

prof. ir. Wim Hoeckman
Victor Buyck Steel Construction, Eeklo
Vrije Universiteit Brussel

68

EN 1993-1-12 : Bouwen met hogesterktestaal

S460 is de hoogste staalsoort waarvoor de Eurocode 3 (EN 1993-1-1:2005) van toepassing is. Recent heeft een werkgroep binnen CEN/TC250/SC3 het aanvullend deel 1-12 van Eurocode 3 opgesteld met het doel om het toepassingsgebied uit te breiden naar staalsoorten tot en met S700.

EN 1993-1-12 behelst dan ook enkele wijzingen en aanvullingen van de andere, reeds bestaande delen van EN 1993, zodat die ook van toepassing worden op de staalsoorten tot en met S700. In grote lijnen komt het erop neer dat, bij gebruik van hogesterktestaal vanaf S500, uitsluitend de elastische berekeningsmethode kan worden gebruikt, waarbij toch met de plastische weerstand van de doorsnede kan gerekend worden (voor doorsnedeklassen 1 en 2). Voor verbindingen zijn er enkele bijkomende beperkingen wanneer ontwerpmethoden worden gebruikt die uitgaan van grote plastische vervormingen. Voor gelaste constructies is het toegestaan om lastoevoegmateriaal (elektrodes) te gebruiken met een lagere sterkte dan het basismateriaal.

Bij het gebruik van hogesterktestaal loopt Europa achter op Japan en de Verenigde Staten niettegenstaande toepassing ervan veelal een verlaging van de kostprijs oplevert. Hogesterktestaal wordt momenteel hoofdzakelijk geleverd in de vorm van platen, wat betekent dat profielen moeten worden samengesteld. Nochtans beginnen de eerste profielen in hogesterktestaal op de markt te verschijnen. Stiftdoublers zijn beschikbaar in S690.

Inleiding

Tot de jaren 1950 werd S355 nog aanzien als hogesterktestaal (HSS). In de jaren 1970 werd gestart met het TM-proces (thermomechanisch walsen), waarbij de laatste walsing plaatsvindt in een welbepaald temperatuurgebied. Dit leidde tot staaleigenschappen die niet bekomen kunnen worden door een warmtebehandeling alleen. De aldus geproduceerde staalsoorten S355, S420 en S460 hebben een hoge sterkte en taaiheid en een

EN 1993-1-12 : Construire avec des aciers à (très) haute résistance

La nuance d'acier S460 est la nuance la plus résistante admise dans le cadre de l'Eurocode 3 (EN 1993-1-1:2005). Récemment, un groupe de travail du CEN/TC250/SC3 a rédigé la partie complémentaire 1-12 de l'Eurocode 3 dans le but d'étendre le domaine d'application aux nuances d'acier jusqu'à S700.

De ce fait, l'EN 1993-1-12 prescrit quelques modifications et compléments aux parties existantes de l'EN 1993, si bien que celles-ci deviennent également applicables aux nuances d'acier jusqu'à S700. En grandes lignes il résulte que, lors de l'emploi d'un acier à (très) haute résistance (notamment à partir de la nuance S500), seule l'analyse globale élastique peut être utilisée. Cependant, il est autorisé, pour les classes de sections transversales 1 et 2, d'utiliser la résistance plastique de la section. Pour les assemblages, il existe quelques restrictions additionnelles si les méthodes de calcul sont basées sur de grandes déformations plastiques. Pour les assemblages soudés, il est admis d'utiliser du métal d'apport (électrodes) d'une résistance inférieure à celle du métal de base.

Malgré que l'application d'acier à (très) haute résistance soit souvent avantageuse sur le plan économique, son utilisation en Europe a pris du retard par rapport au Japon et aux Etats-Unis. L'acier à haute résistance est produit principalement en tôles, ce qui signifie que les profils doivent être reconstitués et soudés. Les premiers profils en acier à haute résistance commencent cependant à être disponibles sur le marché. Des goujons sont disponibles en acier S690.

