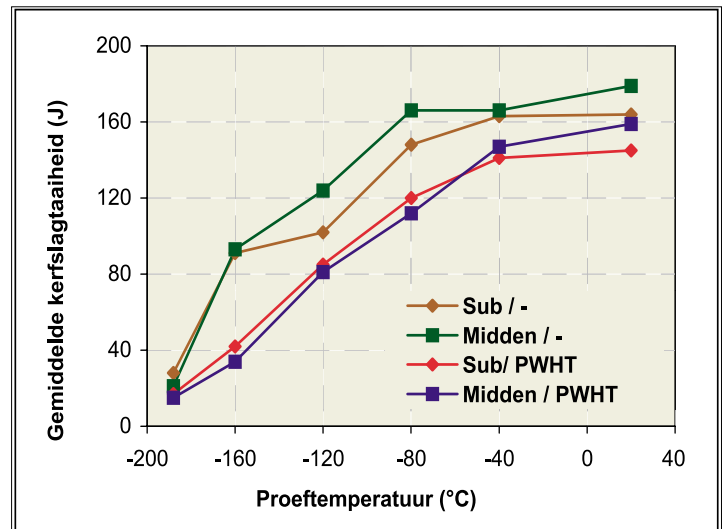


NIEUW 13Cr SUPERMARTENSITISCH ROESTVAST STAAL

LASBAARHEID, BREUKTAAIHEID, CORROSIEWEERSTAND, GROTE DIKTE

Dit project op supermartensitische roestvaste stalen is een verderzetting van de onderzoeken verwezenlijkt in de vorige biënnales betreffende de ontwikkeling van recente, lasbare 13Cr stalen. Deze economisch aantrekkelijke staalsoorten bieden naast hun redelijke corrosiebestendigheid ook een hoge sterkte en een afdoende taaigheid. Precies daarom kunnen dergelijke stalen ingezet worden voor de productie van pijpleidingen (flowlines) voor transport van olie of gas met een beperkt corrosief karakter.

Door Ir. E. Delev,
Onderzoekscentrum BIL



Figuur 1: Kerfslagtaaiheid bij verschillende temperaturen van het 40 mm dik basismetaal in geleverde en in uitgegloeide toestand (Alle Doc.: Marc Martens)

LASBAARHEID EN BREUKTAAIHEID

In de huidige biënnale wordt de nadruk gelegd op de lasbaarheid en de breuktaaiheid van het zgn. medium supermartensitisch roestvast staal (met 1,5%Mo) in grote dikte voor het gebruik in drukvaten, warmtewisselaars, zgn. slug catchers enz. Belangrijk is te vermelden dat bestaande codes voor de meeste van die toepassingen na het lassen een gloeibehandeling voorschrijven. Voorts wordt hetzelfde staal in geringere dikte verder in detail onderzocht om in het geval van die flowlines de grenzen voor de lascondities te definiëren die, bij voorkeur in als-gelaste toestand, resulteren in een goede taaigheid en een degelijke weerstand tegen spanningscorrosie. Om dit doel te bereiken is heel waarschijnlijk nog een lichte aanpassing van de samenstelling van het basismetaal nodig, vooral omdat aantasting in de warmtebeïnvloede zone reeds meermalen vastgesteld werd.

EERSTE DEEL VAN HET ONDERZOEK

Voor de realisatie van het eerste

deel van het onderzoek werd een 40 mm dikke plaat ter beschikking gesteld waarvan de mechanische eigenschappen weergegeven zijn in de tabel (gegevens van de staalleverancier). De gegarandeerde vloeigrens en treksterkte bij kamertemperatuur bedragen respectievelijk 550 MPa (zelfs tot 150 °C) en 750 MPa. De minimum gespecificeerde rek is 15% terwijl de hardheid van het basismetaal en de overgangszone kan beperkt worden tot 350HV10. De gegarandeerde kerfslagtaaiheid van het basismetaal bij -50 °C bedraagt gemiddeld 100 J. Klaarblijkelijk voldoet het testmateriaal aan de eerder opgesomde eisen. Het roestvast staal met een koolstof-, stikstof- en zwavelgehalte respectievelijk van slechts 50 ppm, 58 ppm en 9 ppm bezit inderdaad zeer goede sterkte-eigenschappen, een hoge taaigheid en is daarenboven beperkt in hardheid.

