

Constructie hogesterkte staal stelt andere eisen aan het lassen



Het lassen van hogesterkte staal vergt vaardigheid en discipline van de lasser (foto: Huisman)

Huisman Equipment in Schiedam bouwt onder andere kranen en andere hijsinstallaties voor schepen en offshore-installaties. Daarbij wordt gebruik gemaakt van hogesterkte staal. De toepassing van hogesterkte stalen vergroot het hijsvermogen van de installatie, reduceert het gewicht van de constructie en werkt ook nog eens kostenbesparend. Maar het stelt wel andere eisen bij het ontwerpen en fabriceren.

De in NEN-EN 10025-4 genormeerde thermomechanisch gewalste staal-soorten hebben een maximale rek-grens van 460 MPa. Hogere sterktes tot 690 MPa zijn leverbaar, maar dan alleen in beperkte diktes. Voor nog hogere sterktes worden de quenched en tempered (QT-stalen) staalsoorten toegepast. De meest toegepaste QT-staalsoorten zijn S690, S890 en S960, maar in de kranenbouw wordt ook een materiaal als S1100 gebruikt.

De quenched en tempered staalsoorten danken hun hogere sterkte aan een warmtebehandeling. Het koolstof-gehalte in deze materialen ligt hoger dan in de thermomechanisch gewalste staalsoorten en voor een goede door-harding worden tienden van procenten aan chroom, molybdeen en koper gebruikt. Voor een goede kerftaaiheid wordt nikkel toegevoegd in concentraties tot een maximum van 2%. Voor het beperken van de korrelgroei

tijdens het warmwalsen wordt gebruik gemaakt van dezelfde micro-legerings-elementen (hondersten van procenten aan niobium, vanadium en titaan) als in de thermomechanisch gewalste staalsoorten.

Meer aandacht

Door het hogere koolstofgehalte in de QT-staalsoorten en het gebruik van chroom, molybdeen, koper en nikkel neemt de lasbaarheid af en moet vanaf een bepaalde materiaaldikte worden voorgewarmd. Niet voorwarmen leidt tot de vorming van waterstofscheuren in de warmtebeïnvloede zone, maar ook in het lasmetaal. Daarnaast zijn deze materialen ook gevoelig voor lassen met een te hoge warmte-inbreng. Is deze te hoog, dan zal de gewenste sterkte in de lasverbinding niet meer gehaald worden. Het lassen van QT-staalsoorten vereist dus

aanzienlijk meer aandacht dan het lassen van de thermomechanisch gewalste staalsoorten.

Voordelen

De hogere sterkte van een materiaal levert bij gelijkblijvende vorm van de constructie een gewichtbesparing op. Die gewichtbesparing levert ook voordelen op tijdens de fabricage van de kraan. De transportkosten van het materiaal gaan omlaag, het manoeuvreren van de plaat en voorgelaste onderdelen is gemakkelijker, het inpakken en transport van onderdelen van de gereede kraan kost eveneens minder. Door de hogere sterkte van het materiaal neemt de materiaaldikte af. Een kleinere plaatdikte zal tot een kleiner lasvolume leiden, (zie fig. 1).

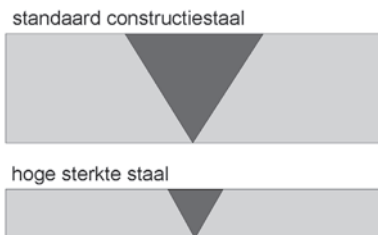


Fig.1 Aanzienlijk kleiner lasvolume door toepassing van hogesterkte staal (illustratie: Paul Quaedvlieg)

Het volume van het lastoefogmateriaal neemt af, maar nog belangrijker is dat de lastijd aanzienlijk korter wordt en daarmee de loonkosten lager. Het geringere gewicht van de kraan kan benut worden om de laadcapaciteit van het schip te vergroten, (zie fig. 2). De hogere sterkte van het materiaal kan bij gelijkblijvende afmetingen van de kraan ook gebruikt worden voor het vergroten van de hijscapaciteit.



