

Onderzoek naar optimale toepassing hogesterktestaal voor bruggenbouw

Bruggen zijn typisch constructies die vanwege dynamische belasting gevoelig zijn voor vermoeiing. Ondanks hun goede mechanische eigenschappen worden hogesterktestalen nog niet veel toegepast voor dit soort constructies. Dit komt omdat zij een groot deel van hun vermoeiingssterkte verliezen wanneer eraan wordt gelast. Met het project OPTIBRI hebben onderzoekers aangetoond dat de vermoeiingssterkte verbeterd kan worden door een geschikte nabehandeling.

door Fleur Maas, Belgisch Instituut voor Lastechniek

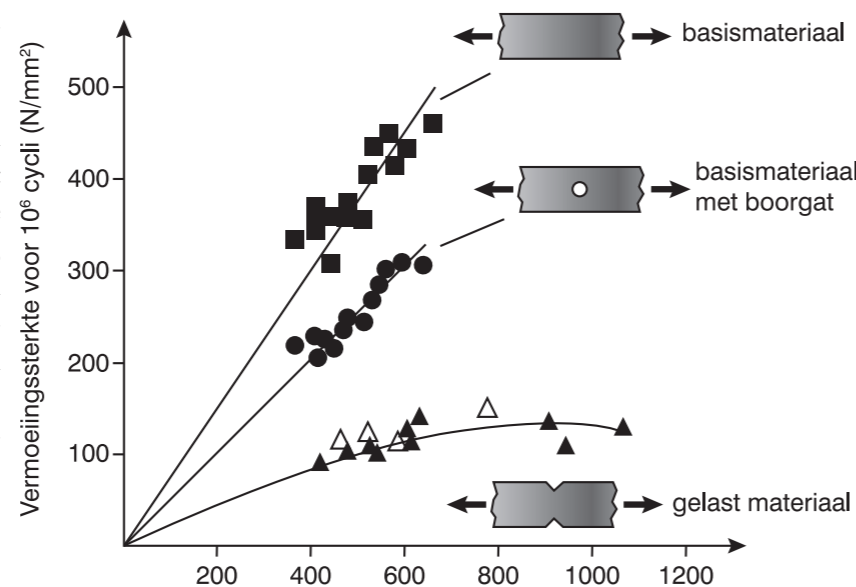
Het Belgisch Instituut voor Lastechniek (BIL) heeft in het verleden verschillende projecten uitgevoerd rond het verbeteren van de vermoeiingslevensduur van gelast hogesterktestaal. Uit deze onderzoeksprojecten bleek dat een duidelijke toename van de vermoeiingslevensduur verkregen kon worden door het toepassen van bepaalde nabehandelingen.

In het project OPTIBRI (OPTImal use of High Strength Steel grades within BRIdges) is onderzocht wat dit in de praktijk zou betekenen voor gelaste bruggen, in het bijzonder voor een 80 meter lange, 21,5 meter brede brug, in staal S690 QL. Wat zijn de gevolgen voor vermoeiings- en stabiliteitseigenschappen? De uitkomsten van dit project hebben onder andere geleid tot aanbevelingen voor veranderingen in de Eurocode. In dit artikel wordt de nadruk gelegd op het werk rond vermoeiing.

Waarom nabehandeling

Lassen heeft grote gevolgen voor de vermoeiingssterkte. In figuur 1 is zichtbaar dat de vermoeiingssterkte van gelast staal veel lager is dan die van ongelast basismateriaal. Verder blijkt dat de ver-

moeiingssterkte van gelast hogesterktestaal niet veel hoger is dan die van een basismateriaal met lagere treksterkte. Dit is de reden waarom gelast hogesterktestaal nog niet veel gebruikt wordt voor vermoeiingskritische toepassingen.



Figuur 1 Vermoeiingslevensduur voor staal van verschillende sterkte, basismateriaal, geboord materiaal en gelast materiaal

Er zijn verschillende nabehandelingstechnieken mogelijk voor gelaste materialen (tabel 1). Enerzijds zijn er technieken die zich vooral richten op het verbeteren van de geometrie van de las (verbeteren van de oppervlaktekwaliteit en verlagen van de lokale spanningsconcentratie).