Introduction

Jusqu'aux années 1950, l'acier S355 était encore considéré comme un acier de haute limite élastique (HLE). Dans les années 1970, le laminage thermomécanique (TM) a été développé. Dans ce procédé, la déformation finale est effectuée dans une certaine gamme de températures. Ceci a conduit à des caractéristiques d'acier qui ne peuvent être obtenues par un traitement thermique seul. Les nuances d'acier produites de cette façon, S355, S420 et S460, ont une haute





© Lemnat Bergqvist Kockums AB

Voorlopige brug "Fast bridge 48"
Nagenoeg alle staal is S1100

_Pont provisoire "Fast bridge 48"
Acier en grande majorité S1100

uitstekende lasbaarheid, ook door een minimumgehalte van legeringselementen.

Sinds de jaren 1960 was er ook al gestart met het QT-proces (*quenching and tempering* – afschrikken en ontlaten), wat toeliet om, door een speciale warmtebehandeling en door legering met onder meer Ni, V en T, staalsoorten te maken met (zeer) hoge sterkte en toch goede taaiheidseigenschappen. Vandaag laat dit proces toe om staalsoorten te maken tot S1100 hoewel enkel staalsoorten S460 tot en met S960 genormeerd zijn (in de productnorm EN 10025-6).

Bij HSS staat de toename in prijs meestal niet in verhouding met de verhoging van de vloeigrens, zodat het altijd economisch gunstig is om HSS te gebruiken wanneer de sterkte ervan volledig kan worden benut. Wanneer ook de fabricageprijs meegerekend wordt, dan is het zelfs nog voordeliger om met HSS te werken. Het lassen van zowel TM-staal als QT-staal stelt vandaag geen bijzondere problemen meer.

Het gebruik van HSS is reeds volledig ingeburgerd bij voertuigen en mobiele kranen, mede omdat het eigen gewicht op die manier lichter wordt. Uiteraard kunnen andere eisen, zoals bijvoorbeeld vervormingen, instabiliteitsverschijnselen of vermoeiing, de voordelen van HSS in sommige toepassingen beperken.

résistance et ténacité et une excellente soudabilité, dues aussi au fait qu'ils soient faiblement alliés.

Depuis les années 1960, le procédé de trempe et revenu (procédé QT - *quenching and tempering*) a permis, par un traitement thermique spécial et par alliage avec entre autres du Ni, V et T, de produire des aciers à (très) haute résistance sans toucher les bonnes caractéristiques de ténacité. Aujourd'hui, ce procédé permet de produire des nuances d'acier jusqu'à S1100, même si la norme de produit actuelle EN 10025-6 ne traite que des nuances S460 jusqu'à S960.

Le coût supplémentaire à l'achat d'un acier HLE n'est généralement pas en rapport avec la limite élastique plus élevée, si bien que l'application d'un acier HLE est toujours favorable sur le plan financier si sa résistance peut être complètement utilisée. Il devient même encore plus avantageux quand le prix de fabrication est aussi pris en considération. Le soudage des aciers TM et QT ne pose plus de problèmes particuliers.

L'emploi des aciers HLE est déjà complètement reconnu dans la construction de véhicules et de grues mobiles. Leurs poids propres ont ainsi pu être réduits. Bien sûr, d'autres exigences, notamment sur le plan de déformations, de phénomènes d'instabilité ou de fatigue, peuvent limiter les avantages de l'acier HLE dans quelques applications spécifiques.

EN 1993-1-12

Deel 1-12 van Eurocode 3 is getiteld "Aanvullende regels voor de uitbreiding van EN 1993 met staalsoorten tot en met S700". Een eerste ontwerp van dit deel was klaar in 2004 en voor de definitieve versie is inmiddels de formele goedkeuringsprocedure lopende zodat te verwachten is dat het binnenkort officieel is. De opgenomen ontwerpregels zijn gebaseerd op proefresultaten. Het algemene gedrag van constructie-elementen in HSS is vrij goed gekend. Voor sommige types van verbindingen zijn echter nog te weinig of geen proefresultaten beschikbaar. In een dergelijk geval geeft de norm aan dat ze niet mogen worden gebruikt.

Materialen

EN 1993-1-12 is van toepassing op de hogesterktestaalsoorten volgens EN 10025-6 en 10149-2. EN 10025-6 behandelt de veredelde staalsoorten van hoge sterkte geleverd als platen. S500, S550, S620 en S690 zijn de staalsoorten die in deel 1-12 van Eurocode 3 zijn omvat. Ze kunnen geleverd worden in de kwaliteiten Q, QL en QL1 [1]. De staalsoorten S890 en S960 hebben momenteel weinig toepassingsgebied in de constructiewereld. Het is duidelijk nog te vroeg om ze algemeen aanvaardbaar te maken.