Fig.2 Geringer gewicht van de kranen leidt tot een grotere laadcapaciteit van het schip (foto: Huisman)

Ontwerpaspecten

Als we naar de kiloprijs per vloeigrens van een materiaal kijken, blijkt daaruit dat sommige stalen verhoudingsgewijs duurder zijn dan andere staalsoorten.

Indien een ontwerper wel S690 voorschrijft en vervolgens wegens angst, onbekendheid of extra veiligheidsmarge het materiaal niet optimaal benut, is hij het niet waard om met S690 te construeren. Het is dus zinvol de capaciteit van het hogesterkte staal zo veel mogelijk te benutten. Dit vereist een nauwkeurige bepaling van de optredende krachten en een zorgvuldige berekening van de optredende spanningen. In ontwerperstaal: 'Het is niet voldoende om een unity check kleiner dan 1 te behalen, maar de unity check moet altijd gelijk aan 1 zijn'.

Om de hogere sterkte van het materiaal optimaal te benutten moeten de residuele spanningen en de daaruit voortvloeiende vervormingen beperkt worden. Inwendige spanningen als gevolg van het lassen kunnen beperkt worden door een uitgekiende lasvolgorder en zoveel mogelijk hoeklassen toe te passen. Hoeklassen vertonen enerzijds minder krimp en hebben anderzijds een grotere vervormingscapaciteit. In vermoeiingsgevoelige constructies zullen hoeklassen juist vervangen moeten worden door volledig doorgelaste hoeklassen (full penetration) om bij een grotere spanningsvariatie dezelfde levensduur te halen (zie fig. 3).

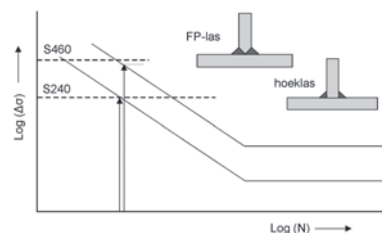


Fig.3 Hogere vermoeiingssterkte vraagt eerder om een FP-las (illustratie: Paul Quaedvlieg)

Vloeigrens

Omdat bij hogesterkte stalen de treksterkte (R_m) zo dicht bij de vloeigrens (R_e) ligt, is men lange tijd erg voorzichtig geweest door sterkteberekeningen net als bij S235 en S55 te baseren op de vloeigrens. De angst was, dat als de vloeigrens overschreden werd, een constructie snel en bros zou bezwijken. De ervaring leert echter, dat dit een misvatting is, en wel om een aantal redenen. De rek bij breuk van hogesterkte stalen is nog steeds zeer groot (S690 minimaal 14% en bij S355 22%) ten opzichte van de rek bij vloeien (circa 0,2%). Daarnaast is de kerftaaiheid van veredelde staalsoorten zoals

S690 en S890 meestal beter dan die van S235 en S355. En blijken hogesterkte stalen als S690 en S890 meestal prima in staat te zijn piekspanningen bij kleine lokale defecten te herverdelen.

In het algemeen heerst er nu wel consensus dat ook voor hogesterkte stalen de statische sterkte gebaseerd mag zijn op de vloeigrens, mits de vloeigrens/treksterkte (R_e/R_m)-verhouding minstens 85% bedraagt, de rek bij breuk gehaald wordt en de kerftaaiheid voldoende is.

Minder slank

Het toepassen van hogesterkte staal voor profielen en platen leidt tot een kleinere materiaaldikte, waardoor bijv. plooiën (buckling) eerder kan optreden. Plooiën tredt eerder op omdat de stijfheidsmoduli niet toenemen met toenemende sterkte, maar constant blijven, (zie fig. 4). De slankheid van de constructie is uitgedrukt in de verhouding van de breedte van de plaat tot de lengte. Om hogesterkte staal goed te kunnen benutten moet er dus minder slank geconstrueerd worden. ▶

