

Hoeklassen vs. stompe lassen

Les soudures d'angle vs les soudures bout à bout

Wim HOECKMAN
Directeur Victor Buyck Steel Construction, Eeklo
Docent Vrije Universiteit Brussel

Wim HOECKMAN
Directeur de Victor Buyck Steel Construction, Eeklo
Professeur à la Vrije Universiteit Brussel

Inleiding

Bij gelaste verbindingen heeft de ontwerper de keuze tussen hoeklassen en stompe lassen. Niettegenstaande beide soorten lassen met dezelfde lasprocessen kunnen worden uitgevoerd is er een duidelijk verschil tussen beide. De verschillen situeren zich op het vlak van de berekening (en dus het gedrag), de lasprocedures en de lascontroles. De ontwerper dient er zich van bewust te zijn dat het maken van bepaalde keuzes in het ontwerp een uiteindelijke weerslag zal hebben op de kostprijs. In deze bijdrage, die gebaseerd is op de nieuwe rekenregels prEN 1993-1-8 (nov.2003), worden hoeklassen en stompe lassen met elkaar vergeleken vanuit reken-technisch oogpunt.

Definities

De *hoeklas* wordt vooral gebruikt om constructiedelen te verbinden die loodrecht op elkaar staan (Fig. 1a). Hoeklassen mogen ook gebruikt worden voor het verbinden van onderdelen waarbij de te verbinden oppervlakken een hoek tussen 60° en 120° vormen (Fig. 1b).

Introduction

Pour réaliser un assemblage par soudure, un choix entre la soudure d'angle et la soudure bout à bout est à faire. Bien que ces deux types de soudures fassent appel au même procédé, ils se différencient nettement au niveau du calcul, et donc du comportement, des procédures et des contrôles. Il est donc important de savoir que certains choix faits au stade de la conception pèseront sur le coût final du projet.

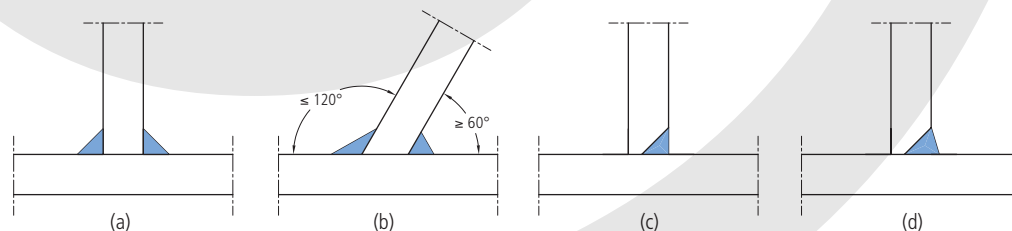
Dans cet article, fondé sur les nouvelles règles de calcul prEN 1993-1-8 (nov. 2003), une comparaison est présentée entre les soudures d'angle et les soudures bout à bout du point de vue du calcul.

Définitions

La *soudure d'angle* sert principalement à assembler des éléments perpendiculaires l'un par rapport à l'autre (Fig. 1a). Elle peut aussi servir à assembler des pièces dont les surfaces de liaison forment un angle compris entre 60° et 120° (Fig. 1b).

Figuur 1: Hoeklassen
(c) verzonken hoeklas
(d) (versterkte) uitgewaaierte verzonken hoeklas

Figure 1: Soudures d'angle
(c) soudure d'angle en pénétration partielle
(d) soudure d'angle en pénétration partielle renforcée

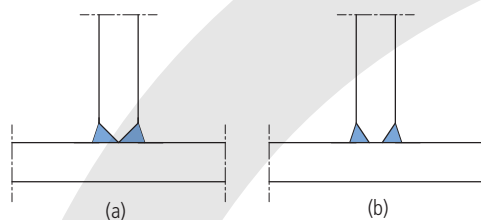


Hoeklassen kunnen enkel- of dubbelzijdig worden uitgevoerd. Ze kunnen doorgaand zijn of onderbroken. Bij enkelzijdige hoeklassen treden veelal lokale buigende momenten op t.g.v. de excentriciteit van de las t.o.v. de hartlijn van de verbonden plaat. Onderbroken hoeklassen moeten bepaalde voorwaarden i.v.m. de tussenafstanden respecteren. Die aspecten zijn hier verder buiten beschouwing gelaten.

