

VERMOEIINGSLEVENSDUUR VERBETEREN DOOR NABEHANDELING

PROJECT DURIMPROVE

De vermoeiingsweerstand van lasverbindingen kan worden verbeterd door het toepassen van een nabehandeling, zoals TIG-dressing of hameren. Dit artikel beschrijft de resultaten van het project DURIMPROVE, waarin het effect van drie nabehandelingstechnieken op de vermoeiingsweerstand van lasverbindingen in hoogsterktestaalsoorten werd onderzocht.

Thomas Baaten (BIL) en Sofie Vanrostenberghe (OCAS)

SAMENWERKING

Het BIL (Belgisch Instituut voor Lastechiek) heeft in samenwerking met OCAS (onderzoekscentrum van Arcelor Mittal) een collectief onderzoek uitgevoerd naar het verbeteren van de vermoeiingsweerstand van lasverbindingen in hoogsterktestaalsoorten via drie nabehandelingstechnieken. Het gaat om twee hersmelttechnieken (TIG- en plasmadressing) en een HFMBehandeling (High Frequency Mechanical Impact). Het project DURIMPROVE werd uitgevoerd met de steun van het IVT (Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie) en met de inbreng van een twintigtal bedrijven.

HOG EISEN

De eisen die gesteld worden aan de prestaties van machines worden steeds strenger. Machines moeten in toenemende mate bestand zijn tegen hogere snelheden, lichter geconstrueerd worden, een hoger laadvermogen hebben bij gelijkblijvend totaalgewicht enzovoort. Dit heeft gevolgen voor elk onderdeel van de machineconstructie.



Figuur 1: de nabehandelde las behaalde een hogere levensduur bij een vermoeiingsproef

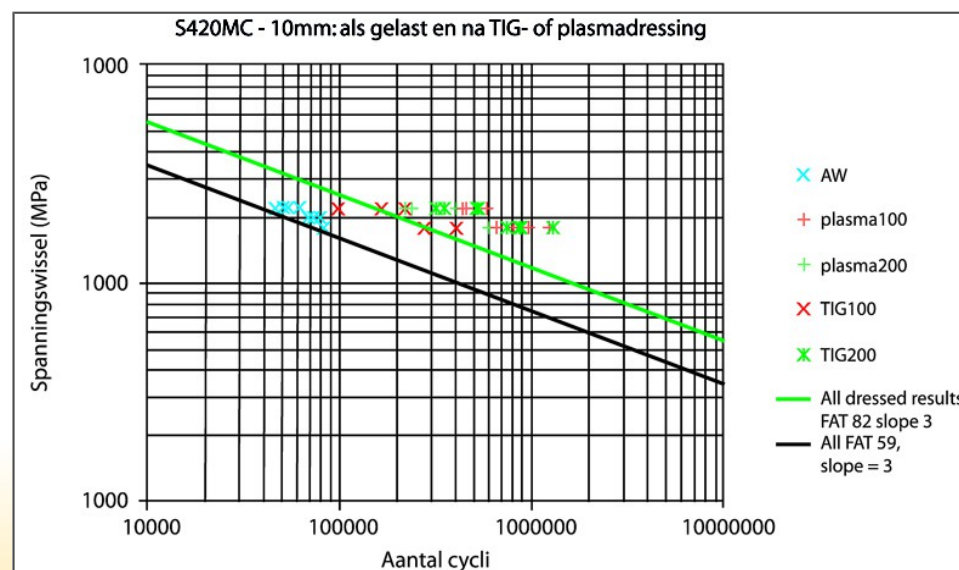
De keuze voor hoogsterktestaalsoorten is een voor de hand liggende oplossing, omdat hierdoor kleinere plaatwanddiktes mogelijk zijn en er lichter geconstrueerd kan worden.