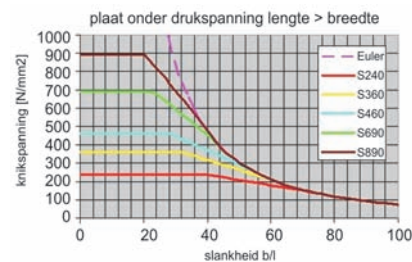


Fig. 4 Knikspanning bij zuivere drukbelasting als functie van de slankheid (breedte/lengte) van de plaat

Discipline

Van levensbelang voor het maken van een goede lasconstructie in hogesterkte staal is de vaardigheid van de lassers en discipline om de ontwikkelde lasprocedures te volgen. Het toezichthoudend personeel moet op de hoogte zijn van de eigenschappen van deze specifieke materialen en weten wat de consequenties zijn voor een te lage of een te hoge warmte-inbreng en de gevolgen van onvoldoend voorwarmen. Het is zaak dat zij de lasvoorschriften nauwgezet aanhouden en eventuele lasproblemen ook terugkoppelen en nader onderzoeken. Lasprocedures dienen zodanig ontwikkeld te worden dat zij in de praktijk ook daadwerkelijk als productielas uitgevoerd kunnen worden. Huisman heeft daarom een eigen lasschool waar lassers in praktijk-situaties hogesterkte staal leren verwerken. Het niet volgen van de lasvoorschriften bij het lassen van een materiaal als S235 is als door het rode licht rijden in het midden van de nacht. Echter, het niet volgen van de lasvoorschriften bij het lassen van S690 is als het door het rode licht rijden, maar dan tijdens het spitsuur.

Vermoeingssterkte

Welk type staal toegepast wordt in onderdelen van de kraan zal afhangen van de belastingswijze van het onderdeel. Voor zuiver statische toepassingen kan staal met een hoge tot zeer hoge rekgrens worden toegepast. Voor onderdelen die aan een vermoeingsbelasting in het trek-gebied zijn onderworpen is enige voorzichtigheid gewenst. Zoals uit figuur 3 blijkt is de vermoeingssterkte afhankelijk van de lasuitvoering. In het algemeen geldt dat de vermoeingssterkte van gelaste constructies lager ligt dan de vermoeingssterkte van het basis-materiaal. Dit heeft te maken met de kans op lasfouten en de kerfwerking van de las. Hoe meer zorg aan de lasverbinding wordt besteed des te hoger de vermoeingssterkte zal uitvallen. De extra aandacht voor de lasbewerking zal kostenverhogend werken en het is dus zaak een balans te vinden tussen de extra laskosten (inclusief inspectie van de lasverbinding) en de winst verdoer de materiaalreductie als gevolg van een hogere sterkte.

Zonder op alle details van de diverse onderdelen van de in figuur 5 getoonde pijpenlegtoeren in te gaan, is in deze figuur aangegeven welke materialen zijn toegepast. Uit de figuur blijkt dat de materialen met een hogere sterkte zijn gebruikt voor onderdelen die voornamelijk statisch worden belast en voor onderdelen die onderhevig zijn aan een dynamische belasting stalen met een lagere sterkte zijn toegepast.

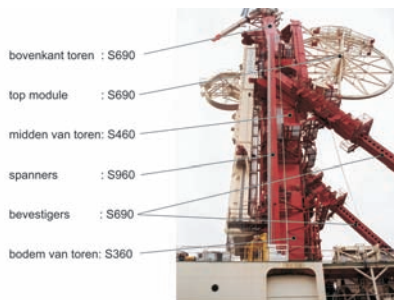


Fig. 5 Pijpenlegtoeren met daarin aangegeven de toegepaste materialen (foto: Huisman)

Lasvolgorde

Zijn lasspanningen bij S235 en S355 al moeilijk en risicovol door warmtebehandelingen te reduceren door de grootte van de kraan, bij S690 wordt

het nog moeilijker, omdat de maximale temperatuur (550 °C) strikter moet worden aangehouden en het lasmetaal bij behandelingen boven 500 °C zijn kerftaaiheid verliest. Alleen door een uitgekende lasvolgorde kunnen de lasspanningen en daarmee ook de optredende vervormingen beperkt worden. In figuur 6 worden daarvan twee eenvoudige voorbeelden gegeven.