Anderzijds zijn er technieken die naast de geometrieverbetering de lokale trekspanningen naast de las verlagen, of

zelfs drukspanningen introduceren. Van deze laatste technieken bestaan verschillende varianten, zoals hameren (hammer/needle peening) en HFMI (High Frequency Mechanical Impact treatment), waarbij HFMI gebruikmaakt van een bepaalde stroombron. Het grootste voordeel van deze techniek ligt in het gebruiksgemak voor de operator en de kleine afstand tussen de verschillende impacts, wat een zeer glad oppervlak geeft.

Methode	Verbetering geometrie lasteën		Mechanische effecten
	Verbeteren oppervlaktekwaliteit/lasovergang	Verwijderen onvolkomenheden	Drukspanningen introduceren
Slijpen	Ja	Ja	Nee
TIG-dressing	Ja	Ja	Nee
Kogelstralen (Shot peening)	Nee	Nee	Ja
Hameren (Hammer/needle peening)	Ja	Ja	Ja
HFMI-behandeling	Ja	Ja	Ja

Tabel 1 Lasnabehandelingmethoden en hun effecten (uit IIW recommendations for the HFMI treatment – G. Marquis, Z. Barsoum, IIW-Springer 2016)

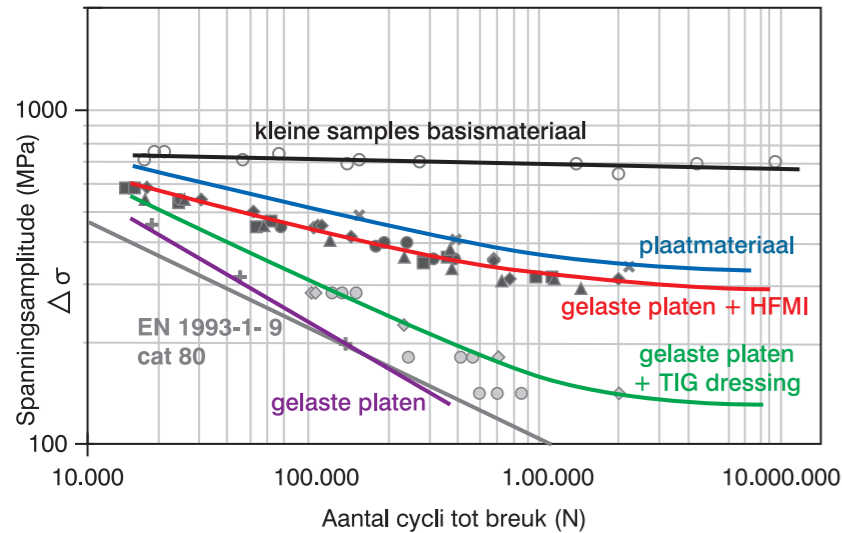
IIW-richtlijn HFMI

Het International Institute of Welding (IIW) heeft een richtlijn uitgebracht over het gebruik van een HFMI-behandeling voor het verbeteren van de vermoeiingssterkte van gelaste verbindingen. Deze richtlijn behandelt de verschillende procedures (voor operator, lasvoorbereiding, uitvoering), de kwaliteitscontrole van de nabehandelde lassen, maar ook de mogelijke vermoeiingssterkteverbetering door middel van een HFMI-behandeling. (IIW recommendations for the HFMI treatment – G. Marquis, Z. Barsoum, IIW-Springer 2016).

Uiteraard heeft deze nabehandeling alleen effect op gelaste details waarbij de vermoeiingsscheur begint vanuit de lasteën (weld toe). Nabehandelingen hebben geen effect voor vermoeiingsscheuren die vanuit de wortel (weld root) starten. Om de lasteën te kunnen nabehandelen is het wel noodzakelijk dat er voldoende toegang is om de nabehandeling (goed) uit te kunnen voeren.

