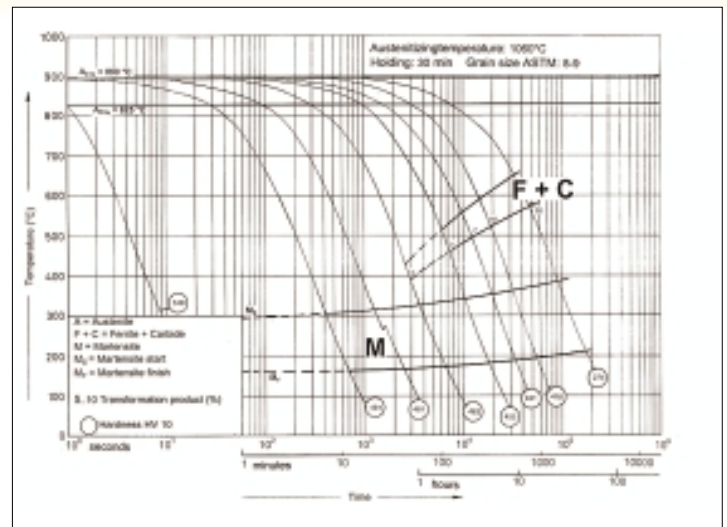
Tabel 1: Chemische samenstelling van VM12 (Heat 53.058) volgens certificaat Vallourec & Mannesmann

C	0,12
Si	0,49
Mn	0,35
P	0,018
S	0,001
Cr	11,5
Mo	0,29
Ni	0,29
Al	0,008
Nb	0,05
V	0,26
N	0,067
Co	1,62
B	0,005
W	1,5

uitwendige diameter van 406,4 mm onderzocht. Zowel de tubes als de pipe waren van dezelfde heat 53.058 en hebben een genormaliseerd en getemperde martensitische structuur, met een kleine hoeveelheid delta-ferriet in de pipe. De chemische samenstelling vindt men terug in tabel 1.

Lasbaarheidsstudie - Lassimulaties

Lassimulaties werden uitgevoerd als voorstudie op het eigenlijke laswerk. Hierbij werd de invloed van de lasparameters en een warmtebehandeling na het lassen (PWHT) nagegaan op de hardheid, taaigheid en microstructuur van de warmtebeïnvloede zone (HAZ), door het reproduceren van de thermische cycli die optreden tijdens het lassen in (kerfslag-)proefstaven (zonder kerf) uit het basismateriaal. De tubes en pipes vertonen een gelijkaardig gedrag na lassimulatie en spanningsvrijgloeien bij 770 °C wat betreft hardheid en taaigheid. In de grofkorrelige warmtebeïnvloede zone, vindt men de hoogste hardheid en laagste taaigheid. De hardheid blijft steeds beneden de vereiste 350 HV10 (voor toepassingen in de thermische centrales) en varieert weinig met wisselende afkoelingsnelheden. Om voldoende kerfslagtaaiheid te halen in de grofkorrelige warmtebeïnvloede zone, minimaal 27 J volgens de Pressure Equipment Directive (PED), moet gelast worden met een aangepaste warmte-inbreng (corresponderend met



Figuur 1: CCT-diagram VM12 (Heat 53.058) - Ref. Vallourec & Mannesmann

snellere afkoeltijden dan 60 seconden) om de korrelgroei te beperken. Anderzijds werd er meer delta-ferriet gevormd wanneer een lage warmte-inbreng (snellere afkoeltijden) gesimuleerd werd. Het delta-ferriet werd makkelijker gevormd in de pipe proefstaven. Verder werd ook het lassen in meerdere lagen gesimuleerd, door na een eerste lascyclus met $T_p1=1.350\text{ °C}$ een tweede lascyclus toe te passen. Het toepassen van een tweede cyclus met $T_p2=1.000\text{ °C}$ resulteert in korrelverfijning, minder delta-ferriet en een betere taaigheid in de grofkorrelige warmtebeïnvloede zone, maar $T_p2=850\text{ °C}$ heeft een negatieve invloed (geen korrelverfijning). Kerfslagwaarden dalen en plaatselijk werd er meer delta-ferriet aangetroffen in de interkritische heropgewarmde grofkorrelige warmtebeïnvloede zone.