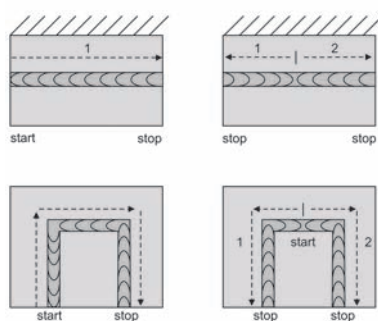


Fig. 6 Rechts een voorbeeld van een verbeterde lasvolgorde voor het reduceren van lasspanningen (illustratie: Paul Quaedvlieg)

De lasspanningen kunnen ook beperkt worden door het gebruik van lastoevoegmaterialen met een geringere sterkte dan het basismateriaal met een grotere vervormbaarheid. Bij hoeklassen hoeft geen sterkte te worden ingeleverd, omdat simpel door vergroting van de a-hoogte van de las de benodigde sterkte gehaald kan worden. Bij stompe lasverbindingen is deze mogelijkheid beperkt, omdat de overdikte van de las te gering is voor compensatie van het sterkteverlies. Bovendien moet rekening worden gehouden met spanningsconcentraties aan de bovenkant en onderkant van de lasverbinding en moet rekening worden gehouden met de kans op niet detecteerbare lasfouten.

Voorwarmen

Lasspanningen in combinatie met waterstof en een brosse materiaalstructuur kunnen voor waterstofscheuren (koudscheuren) zorgen. Om een brosse structuur te voorkomen is bij grotere plaatdikte, drie-dimensionale afkoeling en hogere materiaalsterkte, voorwarmen noodzakelijk. De hoogte van de voorwarmtemperatuur zal afhangen van het waterstof-

gehalte van het lastoevoegmateriaal, de afkoelomstandigheden (plaatdikte, warmte-inbreng, vorm van het onderdeel en plaats van de lasverbinding) en van het materiaal zelf.

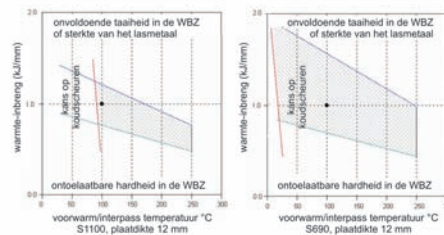


Fig. 7 Werkgebieden voor het lassen van S1100 en S690, beide met een plaatdikte van 12 mm

In figuur 7 wordt het werkgebied voor het lassen van twee QT-stalen getoond. Voor beide materialen is gekozen voor een voorwarmtemperatuur van 100 °C. Duidelijk komt uit de figuur naar voren dat deze voorwarmtemperatuur voor het staal met een rekgrens van 1100 MPa aan de krappe kant is en dat beter voor een hogere voorwarmtemperatuur gekozen had kunnen worden. De ligging van de rode lijnen in deze figuur wordt bepaald door het waterstofgehalte van het lastoevoegmateriaal in combinatie met het lasproces. Bij hogere waterstofgehalten schuiven de lijnen naar rechts.

Zorgvuldigheid noodzaak

Tenslotte nog een aantal opmerkingen over het lassen van hogesterkte stalen. Het detecteren op waterstofscheuren moet pas 48 uur na het lassen plaatsvinden. Het is de ervaring dat met toenemende sterkte van het basismateriaal de tijd waarin zich nog waterstofscheuren kunnen vormen toeneemt. Voorwarmen van materialen moet zorgvuldig gebeuren. De voorwarmtemperatuur mag daarbij niet gemeten worden aan de kant van de constructie waar de brander staat. Ook moet voldoende lang gewacht worden tot de omgeving van de las de voorwarmtemperatuur heeft aangenomen (stationaire toestand). Voor de QT-staalsoorten mag de temperatuur van de warmtebehandeling na het lassen niet hoger zijn dan 580 °C, omdat dit anders niet alleen tot verlies aan sterkte van de gelaste constructie leidt, maar ook tot verlies aan taaiheid. ■