BIJKOMENDE TESTEN

Aangezien de lasverbindingen in dit project vooral beproefd worden in thermisch behandelde toestand, werden bijkomende testen en metingen uitgevoerd op het

basismetaal na een gloeibehandeling bij 620 °C gedurende twee uur en vergeleken met corresponderende waarden bepaald op het staal in geleverde toestand. Vastgesteld werd dat, tengevolge van de thermische behandeling, de vloeigrens daalt van 780 MPa (veel hogere waarde dan vermeld op het materiaalcertificaat) tot 580 MPa terwijl de treksterkte lichtjes stijgt, waardoor de verhouding vloeigrens tot treksterkte daalt van 0,92 tot 0,66. Tevens vermindert de ductiliteit van 22% tot 16%. De invloed van de thermische behandeling (of PWHT) op de kerfslagtaaiheid van het basismetaal bepaald bij verschillende temperaturen is af te leiden uit figuur 1 en is geldig voor posities onder het oppervlak (sub) en in het plaatmidden. Het is duidelijk dat een dergelijke gloeibehandeling steeds een kleine daling van de kerfslagtaaiheid van het basismetaal tot gevolg heeft. Uiteraard is de overgangstemperatuur nog steeds zeer laag (lager dan -120 °C) en weerspiegelt dus een zeer gunstig taaigheidsgedrag voor beide condities.

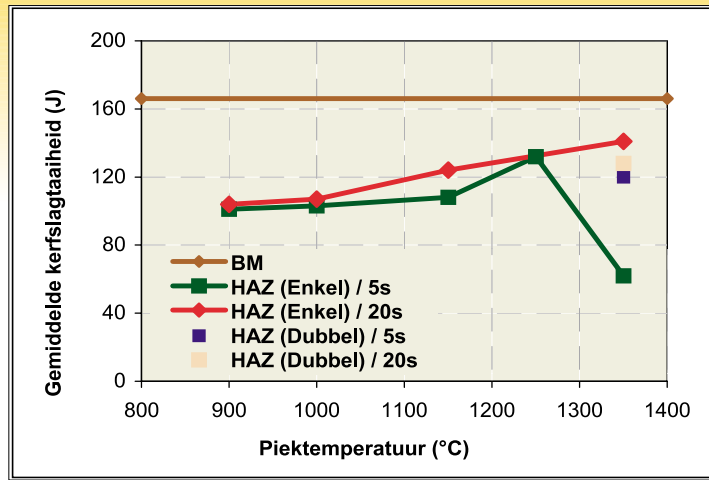
LASSIMULATIEPROEVEN

Vervolgens werd de lasbaarheid van het basismetaal nagegaan aan de hand van lassimulatieproeven waarbij verschillende enkelvoudige of dubbele piektemperaturen en afkoelsnelheden gerealiseerd werden om op een systematische manier de eigenschappen van de gehele warmte-beïnvloede zone in een reële lasverbinding te kunnen bepalen. De gemiddelde kerfslagtaaiheid van niet-gegloeide maar lasgesimuleerde microstructuren is weergegeven in figuur 2 en toont aan dat iedere las-thermische cyclus op het basismetaal (met een kerfslagtaaiheid van 166 J) een negatieve invloed heeft op de taaigheid, alhoewel deze minimaal nog 62 J bedraagt. Deze minimale taaigheid treedt op bij structuren die bij het lassen met lage warmte-inbreng een enkelvoudige cyclus hebben doorstaan dichtbij de fusieliijn. Microstructuren die een tweevoudige thermische cyclus ondergaan, worden in taaigheid opnieuw opgewaardeerd tot minimum 120 J. De gemiddelde hardheid van dezelfde microstructuren aanwezig in de overgangszone wordt getoond in figuur 3. Het is duidelijk dat de gehele warmte-beïnvloede zone harder is dan het originele basismetaal (271HV5) met een maximum van 333HV5 horende bij een piektemperatuur van 900 °C en dus ietwat verwijderd van de fusieliijn. De invloed van de afkoelsnelheid op de hardheid is uiterst beperkt. Tevens is de verandering in hardheid ten gevolge van een meervoudige

Tabel: Mechanische eigenschappen van de 40 mm dikke supermartensitische roestvaste staalplaat na afschrikken en ontlaten (volgens materiaalcertificaat)