Een *stompe las zonder spleet* is gedefinieerd als een stompe las waarbij over de gehele dikte van de verbinding het lasmateriaal en het moedermateriaal

Les soudures d'angle peuvent consister en des cordons d'angle uniques (c'est-à-dire d'un côté) ou de deux côtés et peuvent être continues ou discontinues. Les soudures uniques amènent en général des moments fléchissants locaux en raison de l'excentricité de la soudure par rapport à l'axe de la tôle soudée. Quant aux soudures discontinues, elles doivent respecter certaines conditions au niveau des distances intermédiaires. Ces aspects ne sont pas traités dans la suite de cet article.

Une *soudure bout à bout à pleine pénétration* est définie comme une soudure bout à bout qui présente une pénétration et une fusion complètes des métaux



Figuur 2: Stompe lassen
(a) zonder spleet (b) met spleet

Figure 2: Soudures bout à bout
(a) à pleine pénétration (b) à pénétration partielle

met elkaar verbonden zijn (Fig. 2a). Een *stompe las met spleet* is een stompe las met een gedeeltelijke doorlassing die kleiner is dan de volledige dikte van het moedermateriaal (Fig. 2b).

Hoeklassen kleiner dan 60° zijn toegestaan. In die gevallen behoort de las nochtans te zijn beschouwd als een stompe las met spleet. Dit geldt tevens voor *verzonken hoeklassen* (Fig. 1c en 1d). Voor hoeklassen groter dan 120° schrijft de norm voor dat hun weerstand bepaald moet worden d.m.v. proeven.

Stompe lassen zonder spleet resp. met spleet worden ook (volledige) doorlassingen resp. gedeeltelijke doorlassingen genoemd.

Rekenregels

De rekenwaarde van de weerstand van een stompe las zonder spleet komt overeen met die van het zwakste van de verbonden onderdelen. Uitgangspunt is uiteraard dat de sterkte van het lastoevoegmateriaal minstens gelijk is aan de sterkte van het moedermateriaal. In de praktijk is de minimumsterkte van het neergesmolten lastoevoegmateriaal hoger dan dat van het moedermateriaal, wat inhoudt dat de las op zich niet maatgevend is voor de sterkte van de verbinding. Dergelijke lassen behoren dus niet specifiek te worden getoetst.

Een verbinding d.m.v. hoeklassen wordt gekenmerkt door de *laslengte* ℓ en de dikte van de *keeldoorsnede* a (Fig. 3).

De *effectieve lengte* van een hoeklas ℓ is gelijk aan de lengte waarover de hoeklas de volledige lasdikte vertoont. Ze mag gelijkgesteld zijn aan de volledige lengte van de las verminderd met tweemaal de effectieve keeldoorsnede a . Indien de las de volledige lasdikte vertoont over haar volledige lengte met inbegrip van het begin en het einde van de las, is het niet nodig om die reductie toe te passen. Om belasting te mogen opnemen moet een hoeklas minstens 30 mm of 6 maal zijn keeldoorsnede lang zijn.

De effectieve keeldoorsnede a van een hoeklas is gelijk aan de hoogte van de grootste ingeschreven (gelijk- of ongelijkbenige) driehoek tussen de hechtingsvlakken en het oppervlak van de las, gemeten loodrecht op de zijde van deze driehoek die correspondeert met de buitenkant van de las (Fig. 4a). De effectieve keeldoorsnede van een hoeklas mag niet kleiner zijn dan 3 mm. Bij de bepaling van de rekenwaarde van de weerstand van een hoeklas met diepe

d'apport et de base sur la totalité de l'épaisseur du joint (Fig. 2a). Une *soudure bout à bout à pénétration partielle* présente une pénétration inférieure à la totalité de l'épaisseur du métal de base (Fig. 2b).

Les soudures d'angle sont également autorisées lorsque l'angle entre les faces de liaison à souder est inférieur à 60° .

Dans ces configurations, la soudure sera cependant considérée comme une soudure bout à bout à pénétration partielle. (Fig. 1c et 1d).

Pour les soudures d'angle supérieures à 120° , leur résistance doit être déterminée sur la base d'essais.