Vermoeingsgedrag S690 QL

In het project OPTIBRI is veel experimenteel en numeriek werk verricht om te kijken naar het vermoeingsgedrag van S690 QL. Dit werk is gestart met kleine vermoeings-testen (uit de basismateriaalplaten gefreesde samples), en daarna uitgevoerd op plaatmateriaal van volle dikte (25 mm), en op gelaste platen.



Figuur 2 S-N curves van verschillende experimenten

Figuur 2 toont de S-N curves van de verschillende experimenten. Het gecombineerde effect van grootte, oppervlakteruwheid en eigenspanningen is zichtbaar in de resultaten van de kleine testen en de plaatsamples; de gelaste platen kunnen vergeleken worden met het plaatmateriaal (basismateriaal). Duidelijk is de verbetering van de vermoeingssterkte te zien die mogelijk is met de HFMI- en TIG-nabehandelingen (TIG dressing).

Proeven met gelaste balken

Naast de gelaste platen zijn er binnen het project ook industrieel gelaste balken geproduceerd voor grootschalige vermoeingsproeven. Ook bij deze balken zijn er gelaste onbehandelde (as weld) en gelaste nabehandelde balken geproduceerd.



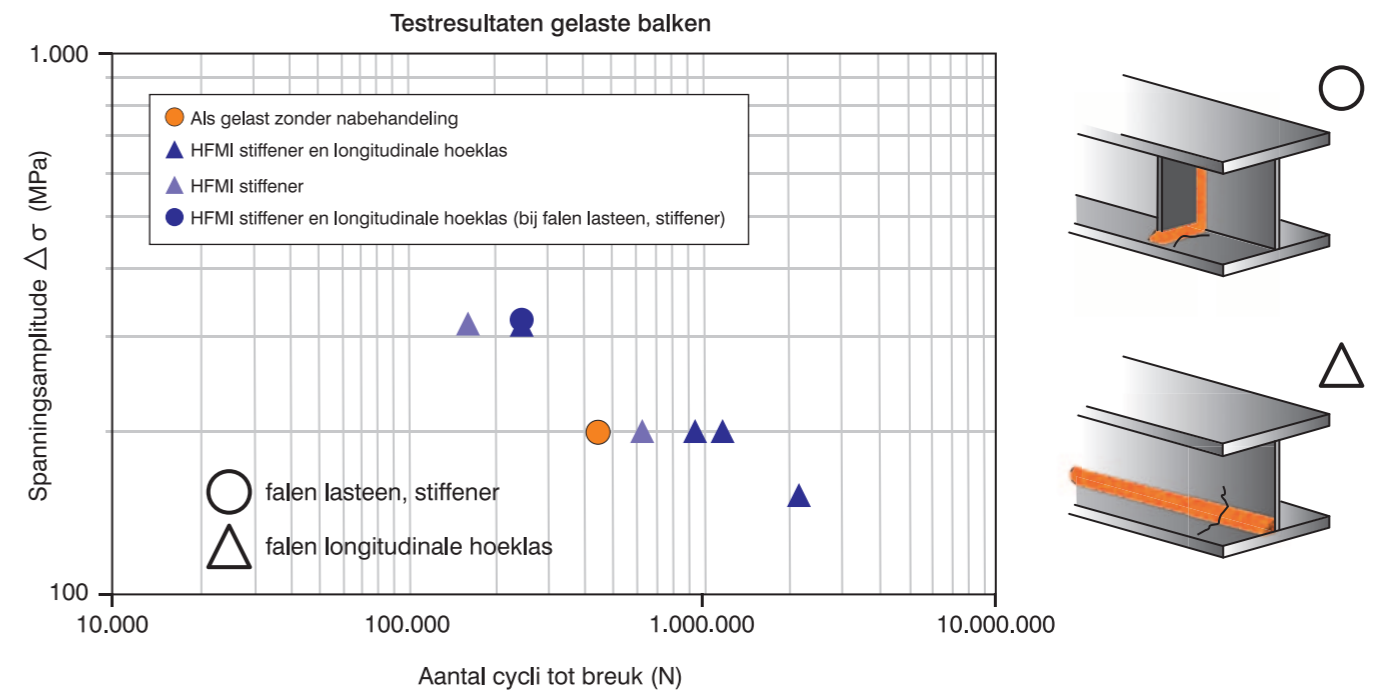
Het gecombineerde effect van grootte, oppervlakteruwheid en eigenspanningen is zichtbaar in de resultaten van de kleine testen en de plaatsamples; de gelaste platen kunnen vergeleken worden met het plaatmateriaal (basismateriaal).