Gieting Nr.	Plaat Nr.	Transversale trekeigenschappen			Kerfslagtaaiheid bij -40 °C		Gemiddelde hardheid (HV10)
		Vloeigrens (MPa)	Treksterkte (MPa)	Rek bij breuk (%)	Individueel (J)	Gemiddeld (J)	
77641	711035/1-1	642	825	22	180-174-194	183	252

thermische cyclus praktisch onbestaande. Dat de hardste zones in een 13Cr supermartensitisch roestvast staal zich situeren op een kleine afstand van de fusieliijn is te wijten aan de beperkte piektemperatuur zodat het materiaal op die plaats volledig austenitisch gebleven is en aldus finaal zijn fijnere structuur heeft behouden, alsook aan de afwezigheid van ferriet. Inderdaad, zones die volledig getransformeerd zijn tot de ferriet fase (met korrelgroei tot gevolg) of slechts tot de gemengde ferriet-austeniet fase bevatten onvermijdelijk na afkoelen nog (zachtere) ferriet, in sommige gevallen tot meer dan 10%. In tegenstelling tot hetgeen gemeld bij de beproeving van het basismetaal, werd nu wel een lichte verbetering van de kerfslagtaaiheid van het basismetaal aan de hand van een twee uur durende gloeibehandeling vastgesteld met stijgende uitgloeitemperatuur tot maximaal 190 J. Daarenboven worden de meest brosse microstructuren in de overgangszone (zie hoger) eveneens hersteld in taaiheid tot minimum 180 J. Tenslotte wordt het basismetaal slechts weinig verzacht door dergelijke thermische behandelingen. Het verzachtend effect op de hardere overgangszone is duidelijker zodat geleidelijk bij stijgende nagloeitemperaturen hardheden bekomen worden die deze van het basismetaal benaderen (maximum 276HV5 na uitgloeien bij 620 °C). Een semi-automatisch gelaste verbinding gemaakt aan de hand van een massieve draad met gelijkaardige samenstelling als het basismetaal (matching) werd eveneens onderzocht in uitgloeide toestand. De maximum hardheid over de volledige lasverbinding bedraagt slechts 320HV5. De vloeigrens van het lasmetaal ingevolge de warmtebehandeling bedraagt gemiddeld slechts 530 MPa, alhoewel een breuk bij transversale trekproeven toch steeds in het basismetaal optreedt wegens de voldoende hoge treksterkte van 940 MPa. Verder hebben plooioproeven de goede ductiliteit en het foutvrije karakter van de verbinding aangetoond. Vervolgens werd een goede kerfslagtaaiheid bij -40 °C over de gehele verbinding vastgesteld (minimum 70 J), zowel dichtbij het plaatoppervlak als in het plaatmidden doorheen de laswortel. Uitzonderlijk werd een kerfslagtaaiheid van slechts 39 J bekomen in het lasmetaal gelegen onder het oppervlak. Deze kon verhoogd worden tot gemiddeld 49 J door een langere gloeibehandeling bij 640 °C toe te passen. Vermeldenswaardig is



Figuur 2: Kerfslagtaaiheid bij -40 °C van lasgesimuleerde microstructuren in vergelijking met dit van het basismetaal

ook het feit dat steeds een kleinere kerfslagtaaiheid in de overgangszone gemeten werd dan tijdens het onderzoek naar de lasbaarheid en het effect van uitgloeien. Meestal stellen deze laatste een ondergrens voor van waarden behaald op de werkelijke lasverbindingen. Ook de CTOD-breuktaaiheid bij -40 °C van de thermisch behandelde lasverbinding was goed ter plaatse van het lasmetaal en de fusieliijn met minimum waarden respectievelijk van 0,21 mm en 0,48 mm. Voor dergelijke hoge-sterkte stalen zijn dit veelbelovende resultaten. In dit project zullen gedurende het tweede jaar nog onderpoederdek- en electrodelassen onderzocht worden. Vooral in het geval van de manuele verbinding zal geprobeerd worden de gloeibehandeling te optimaliseren.