Reheat cracking-gevoeligheid

Reheat cracking is een mogelijke oorzaak voor het falen van lasverbindingen in kruipvaste, precipitatie hardende ferritische staalsoorten. Het is een intergranulair scheurfenomeen dat meestal optreedt in de grofkorrelige warmtebeïnvloede zone tijdens een warmtebehandeling na het lassen of in bedrijf op hoge temperatuur. Binnen het Belgisch Instituut voor Lastechniek werd een beproevingsmethode ontwikkeld waarbij isotherme trekproeven op

lasgesimuleerde trekproefstaven worden uitgevoerd. Cilindrische proefstaafjes worden onderworpen aan een lasthermische cyclus ($T_p1=1.350\text{ °C}$, $t_{8/5}=30\text{ s}$), zodat een grofkorrelige warmtebeïnvloede zone wordt gesimuleerd. Na simulatie wordt de proefstaaf verjongd en wordt een trekproef uitgevoerd bij temperaturen gaande van 650 tot 800 °C. Na breuk van de proefstaaf wordt de insnoering opgemeten. Een insnoering beneden 20% betekent dat het materiaal gevoelig is voor reheat cracking. De lasgesimuleerde proefstaven uit de VM12 tube en pipe hadden een hoge ductiliteit over het hele temperatuurbereik (insnoeringen boven 20%). VM12 is dus niet gevoelig voor reheat cracking.

Lassen

VM12 is een luchthardend, martensitisch staal gebruikt in de genormaliseerde en getemperde conditie. Bij afkoeling van het austenietgebied naar kamertemperatuur ondergaat de structuur van VM12 een complete transformatie naar martensiet met een maximale hardheid van 510 HV10, zoals men kan zien in het CCT-diagram in figuur 1. Dit betekent dat het matching toevoegmetaal en de warmtebeïnvloede zone een harde, brosse structuur heeft wanneer geen speciale voorzorgsmaatregelen genomen worden. In het geval van stockage mag er tussen het lassen en de warmtebehandeling na het

lassen maximaal één week zitten. Gedurende deze periode moeten de gelaste componenten, net zoals bij T/P91 en T/P92, droog gehouden worden om spanningscorrosiescheuren te voorkomen. Voorverwarmen en een warmtebehandeling na het lassen zijn nodig om voldoende ductiliteit te verkrijgen en koude scheuren te vermijden.

VM12 werd gelast met de volgende lasprocessen: TIG-lassen (Gas Tungsten Arc Welding of GTAW), manueel elektrodelassen (Shielded Metal Arc Welding of SMAW) en onderpoederdeklussen (Submerged Arc Welding of SAW) aan zowel homogene als heterogene materialen (T/P91). De tubes en pipes werden martensitisch gelast met matching toevoegmetaal genaamd Thermanit MTS 5CoT van Böhler-Thyssen Welding uit Duitsland. Bij het martensitisch lassen wordt een voorwarm- en interpasstemperatuur onder de martensiet-starttemperatuur M_s (rond 300 °C) gekozen. Dit heeft tot gevolg dat reeds tijdens de afkoeling van een lasrups een deel van het lasmetaal omgezet wordt in martensiet. Tijdens het lassen van de volgende lagen zal een deel van de reeds gevormde martensiet ontlaten worden. De tubes werden voorverwarmd bij 200 °C, de pipes bij 200-250 °C. Na het lassen werden de componenten afgekoeld tot kamertemperatuur en onderworpen aan een warmtebehandeling na het lassen bij 770 °C gedurende twee uur voor de tubes en vier uur voor de pipes.