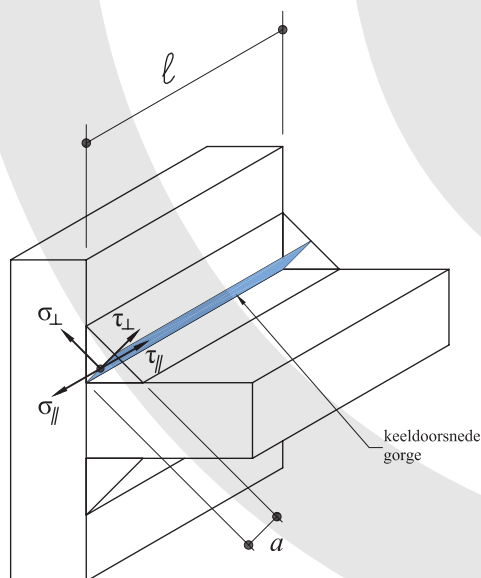
Règles de calcul

La résistance de calcul d'une soudure bout à bout à pleine pénétration correspond à celle de la pièce à souder la plus faible. Le principe est que la résistance du métal d'apport doit être au moins égale à celle du métal de base. Dans la pratique, la résistance minimale du métal d'apport est supérieure à celle du métal de base, ce qui implique que la soudure proprement dite ne détermine pas la résistance de l'assemblage. Ces soudures ne doivent donc pas être calculées spécifiquement.

Un assemblage réalisé avec des soudures d'angle est caractérisé par la *longueur de la soudure* ℓ et par la *gorge* a (Fig. 3).

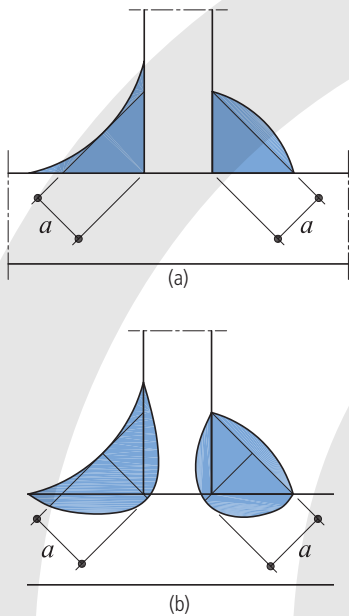
La *longueur efficace* d'une soudure d'angle ℓ est égale à la longueur sur laquelle la soudure possède sa pleine épaisseur. Elle peut être prise comme la longueur totale de la soudure réduite de deux fois la gorge utile a . Si la soudure possède sa pleine épaisseur sur toute sa longueur, y compris ses extrémités, il n'est pas nécessaire d'appliquer cette réduction. Pour pouvoir supporter un effort, une soudure d'angle doit avoir une longueur d'au moins 30 mm ou de six fois son épaisseur de gorge.

La gorge utile a d'une soudure d'angle est prise égale à la hauteur du plus grand triangle (à côtés égaux ou inégaux) pouvant s'inscrire à l'intérieur des faces à souder et de la surface de la soudure, mesurée perpendiculairement au côté extérieur de ce triangle (Fig. 4a). La gorge utile d'une soudure d'angle ne doit pas être inférieure à 3 mm. La détermination de la résistance d'une soudure d'angle à forte pénétration peut tenir compte de l'augmentation de la gorge à



Figuur 3: Spanningen in de keeldoorsnede van (hoek)lassen

Figure 3: Contraintes dans la section de gorge d'une soudure d'angle



Figuur 4: Definitie van de keeldoorsnede van hoeklassen met al dan niet diepe inbranding

Figure 4: Définition de la gorge de soudures d'angle avec ou sans forte pénétration

inbranding mag de extra lasdikte in rekening zijn gebracht, mits voorafgaande procedureproeven aantonen dat de vereiste inbranding stelselmatig kan bereikt worden (Fig. 4b).

Stompe lassen met spleet moeten berekend worden als hoeklassen met diepe inbranding.