NABEHANDELING

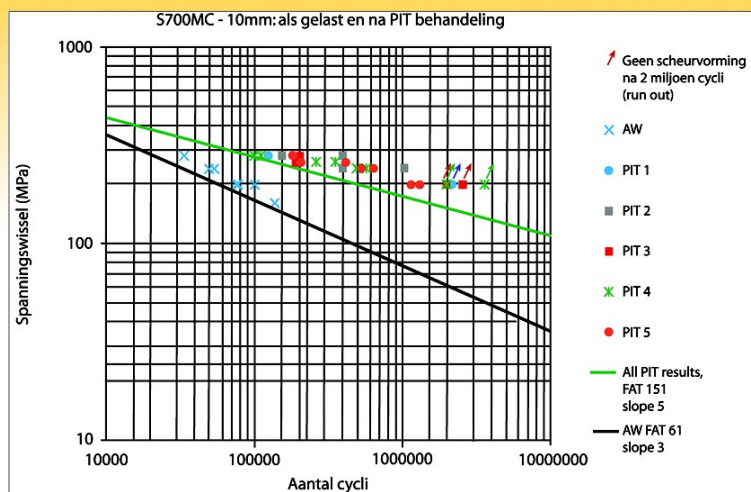
In veel machineconstructies worden meerdere onderdelen zwaar belast op vermoeiing, en moeten bovendien gelaste verbindingen worden gebruikt. Uit de praktijk en uit talrijke studies blijkt echter dat lasverbindingen in hoogsterktestaalsoorten die op vermoeiing belast worden, niet veel beter presteren dan lasverbindingen in de klassieke (zachtere) staalsoorten. Hierdoor worden de voordelen van hoogsterktestaalsoorten tenietgedaan. Nochtans is bekend dat het mogelijk is om de vermoeiingsweerstand van lasverbindingen aanzienlijk te verbeteren, namelijk door het toepassen van een nabehandeling. Een mogelijke nabehandeling is het hersmelten van de las door bijvoorbeeld een plasma- of TIG-boog, ook wel plasma- of TIG-dressing genoemd. Een andere mogelijkheid is het toepassen van een hamerbehandeling. In het DURIMPROVE project werd Pneumatic Impact Treatment (PIT) toegepast.

WOHLERCURVES

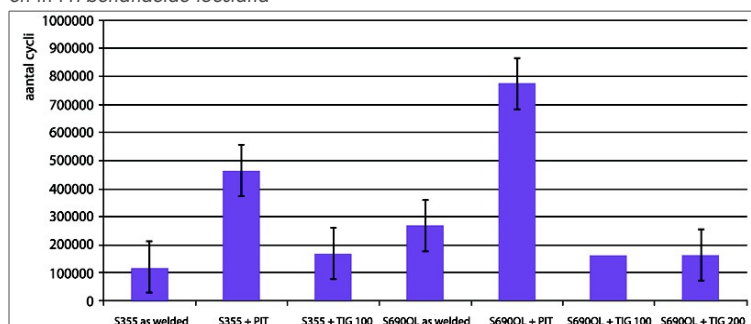
In een uitgebreid testprogramma werden aan de hand van vermoeiingsproeven Wöhlercurves opgesteld voor onbehandelde lassen en nabehandelde verbindingen in de staalsoorten S420MC en S700MC. De verbetering van de vermoeiingseigenschappen van lassen behandeld met TIG- en plasmadressing bleek gelijkwaardig. Daarom werden de resultaten van beide hersmelttechnieken gegroepeerd in één ontwerpcurve, zoals getoond in **figuur 2**. Deze figuur toont de Wöhlercurve van een langse verstijver in S420MC met een plaatdikte van 10 mm in gelaste toestand (AW; As Welded) en de verbeterde ontwerpcurve door TIG- en plasmadressing. De verbetering in vermoeiingslevensduur die bereikt werd met PIT, was aanzienlijk groter dan de verbetering door middel van de hersmelttechnieken. Er werden verschillende parameters ingesteld tijdens het uitvoeren van het PIT-proces. Ongeacht de variatie van de ingestelde parameters bleef de verbetering constant. Daarom werd per staalkwaliteit en per materiaaldikte slechts één ontwerpcurve opgesteld, zoals getoond in **figuur 3**. Deze grafiek laat de verbetering zien die bereikt werd voor lassen in



Figuur 2: Wöhlercurves van lasverbindingen in onbehandelde toestand en na TIG- of plasmadressing



Figuur 3: Wöhlercurves van lasverbindingen in onbehandelde toestand en in PIT-behandelde toestand



Figuur 5: overzicht van de vermoeingsproeven: aantal cycli in functie van de staalsoort en de nabehandeling

S700MC met een plaatdikte van 10 mm door een PIT-behandeling. Door deze nabehandeling wordt de FAT-klasse (dit is de toegelaten ontwerpspanning bij 2 miljoen cycli) verhoogd met 150%. Bovendien ligt de PIT-curve vlakker, wat zich vertaalt in een extra toename van de vermoeingslevensduur bij een lagere ontwerpspanning. De beproefde nabehandelingstechnieken werden toegepast op verschillende industriële cases, waarvan er drie besproken worden.