De rondnaadlassen van de VM12-componenten werden getest volgens EN ISO 15614-1. De homogene lasverbindingen VM12-VM12 en heterogene lasverbindingen VM12-T/P91 voldeden alle aan de eisen voor treksterkte (breuk in het basismateriaal), buiging (geen scheuren groter dan 3 mm na 180° buigen) en hardheid (lager dan 350 HV10). In de op de werf

gelaste componenten werd geen delta-ferriet aangetroffen in de warmtebeïnvloede zone, resulterend in hoge kerfslagwaarden.

Een lage taaiheid werd gevonden in het lasmetaal, met waarden die niet aan de minimale vereisten van de PED voldoen in de TIG en onderpoederdek gelaste homogene lasverbindingen. Microfoto's toonden de aanwezigheid van eilanden delta-ferriet in het lasmetaal van de TIG-gelaste tubes (zie figuur 2) en de onderpoederdek gelaste pipe. Meer delta-ferriet werd gevonden naar de deklagen toe. In de elektrodegelaste pipe werd geen delta-ferriet gevonden. Tevens werd een hoog Ni-gehalte gevonden in het neergesmolten lasmetaal van de elektrodegelaste pipe, een laag Ni-gehalte in de TIG en onderpoederdek gelaste componenten. De chemische samenstelling van het lasmetaal na het lassen met o.a. een laag Ni-gehalte en de aanwezigheid van delta-ferriet hebben een negatieve invloed op de kerfslagtaaiheid. Bij het lassen van de tubes werd de delta-ferriet vooral gevormd in de laatste deklaag. De heterogene lasverbindingen aan T/P91 vertoonden goede kerfslagwaarden in het lasmetaal (ten gevolge van omgenging met het 9% Cr-staal).

Kruipbeproeving

Eénassige kruipproeven op het basismateriaal en de gelaste pijpverbindingen (SMAW en SAW) werden uitgevoerd door Laborelec. De proefstaven van de gelaste pijpverbindingen werden dwars over de las uitgehaald. Alle proefstaven, met een diameter van 5 mm, werden opgewarmd tot de gewenste beproevingstemperatuur tussen 650 en 720 °C en belast met een constante belasting die overeenstemt met een initiële spanning van 78 MPa (isospaans-kruipproeven). De tijd tot breuk werd geregistreerd en de breuklocatie werd bepaald na

metallografisch onderzoek. De proeven bij 650 °C werden vergeleken met kruipdata van Vallourec & Mannesmann en de specificaties voor E911 volgens de ECCC data in het isotherme diagram in figuur 3.

De kruipsterkte van VM12 bij 650 °C - 78 MPa ligt dicht bij de gemiddelde kruipsterkte voor E911, maar er is een daling in kruipsterkte van het VM12-basismateriaal bij lagere spanningen en langere duurproeven. De kruipsterkte van VM12 ligt bij deze condities beneden de gemiddelde kruipsterkte voor E911 en P92 (ECCC Data 2005). Extrapolatie van de isobare kruipresultaten van Laborelec naar lagere temperaturen bevestigden de isotherme kruipresultaten van Vallourec & Mannesmann. De kruipsterkte van VM12 ligt bij 625 °C - 78 MPa binnen de spreidingsband van 20%, maar beneden de gemiddelde kruipsterkte voor E911. Momenteel loopt er wereldwijd onderzoek naar de stabiliteit van de microstructuur van 9 tot 12% Cr-stalen. Een groot aantal testlegeringen die 11 tot 12% Cr bevatten en ontwikkeld zijn voor toepassingen bij 650 °C vertonen een daling in kruipsterkte tussen 5.000 en 10.000 uren bij 650 °C. Versteving door middel van MX precipitaten bepaalt de kruipsterkte van deze ferritisch/martensitische staalsoorten. Recent onderzoek heeft aangetoond dat deze precipitaten kunnen worden opgelost door de Z-fase die precipiteert tijdens kruipbeproeving. Dit is vooral een probleem bij stalen die meer dan 10% Cr en niobium bevatten. Precipitatie van de Z-fase kan een verklaring zijn voor de daling in kruipsterkte van VM12. Dit wordt onderzocht binnen het COST 536-programma.