Bij de berekening wordt aangenomen dat de spanningsverdeling in de keeldoorsnede van de las gelijkmatig is, wat leidt tot normaal- en schuifspanningen die in Fig. 3 zijn voorgesteld, en wel als volgt :

- σ_{\perp} is de normaalspanning loodrecht op het vlak van de keeldoorsnede
- σ_{\parallel} is de normaalspanning evenwijdig met de lengte-as van de las
- τ_{\perp} is de schuifspanning (in het vlak van de keeldoorsnede) loodrecht op de lengte-as van de las
- τ_{\parallel} is de schuifspanning (in het vlak van de keeldoorsnede) evenwijdig aan de lengte-as van de las

Voor hoeklassen moeten beide volgende voorwaarden worden getoetst :

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} \quad (1)$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad (2)$$

waarin :

- f_u de nominale treksterkte van het zwakste verbonden onderdeel
- γ_{M2} de partiële veiligheidsfactor ($\gamma_{M2} = 1,25$)
- β_w de correlatiefactor:
 - $\beta_w = 0,80$ voor de staalsoort S235
 - $\beta_w = 0,85$ voor de staalsoort S275
 - $\beta_w = 0,90$ voor de staalsoort S355
 - $\beta_w = 1,00$ voor de staalsoorten S420 en S460

où:

- f_u la résistance nominale ultime de la pièce assemblée la plus faible
- γ_{M2} le facteur de sécurité partiel ($\gamma_{M2} = 1,25$)
- β_w le facteur de corrélation:
 - $\beta_w = 0,80$ pour la nuance d'acier S235
 - $\beta_w = 0,85$ pour la nuance d'acier S275
 - $\beta_w = 0,90$ pour la nuance d'acier S355
 - $\beta_w = 1,00$ pour les nuances d'acier S420 et S460

De eerste toetsingsregel gaat uit van het vloeicriterium van Hüber-Hencky-von Mises. De normaalspanning σ_{\parallel} mag verwaarloosd worden en komt in de toetsingsregels dan ook niet (meer) voor. De doorsnede van de las is immers relatief klein t.o.v. de doorsnede van de verbonden onderdelen. Bij het vloeien van de las kan de kracht in de las ($= A_{\text{las}} \cdot \sigma_{\parallel}$) gemakkelijk opgenomen worden door het moedermateriaal in de omgeving van de las.

Tenslotte mag, bij T-verbindingen, de rekenwaarde van de weerstand van stompe lassen met (kleine)

condition que des essais préliminaires montrent que la pénétration nécessaire peut être effectivement réalisée (Fig. 4b).

Les soudures bout à bout à pénétration partielle doivent être calculées comme des soudures d'angle avec forte pénétration.

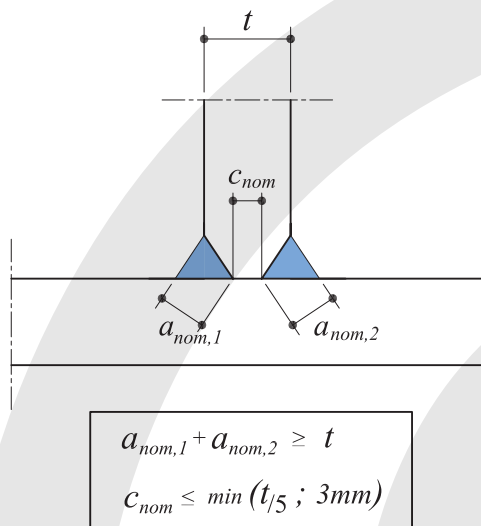
Le calcul part de l'hypothèse que la distribution des contraintes dans la section de gorge de la soudure est uniforme, ce qui conduit à des contraintes normales et aux contraintes de cisaillement représentées dans la Fig. 3:

- σ_{\perp} est la contrainte normale perpendiculaire à la gorge
- σ_{\parallel} est la contrainte normale parallèle à l'axe de la soudure
- τ_{\perp} est la contrainte tangente (dans le plan de la gorge) perpendiculaire à l'axe de la soudure
- τ_{\parallel} est la contrainte tangente (dans le plan de la gorge) parallèle à l'axe de la soudure

Pour les soudures d'angle, les deux conditions suivantes doivent être vérifiées:

La première règle de vérification repose sur le critère de Hüber-Hencky-von Mises. La contrainte normale σ_{\parallel} peut être ignorée et n'est plus prise en considération dans les règles de calculs. La section de la gorge de la soudure est en effet relativement petite par rapport à celle des pièces assemblées. Lors de l'écoulement de la soudure, l'effort dans la soudure ($= A_{\text{las}} \cdot \sigma_{\parallel}$) peut être repris facilement par le métal de base.