EN 10149-2 behandelt TM-staal (S500MC tot en met S700MC) geschikt voor koudvormen. Dit staal is meestal geleverd op coils en de dikte is beperkt tot 16 mm. Ze worden gebruikt bij het maken van koudgevormde profielen, bijvoorbeeld als trapezoidale

EN 1993-1-12

La partie 1-12 de l'Eurocode 3 est intitulée "Règles additionnelles pour l'utilisation de l'EN 1993 jusqu'à la nuance d'acier S700". Un premier avant-projet de cette partie était prêt en 2004 et la version définitive a été soumise au vote formel entre-temps, si bien qu'elle sera officielle bientôt. Les règles de conception et de calcul présentées sont basées sur des résultats d'essais. Le comportement général des éléments de construction en acier HLE est assez bien connu. Pour quelques types d'assemblages, il n'existe pas encore (assez) de résultats d'essais, si bien que dans un cas pareil la norme stipule qu'ils ne peuvent pas être utilisés.

Matériaux

L'EN 1993-1-12 s'applique aux nuances d'acier HLE à (très) haute résistance suivant les normes de produit EN 10025-6 et 10149-2. L'EN 10025-6 traite des aciers à l'état trempé et revenu, livrés en tôles. Les nuances d'acier figurant dans la partie 1-12 de l'Eurocode 3 sont S500, S550, S620 et S690. Elles peuvent être livrées dans les qualités Q, QL et QL1 [1]. Les nuances d'acier S890 et S960 n'ont pour le moment pas beaucoup d'applications dans le monde de la construction. Il est clairement trop tôt pour les faire communément admettre.

L'EN 10149-2 traite des aciers TM (S500MC jusqu'à S700MC) aptes au formage à froid. Ces aciers sont livrés principalement en bobines et leur épaisseur est limitée à 16 mm. Ils sont utilisés pour la fabrication des profilés à froid, par exemple des raidisseurs trapézoï-

Nordbrücke IGA 2003, Rostock (2003)
Schlaich Bergermann und Partner, Stuttgart
Spanbanden 600x30 uit S690 QL1
_Bandes de traction 600x30 en S690 QL1



verstijvingen (in bijvoorbeeld orthotrope wegdekken). Omdat EN 10149 geen verplichte kerfslagwaarde oplegt, schrijft deel 1-12 een minimumwaarde voor van 40J bij -20°C.

Taaigheid en vervormingseisen

Bepaling 3.2.3(1) van EN 1993-1-1 schrijft voor dat het materiaal een voldoende breuktaaiheid moet bezitten om brosse breuk te vermijden. Daarbij is verwezen naar EN 1993-1-10 waar de taaigheid uitgedrukt is door de impactenergie. De in EN 1993-1-10 gebruikte werkwijze om de maximale materiaaldikte te bepalen omvat reeds HSS S690. In EN 1993-1-12 zijn alle overige hogesterktestaalsoorten opgenomen.

Bepaling 3.2.2(1) van EN 1993-1-1 vermeldt volgende drie vervormingseisen:

$$f_u/f_y \geq 1,10$$

verlenging bij breuk $\leq 15\%$;
 $\epsilon_u \geq 15 f_y / E$

Deze drie eisen zijn niet gebaseerd op enig onderzoek en ze dienen veeleer gezien te worden als een bevestiging van de eigenschappen van de staalsoorten die in EN 1993-1-1 zijn toegelaten. Opmerkelijk is dat de ENV 1993-1-1 reeds soortgelijke eisen vermeldde voor het gebruik van de plastische berekeningsmethode. EN 1993-1-1 heeft de eisen echter veralgemeend tot tevens de elastische berekeningsmethode omdat dit nodig is voor de geldigheid van bepaalde ontwerpregels voor verbindingen. Sommige staalsoorten die in EN 1993-1-12 zijn toegelaten voldoen echter niet aan deze eisen. Daarom zijn ze ietwat afgezwakt voor HSS :

$$f_u/f_y \geq 1,05$$

verlenging bij breuk $\leq 10\%$;
 $\epsilon_u \geq 15 f_y / E$

Wel gaan daarmee volgende, logische beperkingen samen voor het gebruik van HSS: de plastische berekeningsmethode mag niet worden gebruikt en flexibele verbindingen (zoals gedefinieerd in bepaling 5.1.1 van EN 1993-1-8) mogen ook niet worden toegepast. De algemene berekeningsmethode moet dus elastisch zijn of gebeuren via een niet-lineaire eindige-elementenmethode. Wel mogen nog steeds doorsneden van klasse 1 en 2 toegepast worden.