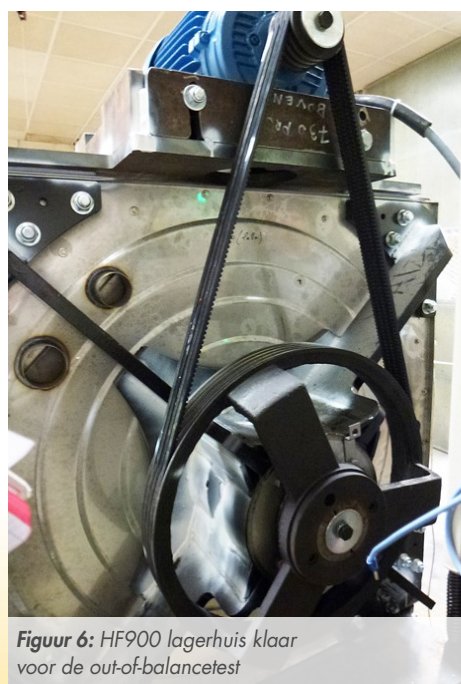
AARDAPPELOOGSTMACHINE

De stuurinrichting van de aardappeloogstmachine van landbouwmachinebouwer Dewulf wordt gewoonlijk vervaardigd in S355 (figuur 4). Van de meest belaste hefboom uit de stuurinrichting werden meerdere prototypes gemaakt met een meer geschikte lasprocedure en nabehandeld met TIG-dressing of met PIT. De grootste verbetering werd gerealiseerd met een PIT-behandelde hefboom in S690QL (figuur 5). De levensverwachting steeg gemiddeld met een factor 6,5 ten opzichte van een onbehandelde hefboom. De geometrie van de hefboom werd niet gewijzigd, met als reden de zeer compacte inbouwruimte.

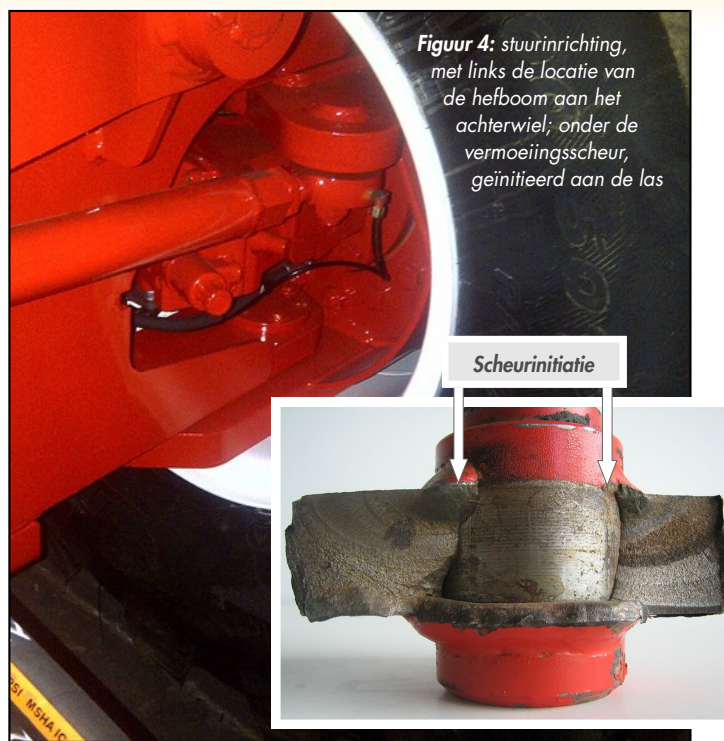
INDUSTRIËLE WASMACHINE

Een tweede case die onderzocht werd, was het lagerhuis van de industriële wasmachine van Alliance. Het lagerhuis bevindt zich aan de achterkant van de machine. Op het lagerhuis wordt aan één kant de wastrommel bevestigd en aan de andere kant de motor die via een aandrijfriem de wastrommel doet draaien. De machine wordt maximaal belast op vermoeing als de onbalans 15% van het maximale laadvermogen (90 kg) bedraagt, bij een toerental van 750 toeren per minuut. Deze maximale onbalans bij 750 tpm wordt dan ook gebruikt

als vermoeingsproef in de fabriek, ook wel de 'out-of-balancetest' genoemd (figuur 6). Het oorspronkelijke ontwerp van het lagerhuis weegt 281 kg en bestaat uit S235 staal. Bij out-of-balancetesten in het verleden werd een levensduur bereikt van gemiddeld 130 uur, wanneer in één van de vier armen een vermoeingscheur ontstond aan de overgang tussen de armen en de stervormige versteviging (figuur 7). Het was voor Alliance van belang om de levensduur te verhogen naar 500 uur. Een gewichtsbesparing was geen prioriteit, aangezien een te grote gewichtsbesparing resonantieproblemen zou kunnen opleveren. De kritische lasverbindingen van het oorspronkelijke ontwerp werden met PIT behandeld. Dit leverde een out-of-balancetest op die 349 uur duurde, totdat een vermoeings-