Enfin, dans les assemblages bout à bout en T, la résistance des soudures bout à bout à (grande) pénétration partielle



Figuur 5: Statisch belaste stompe lassen met (kleine) spleet zijn (rekentechnisch) gelijk aan stompe lassen zonder spleet

Figure 5: En termes de calcul, les soudures bout à bout à (grande) pénétration partielle renforcées, sollicitées de manière statique, sont équivalentes à celles à pleine pénétration

spleet (versterkt met hoeklassen) gelijkgesteld zijn aan die van stompe lassen zonder spleet indien de totale nominale keeldikte, zonder de niet-gelaste spleet, niet kleiner is dan de dikte t van het element dat aangesloten is en mits de niet-gelaste spleet niet groter is dan de kleinste waarde van $t/5$ of 3 mm, zie Fig. 5.

Voor statisch belaste constructies bestaat er rekentechnisch dus in die gevallen geen verschil tussen een stompe las zonder spleet en een stompe las met kleine spleet.

Voor stompe lassen met (grote) spleet die niet voldoen aan bovenvermelde eisen gelden de rekenregels voor hoeklassen, al dan niet met diepe inbranding.

De keeldikte behoort te zijn bepaald overeenkomstig de bepalingen voor hoeklassen en stompe lassen met spleet. Voor hoeklassen geldt dat alle belastingsgevallen op de één of andere manier te herleiden zijn tot één van de twee in de tabel vermelde basisgevallen.

renforcées par des soudures d'angle, peut être déterminée comme pour des soudures bout à bout à pleine pénétration si l'épaisseur de gorge nominale totale, excluant le talon non soudé, n'est pas inférieure à l'épaisseur t de la pièce formant l'âme de l'assemblage en T, et à condition que le talon non soudé ne soit pas supérieur à la plus petite de ces deux valeurs $t/5$ ou 3 mm (Fig. 5). Dans ces circonstances, il n'existe donc, en termes de calcul et pour des soudures non sollicitées à la fatigue, aucune différence entre une soudure bout à bout à pleine pénétration et une soudure bout à bout à (grande) pénétration partielle renforcée. Pour les soudures bout à bout à (petite) pénétration partielle qui ne répondent pas aux conditions susmentionnées, les règles de calcul qui s'appliquent sont celle valables pour les soudures d'angle avec ou sans forte pénétration. L'épaisseur de la gorge doit être déterminée suivant les règles de calcul valables pour les soudures d'angle et les soudures bout à bout à pénétration partielle. Pour les soudures d'angle, tous les cas de charge peuvent être ramenés à un des deux cas de base mentionnés dans le tableau ci-après.

Tabel : Basisgevallen voor de berekening van hoeklassen_ Tableau: Cas de base pour le calcul des soudures d'angle

| basisgeval _cas de base | optredende spanningen _contraintes |
|--|---|
| 1: (dubbelzijdige) zijlas_ cordons latéraux de deux côtés | $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$ $\tau_{//} = 0,5 F_{Ed} / a \ell$ $(\ell \leq 150a)$ $\sigma_{eq} = 0,866 F_{Ed} / a \ell$ |
| 2: (dubbelzijdige) koplasp_ cordons frontaux de deux côtés | $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,354 F_{Ed} / a \ell$ $\tau_{//} = 0$ $\sigma_{eq} = 0,707 F_{Ed} / a \ell$ |

Opmerking : Voor enkelzijdige zij- en koplappen de vermelde spanningen verdubbelen en eventueel rekening houden met lokale excentriciteiten. _Remarque: pour des cordons d'angle uniques, les contraintes indiquées doivent être multipliées par deux et il convient d'éventuellement tenir compte des effets d'excentricité.

Rekenvoorbeeld

Vraag:

Een aan een constructie gelast hijszoog (staalsoort : S355) wordt schuin en excentrisch belast met een kracht $F_{Ed} = 700$ kN (Fig. 6).

Voldoet een dubbele hoeklas $a = 2 \times 5$ mm ?

Antwoord:

De uitwendige belasting F_{Ed} veroorzaakt volgende belastingcomponenten op de las:

- (1) $H = F_{Ed} \cos 50^\circ = 450,0$ kN
- (2) $V = F_{Ed} \sin 50^\circ = 536,2$ kN
- (3) $M = F_{Ed} \cdot 10 \text{ cm} = 7.000$ kNcm

Volgende spanningen treden in de las op :