daux (des tabliers de pont à dalle orthotrope). Puisque l'EN 10149 ne prescrit pas de valeur minimale de l'énergie de rupture, la partie 1-12 impose une valeur minimale de 40J à -20°C.

Ténacité et ductilité

Le paragraphe 3.2.3(1) de l'EN 1993-1-1 stipule que le matériau doit avoir une énergie de rupture suffisante pour éviter la rupture fragile. Il est fait référence à la partie EN 1993-1-10 où la ténacité est exprimée en énergie de rupture. La méthode présentée dans l'EN 1993-1-10 pour déterminer l'épaisseur maximale du matériau comprend déjà l'acier HLE S690. Dans l'EN 1993-1-12, toutes les autres nuances d'acier HLE sont incorporées.

Le paragraphe 3.2.2(1) de l'EN 1993-1-1 stipule trois exigences de déformabilité:

$$f_u/f_y \geq 1,10$$

allongement à la rupture $\leq 15\%$;
 $\epsilon_u \geq 15 f_y / E$

Ces trois exigences ne sont pas basées sur des recherches et doivent être comprises comme une confirmation des caractéristiques des nuances d'acier autorisées par l'EN 1993-1-1. Il est à remarquer que l'ENV 1993-1-1 contenait déjà des exigences pareilles pour que l'utilisation de l'analyse globale plastique soit autorisée. L'EN 1993-1-1 a généralisé ces exigences et les a rendues applicables pour l'analyse globale élastique aussi. Elles sont indispensables pour que certaines règles de calcul d'assemblages soient valables. Certaines des nuances d'acier qui sont comprises dans l'EN 1993-1-12 ne satisfont cependant pas à ces exigences. C'est pourquoi elles ont été affaiblies légèrement pour les aciers HLE:

$$f_u/f_y \geq 1,05$$

allongement à la rupture $\leq 10\%$;
 $\epsilon_u \geq 15 f_y / E$

Or, ces exigences réduites entraînent les limitations logiques suivantes pour l'emploi de l'acier HLE: la méthode d'analyse globale plastique ne peut pas être utilisée et les assemblages semi-rigides (comme définis dans le paragraphe 5.1.1 de l'EN 1993-1-8) ne peuvent pas être appliqués. Il convient que l'analyse globale soit faite par une analyse élastique ou par une analyse non linéaire aux éléments finis. Les classes de section transversale 1 et 2 peuvent néanmoins être utilisées.



Voetgangersbrug Bayerstraße, München, DE (2005)
 Ackermann und Partner Architekten -
 Ackermann Ingenieure, München (DE)
 Bogen in buisprofiel S690 CHS 168,3 en 127,9 x 30 mm.

_Passerelle Bayerstraße, München, DE (2005)
 Ackermann und Partner Architekten -
 Ackermann Ingenieure, München (DE)
 Arcs en profils creux S690 CHS 168,3 et 127,9 x 30 mm.



© SSAB Oxelösund

Gelaste verbindingen

Eén manier om het lassen van HSS te vereenvoudigen is het gebruik van laselektroden die een kleinere sterkte hebben dan het basismateriaal. De aldus verkregen lassen zijn immers ductiel en minder scheur-gevoelig. EN 1993-1-8 laat een dergelijke werkwijze in het algemeen echter niet toe. EN 1993-1-12 laat ze echter wel toe voor HSS, waarbij de sterkte van de las dan bepaald is door de sterkte van de elektrode en niet door die van het basismateriaal. Proeven hebben overigens aangetoond dat de ontwerpregel (4.1) van EN 1993-1-8

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$$

voor HSS in zo'n geval eigenlijk zou kunnen herschreven worden als

$$[\sigma_{\perp}^2 + 2\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2]^{0,5} \leq (f_u + f_{eu}) / 2(\beta_w \gamma_{M2})$$

met $\beta_w = 1,0$ en f_{eu} de treksterkte van de laselektrode.

sterkteklasse van de elektrode	35	42	55	62	69
treksterke f_{eu} (N/mm ²)	440	500	640	700	770

Die aangepaste regel is nog niet algemeen aanvaard maar geeft toch aan dat de vermelde aanpak conservatief en dus veilig is.