Een spreiding van 20% op de data van VM12 en E911 werd vooropgesteld voor het beoordelen van de kruipsterkte van de lasverbindingen. Hierbij zien we in figuur 3 dat: de breuksterkte van

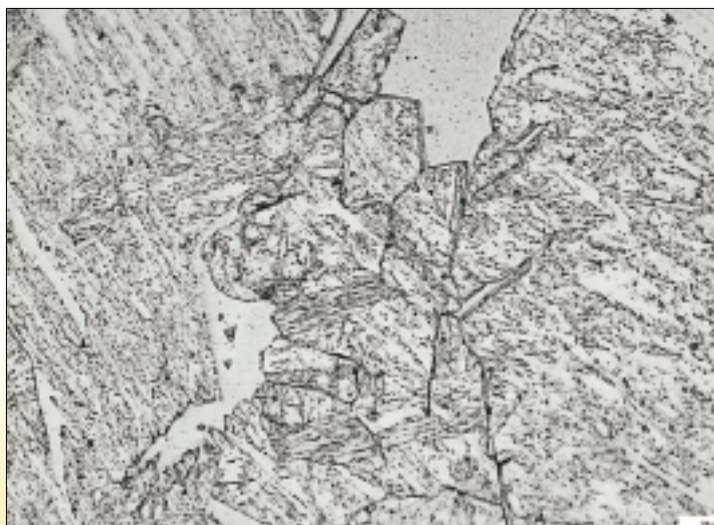
beide lassen bij 650 °C - 78 MPa binnen de spreidingsband van E911 valt. Proefstaven braken in de smalle, zachte, fijnkorrelige warmtebeïnvloede zone dicht bij het basismateriaal (Interkritische warmtebeïnvloede zone of IC-HAZ), zoals ook het geval is in andere ferritische en martensitische materialen.

CONCLUSIES

- De chemische samenstelling van het neergesmolten lasmetaal en de lasparameters zijn bepalend voor de hoeveelheid delta-ferriet in het lasmetaal na het lassen. Delta-ferriet in het lasmetaal resulteert in lage kerfslagwaarden.
- Algemeen kan men stellen dat het lassen in minder lagen met een hogere warmte-inbreng en voorwarmtemperatuur resulteren in lagere hoeveelheden delta-ferriet. Anderzijds moet de warmte-inbreng beperkt worden om de korrelgroei te beperken en lage kerfslagwaarden in de grofkorrelige warmtebeïnvloede zone te voorkomen bij te lange afkoeltijden.
- Het lassen in meerdere lagen is nodig om korrelverfijning en een betere kerfslagtaaiheid te bekomen en de hoeveelheid delta-ferriet te beperken.
- Het is aangeraden om voor te warmen tussen 200 °C-250 °C, bij voorkeur 250 °C voor de pipes, en te lassen met een warmte-inbreng tussen 10 kJ/cm en 18 kJ/cm. Er is een daling in kruipsterkte van het VM12-basismateriaal bij lagere spanningen en langere duurproeven. De kruipsterkte van VM12 ligt binnen de spreidingsband voor E911 (ECCC Data 2005). □

Aan dit onderzoek namen volgende bedrijven deel: LABORELEC, VALLOUREC & MANNESMANN, BÖHLER-THYSSEN, STORK-MEC, FABRICOM, CMI: COCKERILL MECHANICAL INDUSTRIES, CIP: CARNOY INDUSTRIAL PIPING, AIB-VINCOTTE, WTCM, TRACTEBEL, VCL

Figuur 2: Eilanden van delta-ferriet in het lasmetaal van de TIG-gelaste tube



Figuur 3: Isotherme (650 °C) kruipdiagram van VM12 basismateriaal en lasverbindingen