TWEDE DEEL VAN HET ONDERZOEK

Tijdens een kick-off vergadering in verband met het tweede deelonderzoek werden de volgende punten besproken. Spanningscorrosie ter hoogte van de overgangszone van 13Cr roestvaststalen pijpleidingen is reeds

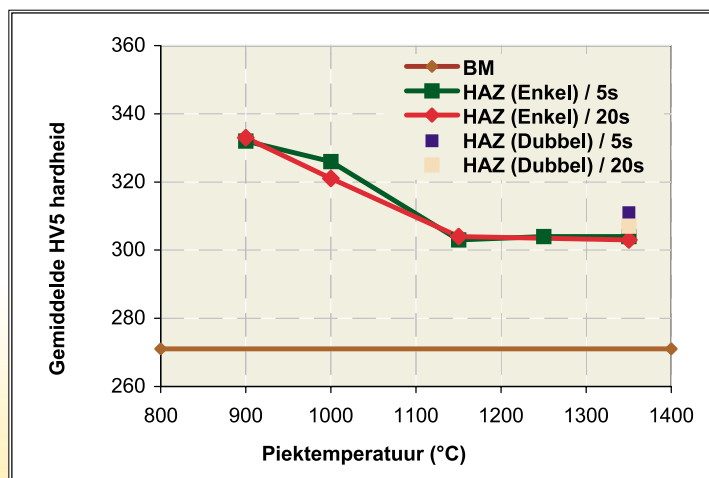
tijdens verschillende internationale onderzoeken vastgesteld en onlangs uitzonderlijk ook in dienst. Meestal is aantasting bij die onderzoeken opgetreden bij 12-20 bar CO₂, bij aanwezigheid van chlorides (zelfs bij gehalten van slechts 1000 ppm), bij 1,2-1,6 mbar H₂S (volgens sommige onderzoekers zelfs niet noodzakelijk), bij afwezigheid van zuurstof (alhoewel onzeker) en bij temperaturen tussen 100 °C en 120 °C. Daarbij werd hoofdzakelijk intergranulaire scheurgroei vastgesteld. De besprekingen hebben toegelaten de noodzakelijke voorwaarden op te stellen waarbij spanningscorrosie in supermartensitische roestvasten stalen kan optreden. Ter plaatse van een gevoelige microstructuur (warmtebeïnvloede zone) is het gevaar dus reëel dat ingevolge een zekere spanningsstoestand en een bepaalde oppervlakteconditie intergranulaire scheuren zich in een relatief korte tijdsperiode ontwikkelen.

CONCLUSIES EN VERDER PROJECTVERLOOP

De conclusies van het eerste deel deel van het project zijn dus dat

het 40 mm dik basismetaal in afgeschrikte en ontlaten conditie een hoge vloeigrens en sterke bezit samen met een afdoende ductiliteit en een uitstekende taaiheid. De vloeigrens kent een sterke daling na uitgloeien bij 620 °C gedurende twee uur. Voorts is dit materiaal zeker lasbaar te noemen aangezien de taaiheid binnen aanvaardbare grenzen vermindert en de hardheid maximaal 330HV5 bedraagt. De taaiheid in de overgangszone wordt echter opnieuw in ruime mate hersteld na toepassing van de voormelde thermische behandeling, terwijl de hardheid in dit geval ook beperkt kan worden tot minder dan 300HV5. Ten slotte kan een foutvrije MAG-lasverbinding gemaakt worden met een "matching" draad resulterend na uitgloeien in een lasnaad met in het algemeen een aanvaardbare hardheid, kerfslag- en CTOD-breuktaaiheid. Enkel het lasmetaal bezat lokaal een beperkte taaiheid maar dit kon verholpen worden door een kleine aanpassing van de gloeibehandeling. Lokaal kent het lasmetaal een ernstige vermindering in vloeigrens, hetgeen de meest opvallende vaststelling was van dit onderzoek op die lasnaad. Het BIL zal samenwerken met verschillende Europese organisaties om opnieuw aan de hand van lassimulaties de nodige condities te kunnen creëren die aanleiding geven tot spanningscorrosie. Dit vereist evenwel de studie van het spanningscorrosie-mechanisme bij 13Cr roestvasten stalen en de ontwikkeling van een aangepaste beproevingsmethode. Dit alles zal verwezenlijkt worden gedurende de tweede helft van het project over supermartensitische roestvasten stalen. Hopelijk kan dit probleem binnen een redelijke termijn opgelost worden, zodat vooral de eindgebruikers een goede indruk blijven behouden van die materialen met een groot potentieel. □

Figuur 3: Hardheid van lasgesimuleerde microstructuren in vergelijking met het basismetaal



Ir. E. Delev, onderzoekscentrum BIL