Boutverbindingen

Wat betreft de stuikweerstand van bouten en de weerstand tegen uitscheuren van boutgroepen, (zie bepalingen 3.6.1 en 3.10.2 van EN 1993-1-8), hebben proeven aangetoond dat de regels in EN 1993-1-8 veilig zijn en dat het bezwijkgedrag nog steeds ductiel kan worden genoemd.

Uitvoerig onderzoek heeft aangegeven dat de weerstand van aan trek onderworpen nettodoorsneden van HSS gelijk is aan $f_u A_{net}$ en dat de vervorming bij breuk heel gering is. Dit zal altijd zo zijn wanneer $f_u A_{net} < f_y A_{gross}$, ook voor lagedergeteststaal. Het enige verschil is dat lagedergeteststaal minder gevoelig is voor grote gaten dan HSS. In EN 1993-1-1 is de rekenregel (6.7) voor de toetsing van nettodoorsneden zeer conservatief gegeven als:

$$N_{Rd,net} = 0,9 f_u A_{net} / \gamma_{M2}$$

Assemblages soudés

Une méthode pour faciliter le soudage des aciers HLE consiste à utiliser des électrodes qui ont des caractéristiques inférieures à celles de la matière de base. Les soudures ainsi obtenues sont après tout plus ductiles et moins sensibles à des fissurations. En général, cette méthode n'est cependant pas admise par l'EN 1993-1-8. Elle est pourtant bien autorisée par l'EN 1993-1-12 pour les aciers HLE. Dans ce cas, il convient de déterminer la résistance de la soudure à partir de celle de l'électrode et pas de la matière de base. Des essais ont d'ailleurs démontré que la règle de calcul (4.1) de l'EN 1993-1-8

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$$

pourrait être remaniée pour les aciers HLE dans un tel cas par

$$[\sigma_{\perp}^2 + 2\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2]^{0,5} \leq (f_u + f_{eu}) / 2(\beta_w \gamma_{M2})$$

avec $\beta_w = 1,0$ et f_{eu} la résistance à la rupture des électrodes.

classe de résistance de l'électrode	35	42	55	62	69
résistance à la rupture f_{eu} (N/mm ²)	440	500	640	700	770

Cette règle modifiée n'est pas encore communément admise mais indique quand même que l'approche indiquée est conservatrice et donc sans danger.

Assemblages boulonnés

En ce qui concerne la pression diamétrale des boulons et la résistance contre le cisaillement en bloc d'un groupe de boulons (voir paragraphes 3.6.1 et 3.10.2 de l'EN 1993-1-8), des essais ont démontré que les règles de calcul de l'EN 1993-1-8 sont du côté sûr et que le comportement de ruine peut encore être classifié comme ductile.

De nombreuses recherches ont indiqué que, pour l'acier HLE, la résistance à la traction d'une section transversale nette (= au droit des trous de fixations) est égale à $f_u A_{net}$ et que la déformation à la rupture est minimale. Ce sera toujours le cas quand $f_u A_{net} < f_y A_{gross}$, aussi bien que pour les aciers normaux. La seule différence réside dans le fait que les aciers normaux sont moins sensibles pour de grands trous que les aciers HLE. Dans l'EN 1993-1-1, la règle (6.7) pour le calcul de la résistance des sections nettes est donnée de manière très conservatrice comme suit:

Deze regel levert echter te kleine waarden op voor HSS. Daarom vermeldt EN 1993-1-12 dat de weerstand voor HSS niet kleiner moet zijn dan

$$f_y A_{net} / \gamma_{M0}$$

Instabiliteit

Verskillende studies hebben uitgewezen dat HSS op z'n minst even goed scoort als gewoon constructie- staal. Het blijkt bijvoorbeeld dat het effect van initiële imperfecties kleiner is wegens de hogere vloeigrens. De eigenspanningen vertegenwoordigen immers een kleinere fractie van de vloeigrens. De normale ontwerpregels kunnen dan ook worden gebruikt. De hogere knikkrommes die van toepassing zijn voor staal S460 mogen ook voor HSS worden toegepast.