Figuur 6: HF900 lagerhuis klaar voor de out-of-balancetest



Figuur 4: stuurinrichting, met links de locatie van de hefboom aan het achterwiel; onder de vermoeingscheur, geïnitieerd aan de las

Scheurinitiatie

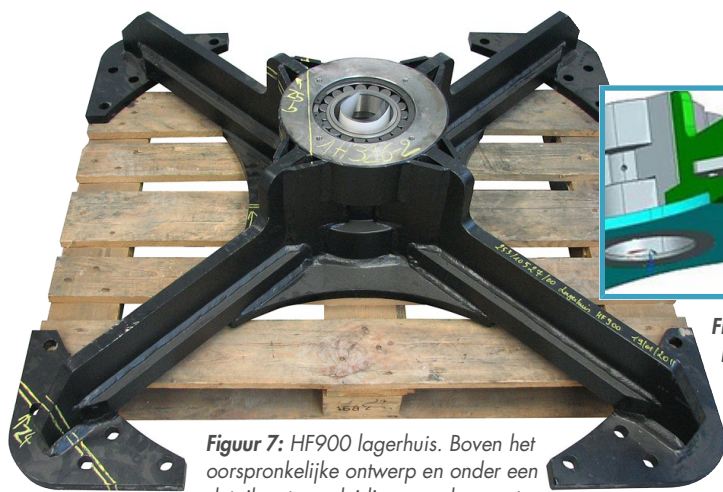
scheur optrad. Het verwachte resultaat van 500 uur werd echter bereikt door een ontwerpwijziging (figuur 8). De stervormige versteviging werd verzonken in de armen. Op deze manier liggen de onderkant van de armen en de onderkant van de stervormige versteviging in één vlak, met als gevolg dat de spanningsconcentratie beduidend lager is. Bijkomend voordeel is dat de verstevigingen aan de zijkant van de armen niet meer nodig zijn. Het nieuwe ontwerp presteert 500 uur zonder scheurinitiatie tijdens de out-of-balancetest, weegt 12% minder en ook de lastijd is verminderd met 25%. Deze case toont aan dat een nabehandeling van lassen en het gebruik van hoogsterkstaal niet altijd de beste of enige oplossing is. Alliance heeft het gewijzigde ontwerp inmiddels in productie genomen.

KRAANBANEN

In de staalfabriek van Arcelor Mittal in Gent staan oude en nieuwe kraanbanen. Sommige dateren nog van de oprichting van de staalfabriek in 1960. In de liggers van de kraanbanen, vervaardigd uit S235, treden op diverse kritische plaatsen vermoeingscheuren op die hersteld moeten worden. Op de drie meest voorkomende kritische lassen werden testen uitgevoerd om het preventieve effect van PIT op verouderde lassen te onderzoeken. Ook werd er onderzocht of de vorming van vermoeingscheuren uitgesteld kan worden op kraanbanen die al enkele jaren dienst doen.

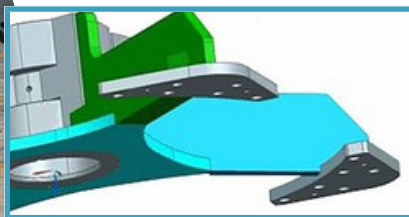
De volgende drie lasdetails werden getest:

- **stompe herstellas:** na het optreden van een vermoeingscheur moet deze worden uitgeslepen. Dit gebeurt in een X-lasnaadvoorbereiding voor het uitvoeren van een herstellas met beklede elektroden. Omdat herstellassen sowieso op kritische plaatsen gelegen zijn en ze vaak in moeilijke omstandigheden worden uitgevoerd, blijven ze gevoelig voor nieuwe vermoeingscheuren;



Figuur 7: HF900 lagerhuis. Boven het oorspronkelijke ontwerp en onder een detail met aanduiding van de meest

kritische las ter hoogte van de stervormige versterking



Figuur 8: ontwerpwijziging van het lagerhuis: de stervormige versterking ligt verzonken in de armen. De extra versterking aan de zijkant van de armen kan achterwege blijven



• **knoopplaat:** dit is een staalplaat die de verbinding maakt tussen de kraanbaan en de muur, om de zijde-