Het effect van de HFMI-behandeling kon ook duidelijk aangetoond worden voor de grootschalige vermoeingsproeven, waarbij de scheuren startten op constructiedetails die gewoonlijk als niet-kritisch worden beschouwd, zoals de longitudinale hoeklas.

Dit betekent dat de vermoeingslevensduur nog verder verbeterd kan worden door ook die longitudinale hoeklassen na te behandelen. In figuur 3 is duidelijk het effect zicht-

baar van de HFMI-behandeling (paarse resultaten) ten opzichte van de onbehandelde gelaste balk (oranje resultaat). Door het nabehandelen van de stiffener (lichtpaarse driehoekjes) is er een eerste verbetering van de vermoeingslevensduur, maar dit is nog verhoogd door ook de longitudinale hoeklas te behandelen (donkerpaarse driehoekjes). Bij lagere spanningsniveaus is er bij de nabehandelde balken geen falen meer geweest vanuit de lasteen van de stiffener.



Figuur 3 Effect van HFMI-behandeling op vermoeingssterkte gelaste balken

Drie brugontwerpen

Om in te kunnen schatten wat de totale impact zou zijn voor het gebruik van gelast hogesterktestaal in bruggen, zijn er drie verschillende brugontwerpen gemaakt voor een 21,5 meter brede snelwegbrug, met 80 meter overspanning en een composiet beton-staal dubbelplaat girder deck (zie figuur 4). Niet alleen is gekeken naar het ontwerp en de technische uitvoering, maar op deze drie brugontwerpen zijn ook Life Cycle Environmental Assessment, Life Cycle Cost Analysis en Life Cycle Performance uitgevoerd.

De drie ontwerpen verschillen van elkaar in staalkeuze en nabehandeling.