- (1) $H = 450,0$ kN veroorzaakt – via basisgeval 1 :
 $\tau_{\parallel} = 0,5 \cdot 450,0 / (0,5 \cdot 50) = 9,0$ kN/cm²
- (2) $V = 536,2$ kN veroorzaakt – via basisgeval 2 :
 $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,354 \cdot 536,2 / (0,5 \cdot 50) = 7,6$ kN/cm²
- (3) $M = 7.000$ kNcm veroorzaakt – via een herleiding naar basisgeval 2 :
 $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,354 \cdot (7.000 / (50^2 \cdot 0,5/6)) = 11,9$ kN/cm²

Spanningscontrole in punt 1 van de las :

$$\sigma_{\perp, tot} = \tau_{\perp, tot} = 7,6 + 11,9 = 19,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\parallel, tot} = 9,0 \text{ kN/cm}^2$$

Toetsing volgens (1) leert dat

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = 42,0 \text{ kN/cm}^2 \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) = 51 / (0,9 \cdot 1,25) = 45,3 \text{ kN/cm}^2$$

wat betekent dat de lassen voldoen.

Opmerking

EN1993-1-8 laat, als alternatieve werkwijze, ook een vereenvoudigde toetsing toe. Die komt erop neer dat σ_{eq} verkregen wordt door de kracht die op de las aangrijpt te delen door de volledige oppervlakte van de las, onafhankelijk van de richting van de kracht :

$$\sigma_{eq} = \frac{\sqrt{3} F_{Ed}}{a l} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

Exemple de calcul

Question:

Une oreille de levage (nuance d'acier : S355) soudée à une construction subit un effort oblique et excentrique $F_{Ed} = 700$ kN (Fig. 6).

Une double soudure d'angle $a = 2 \times 5$ mm suffit-elle?

Réponse:

L'effort externe F_{Ed} entraîne les composantes suivantes sur la soudure:

- (1) $H = F_{Ed} \cos 50^\circ = 450,0$ kN
- (2) $V = F_{Ed} \sin 50^\circ = 536,2$ kN
- (3) $M = F_{Ed} \cdot 10 \text{ cm} = 7.000$ kNcm

La soudure est soumise aux contraintes suivantes:

- (1) $H = 450,0$ kN provoque - via cas de base 1 :
 $\tau_{\parallel} = 0,5 \cdot 450,0 / (0,5 \cdot 50) = 9,0$ kN/cm²
- (2) $V = 536,2$ kN provoque - via cas de base 2 :
 $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,354 \cdot 536,2 / (0,5 \cdot 50) = 7,6$ kN/cm²
- (3) $M = 7.000$ kNcm provoque - via une conversion au cas de base 2 :
 $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0,354 \cdot (7.000 / (50^2 \cdot 0,5/6)) = 11,9$ kN/cm²

Vérification des contraintes au point 1 de la soudure :

$$\sigma_{\perp, tot} = \tau_{\perp, tot} = 7,6 + 11,9 = 19,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\parallel, tot} = 9,0 \text{ kN/cm}^2$$

La vérification suivant (1) montre que

ce qui signifie que les soudures sont suffisantes.

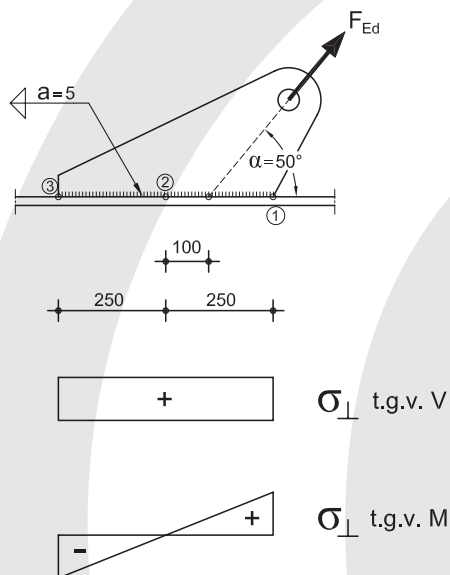
Remarque

La norme EN1993-1-8 permet une vérification alternative simplifiée. Elle consiste à obtenir la valeur σ_{eq} en divisant l'effort agissant sur la soudure par la section totale de celle-ci, indépendamment de la direction de cet effort.