Vermoeiing

De vermoeiingssterkte van een staalconstructie is in het algemeen onafhankelijk van de staalsoort. Daarom zijn voor HSS ook de ontwerpregels van EN 1993-1-9 ongewijzigd geldig. Het gebruik van HSS geeft, door de lichtere constructies die er het resultaat van zijn, echter aanleiding tot een grotere verhouding tussen de veranderlijke (vermoeiings)belasting en de permanente belasting.

Het vermoeiingsspanningsinterval kan daarom groter zijn. Het is daarom nodig, vooral bij gelaste constructies, meer aandacht te besteden aan het vermoeiingsontwerp [3]. Indien constructiedetails niet aan de toetsingscriteria voldoen kan een oplossing bestaan in:

- het wijzigen van het detail of het verplaatsen ervan naar een doorsnede met een kleiner spanningsniveau;
- het aanwenden van betere lasprocessen of beter vakmanschap;
- het aanwenden van methoden die het vermoeiingsgedrag van de las verbeteren, bijvoorbeeld door stralen, slijpen, hameren of *TIG dressing*.

Lassen

Algemene aanbevelingen voor het lassen van TM- en QT-staal zijn gegeven in EN 1011-2 [2]. Door het hoog gehalte aan legeringselementen en het daarmee

$$N_{Rd,net} = 0,9 f_u A_{net} / \gamma_{M2}$$

Cette règle produit pourtant des valeurs trop petites pour l'acier HLE. C'est pourquoi l'EN 1993-1-12 mentionne que la résistance d'un acier HLE ne doit pas être inférieure à $f_y A_{net} / \gamma_{M0}$

Instabilité

Diverses recherches ont démontré que le comportement d'un acier HLE est au moins aussi bon que celui d'un acier de construction normal. En effet, il semble que les effets des imperfections initiales soient plus petits grâce à la limite élastique plus grande. Les contraintes résiduelles représentent après tout une fraction plus petite de la limite élastique. Les règles de calcul normales peuvent donc être utilisées. Les courbes de flambement applicables pour les aciers S460 peuvent aussi être utilisées pour les aciers HLE.

Fatigue

La résistance à la fatigue d'une structure en acier est, en général, indépendante de la nuance d'acier. C'est pourquoi les règles de calcul de l'EN 1993-1-9 sont aussi valables pour les aciers HLE. L'utilisation d'un acier HLE donne néanmoins, et par le fait que les structures sont plus légères, lieu à une proportion plus grande entre la charge de fatigue mobile et les charges permanentes.

Il en résulte que l'étendue de contrainte en fatigue peut être plus importante. Il est donc nécessaire, et surtout pour des structures soudées, de faire plus attention à la fatigue lors de la conception [3]. Si certains détails de construction ne satisfont pas aux critères de contrôle, une solution peut être trouvée dans:

- la modification du détail ou le déplacement du détail vers une section moins chargée;
- l'utilisation de meilleurs procédés de soudage ou une meilleure maîtrise;
- l'utilisation de méthodes qui améliorent le comportement de la soudure en fatigue, comme le grenailage, le meulage, ou par marteau-piqueur ou soudage TIG.

Soudabilité

Des recommandations générales pour le soudage des aciers TM et QT sont données dans l'EN 1011-2 [2]. Le soudage des aciers QT demande une atten-





Forum Sony Center, Berlin, DE (2000) - Murphy/Jahn Architects, Chicago (US), Ove Arup & Partner, New York (US)
 Elliptische structuur (102 x 77 m), verankeringsplaten trekkers in S690 QL1
 _Charpente elliptique (102 x 77 m) - ancrages des tirants en S690 QL1



Sony Center Esplanade Residence - Building F, Berlin, DE (2000) - Murphy/Jahn Architects, Chicago (US)
 Gebouw met hangstructuur - eindknoop in S690 QL1
 _Immeuble à structure suspendue - noeuds d'extrémité en S690 QL1

verbonden hoge equivalente koolstofgehalte vergt het lassen van QT-staal bijzondere aandacht [4]. Aanbevolen wordt om de staalproducent te contacteren met het oog op verdere gedetailleerde informatie. Dit is absoluut noodzakelijk omdat elke staalproducent zijn eigen legeringsstrategie heeft en de beschikbare QT-staalsoorten daarom niet allemaal gelijk zijn. QT-staal zal in het algemeen moeten voorverwarmd worden. Daarbij is de warmtetoevoer nauwkeurig te bepalen. Een te lage warmtetoevoer zal de hardheid verhogen met kans op koudscheurvorming terwijl een te hoge warmtetoevoer de taaiheid verlaagt.