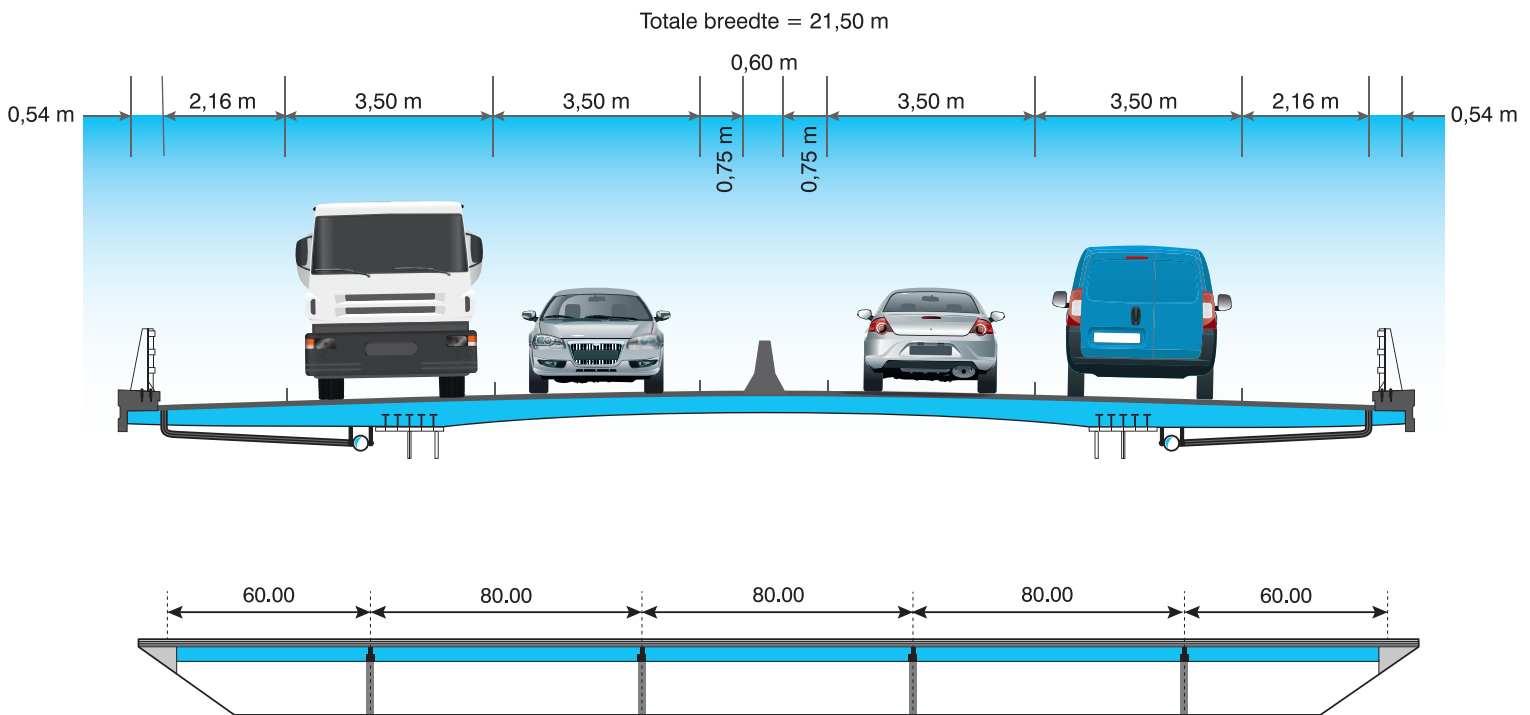
- **Ontwerp A: in standaard S355, volgens huidige Eurocode**
- **Ontwerp B: met gebruik van S690 QL staal (waar dit voordelen biedt in het ontwerp), volgens huidige Eurocode**
- **Ontwerp C: met gebruik van S690 QL staal (waar dit voordelen biedt in het ontwerp), gebaseerd op:**
 - **Werkelijk materiaalgedrag (vanuit experimentele proeven en simulaties van het vermoeiingsgedrag van de kritische details van HFMI-behandelde lasen)**
 - **Werkelijk stabiliteitsgedrag (vanuit experimentele proeven, en FE-analyse van knik van multi-axiaal belaste platen)**

Het gebruik van S690 QL zou in ontwerp B 25% en in ontwerp C zelfs 35% minder staal massa vereisen dan in ontwerp A. Dit geeft niet alleen gunstige milieueffecten op het gebied van staalproductie, maar betekent ook een significante reductie in lasvolumes: het totale lasvolume (full penetration weld volume) kan (in ontwerp C) zelfs met 65% verminderd worden. Maar er zijn nog bijkomende milieuvordelen tijdens de levensduur van het project, aangezien de ‘slankere’ brug ook in totaal minder oppervlakte heeft waar corrosiebescherming op moet worden aangebracht.

Conclusie

Binnen het project OPTIBRI is aangetoond dat het zeker mogelijk is om bruggen in hogesterktestaal te ontwerpen en uit te voeren, met technische en economische voordelen ten opzichte van het gebruik van S355 of S235, maar ook dat hierbij belangrijke stabiliteits- en vermoeiingsaspecten een rol gaan spelen, waarvoor binnen Eurocode duidelijke ontwerprichtlijnen uitgewerkt moeten worden. De resultaten, behaald binnen dit project, zullen hiervoor verder gebruikt worden.

OPTIBRI is een project met ondersteuning van het Research Fund for Coal and Steel (RFCS).
Partners
 Universiteit van Luik, Universiteit van Stuttgart, Universiteit van Coïmbra, GRID S.A., Industeel Belgium S.A., Belgisch Instituut voor Lastechniek vzw.



Figuur 4 Brugontwerp