- van de stompe herstellas werd het origineel getest. De meetpunten van de vermoeingsproef lagen boven de ontwerpcurve uit Eurocode III voor stompe lassen. Er werd één proef uitgevoerd op een met PIT behandelde verouderde las. Ondanks de hoge spanningswisseling (225 MPa) traden er na 3 miljoen cycli geen scheuren op en werd de proef beëindigd. Dit meetpunt ligt ver boven de verwachting van een nieuwe onbehandelde stompe las;
- de verouderde, met PIT behandelde knoopplaten werden op 225 MPa getest. Op dit spanningsniveau duurden de proeven gemiddeld driemaal langer dan die met de nieuwe onbehandelde knoopplaten;
- de verouderde, met PIT behandelde onderflensen werden op 225 MPa getest. Op dit spanningsniveau duurden de proeven gemiddeld veertien maal langer dan proeven op nieuwe onbehandelde onderflensen.

De resultaten van deze vermoeingsproeven geven aan dat een nabehandeling van lassen ook preventief uitgevoerd kan worden om scheurvorming uit te stellen, indien voorafgegaan door een oppervlaktascheuronderzoek.

CONCLUSIE

In het algemeen is uit het onderzoeksproject

DURIMPROVE gebleken dat de vermoeingslevensduur verbeterd kan worden door middel van lasnaadnabehandelingen, al dan niet op hoogsterktestaalsoorten. De case van het lagerhuis van de industriële wasmachine heeft echter ook aangetoond dat de oplossing om de vermoeingseigenschappen te verbeteren niet altijd ligt in het toepassen van een nabehandeling of het gebruik van hoogsterktestaal. Een wijziging van het ontwerp leidde in deze case tot de gevraagde verbetering van de vermoeingseigenschappen. Tot slot werd het gunstige effect van lasnaadnabehandeling op verouderde kraanbanen aangetoond. Dankzij deze nabehandeling kunnen vermoeingsscheuren worden uitgesteld, wat een besparing oplevert in onderhoud en inspectie van kraanbanen. Gezien de succesvolle afloop van het DURIMPROVE project, werd gekozen om deze kennis toe te passen voor bruggenbouw, in het kader van het Europees RFCS-onderzoeksproject OPTIBRI (Optimal use of high strength steel grades within bridges). De partners in dit onderzoeksproject zijn de Universiteit van Luik (projectleider), het Belgisch Instituut voor Lastechniek, GRID Consulting Engineers (Portugal), de Universiteit van Combría (Portugal), de Universiteit van Stuttgart (Duitsland) en Industeel (België). In dit project wordt onderzoek uitgevoerd naar de inzet van hoogsterktestaal voor snelwegbruggen, ontworpen via de ontwerpcode Eurocode III. De vermoeingslevensduur van deze bruggen wordt sterk beperkt door gelaste onderflensen. Als bijkomende beperking houdt de ontwerpcode Eurocode III geen rekening met het gunstige effect van het gebruik van lasnaadnabehandelingen. In dit project wordt de invloed van lasnaadnabehandelingen onderzocht op de vermoeingsweerstand van gelaste onderflensen, uitgevoerd in hoogsterktestaalsoorten. Finaal moet de uitkomst van dit onderzoek een bijdrage leveren voor een eventuele aanpassing van de Eurocode III. Dit zou de inzet van hoogsterktestalen in bruggenbouw kunnen vergroten en leiden tot gewichtsbesparingen. □

lingse stabiliteit te verzekeren;

- **onderflens:** op plaatsen in de kraanbaanligger waar de grootste buiging optreedt, worden onderaan extra onderflensen gelast. Vermoeingsscheuren kunnen optreden waar de onderflens eindigt (**figuur 10**).

Van deze lasdetails werden kleine vermoeingsproefstaven gemaakt (**figuur 9**). Ten eerste werden vermoeingsproeven uitgevoerd op de lasdetails om de vermoeingslevensduur van het origineel te bepalen. Ten tweede werden de proefstaven vermoeid tot op een punt dat scheuren kunnen optreden, alsof ze al jaren dienst hebben. Er werd met penetrant onderzoek gecontroleerd op oppervlaktascheuren. Indien er geen scheuren aanwezig waren, werd een PIT-behandeling uitgevoerd. Vervolgens werden deze verouderde lassen verder vermoeid. Dit leidde tot de volgende resultaten per lasdetail:

Stompe herstellas



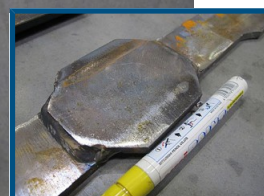
Knoopplaat



Onderflens



Figuur 9: vermoeingsproefstaven met lasdetails van de kritische details van kraanbanen



Figuur 10: vermoeingsscheur geïnitieerd aan een onderflens