Indien gelast wordt met elektroden met dezelfde weerstand als het HSS-basismateriaal, dan dient in elk geval het waterstofgehalte van de elektrode met zorg te zijn gekozen om waterstofbroosheid tegen te gaan.

In het algemeen moet elke warmtebehandeling (branden, rechten, vuurverzinken) nauwkeurig worden onderzocht.

Besluit

Hogesterktestaal is tot nu toe hoofdzakelijk aangewend in de machine- en voertuigbouw. EN 1993-1-12 maakt het mogelijk om nu ook constructies te ontwerpen en te bouwen met hogesterktestaal tot S700 en dit binnen het normenkader van de Eurocode.

Literatuur

- [1] W. HOECKMAN, "De nieuwe productnormen voor constructiestaal", staal_acier nr. 8, september 2005, blz. 42-47
- [2] EN 1011-2, "Lassen – Aanbevelingen voor het lassen van metalen – Deel 2 : Booglassen van ferritische staalsoorten", CEN, Brussel, 2001
- [3] A. NUSSBAUMER, G. SEDLACEK, "High-Performance Steels in Europe: Improving the Fatigue Resistance", in "Use and Application of High-Performance Steels for Steel Structures", Structural Engineering Documents SED 8, IABSE, Zürich, 2005
- [4] A. SAMUELSSON, F. SCHRÖTER, "High-Performance Steels in Europe: Production Processes, Mechanical and Chemical Properties, Fabrication Properties", in "Use and Application of High-Performance Steels for Steel Structures", Structural Engineering Documents SED 8, IABSE, Zürich, 2005

tion particulière par la haute teneur d'éléments d'alliage et la teneur équivalente en carbone élevée qui en résulte [4]. Il est recommandé de contacter le producteur d'acier pour tout complément d'informations. Ceci est absolument nécessaire puisque chaque producteur a sa propre stratégie d'alliage si bien que les aciers QT disponibles ne sont pas tous égaux. Un acier QT nécessitera un préchauffage. L'apport calorifique est à déterminer avec précision. Un apport trop bas augmentera la dureté avec des risques de fissuration à froid. Un apport trop élevé diminuera la ténacité.

Si le soudage d'un acier QT est effectué en utilisant des électrodes qui ont la même résistance que celle de la matière de base, la teneur d'hydrogène doit en tout cas être soigneusement choisie afin d'éviter la fissuration induite par l'hydrogène.

En général, chaque traitement thermique (oxycoupage, dressage, galvanisation) doit être examiné en détail.

Conclusion

Jusqu'à maintenant, les aciers à (très) haute résistance sont utilisés principalement dans la construction de véhicules et de machines. L'EN 1993-1-12 permet, dans le cadre normatif des Eurocodes, de concevoir et de construire des structures en acier HLE jusqu'à S700.

Bibliographie

- [1] W. HOECKMAN, "Les nouvelles normes de produits pour les aciers de construction", staal_acier nr. 8, septembre 2005, pp. 42-47
- [2] EN 1011-2, "Soudage – Recommandations pour le soudage des matériaux métalliques – Partie 2 : Soudage à l'arc des aciers ferritiques", CEN, Bruxelles, 2001
- [3] A. NUSSBAUMER, G. SEDLACEK, "High-Performance Steels in Europe: Improving the Fatigue Resistance", in "Use and Application of High-Performance Steels for Steel Structures", Structural Engineering Documents SED 8, IABSE, Zürich, 2005
- [4] A. SAMUELSSON, F. SCHRÖTER, "High-Performance Steels in Europe: Production Processes, Mechanical and Chemical Properties, Fabrication Properties", in "Use and Application of High-Performance Steels for Steel Structures", Structural Engineering Documents SED 8, IABSE, Zürich, 2005