(a vervangen door 2a bij dubbelzijdige hoeklassen)

(dans les soudures d'angle de deux côtés, a est remplacé par 2a)

(3)



Figuur 6: Rekenvoorbeeld

Figure 6: Exemple de calcul

Deze regel gaat er impliciet van uit dat normaal- en schuifspanningen zonder meer vectorieel bij elkaar mogen worden opgeteld, wat uiteraard niet correct is. Deze vereenvoudigde regel levert nooit kleinere lassen op indien de belasting centrisch op de las aangrijpt. In gevallen zoals in het rekenvoorbeeld, waarbij dus wel een excentriciteit aanwezig is, levert deze regel veelal onveilige resultaten op. Daarom is het aanbevolen om deze vereenvoudigde methode niet toe te passen.

Aandachtspunt

Het toetsen van gelaste verbindingen beperkt zich niet tot een nazicht van de spanningen in het lasmateriaal zelf. Ook het naastliggende moedermateriaal moet getoetst worden. Bij hoeklassen leidt dit zelden tot zwaardere lassen maar bij met name verzonken hoeklassen is die laatste toetsing veelal maatgevend. Bij bijv. een als zijlas belaste verzonken hoeklas (basisgeval 1) dient het aanhechtingsvlak tussen de hoeklas en het moedermateriaal (wat dan tevens overeenkomt met de keeldoorsnede van de las) te worden getoetst op afschuiving (volgens prEN 1993-1-1):

$$\tau = \tau_{//} = \frac{F_{Ed}}{a \ell} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{MO}} \quad \begin{array}{l} \text{(a vervangen door 2a bij dubbelzijdige hoeklassen)} \\ \text{(dans les soudures d'angle de deux côtés, a est remplacé par 2a)} \end{array} \quad (4)$$

Hierin stelt f_y de vloeigrens van het moedermateriaal voor. γ_{MO} is veelal gelijk aan 1,0. Vergelijking van (4) met (1) leert onmiddellijk dat (4) in dit geval een veel strengere voorwaarde is. Indien men dan toch verzonken hoeklassen wil gebruiken, bijv. omdat het lasvolume dan de helft lager ligt, kan men bovenvermeld probleem oplossen door de hoeklas te vergroten of door hem lichtjes naar buiten toe uit te waaieren.

Vermoeiing

Bij het ontwerp van constructies die onderhevig zijn aan herhaalde spanningswisselingen, zoals bijv. kraanbanen en bruggen, moet de vermoeiingsweerstand getoetst worden. Voornamelijk de soort las en de lasdetailering kunnen een grote invloed hebben op de vermoeiingslevensduur van de constructie. Verwezen wordt hiervoor naar prEN 1993-1-9.

Cette règle part implicitement du principe que les contraintes normales et de cisaillement peuvent simplement être additionnées vectoriellement, ce qui n'est évidemment pas correct. Cette règle simplifiée ne fournit jamais de soudures plus petites si la contrainte s'exerce de manière centrale sur elle. Dans les cas de l'exemple, où une excentricité est clairement présente, elle fournit en général de résultats incertains et donc dangereux. C'est la raison pour laquelle il est recommandé de ne pas utiliser cette méthode.

Point d'attention

La vérification des joints soudés ne se limite pas à la vérification des contraintes dans la soudure proprement dite. Il faut également vérifier le métal de base. Pour des soudures d'angle, cette vérification conduit rarement à une augmentation de la section de la soudure, mais dans le cas de soudures d'angle en pénétration partielle, elle est souvent déterminante. Dans le cas, par exemple, d'une soudure d'angle en pénétration partielle sollicitée de manière latérale (cas de base 1), la face de fusion ou d'adhérence entre la soudure et le métal de base (qui correspond dans ce cas avec la gorge de la soudure) doit être vérifiée en cisaillement (suivant prEN 1993-1-1):

Ici, f_y représente la limite élastique du métal de base. γ_{MO} est en général égal à 1,0. La comparaison entre (4) et (1) montre immédiatement que (4) représente une condition beaucoup plus stricte. Si on veut tout de même utiliser une soudure d'angle en pénétration partielle, par exemple parce que le volume de soudure est réduit de moitié, on peut résoudre le problème en augmentant la soudure d'angle ou en la renforçant vers l'extérieur.

Fatigue

Dans les constructions soumises à des variations de contraintes répétées, comme les chemins de roulement de grues et les ponts, il faut vérifier la résistance à la fatigue. Ce sont essentiellement le type et le détail de la soudure qui déterminent la durée de vie en fatigue de la construction. Voir prEN 1993-1-9.

Eindbeschouwing

Voor een zelfde lasvolume is de kostprijs van stompe lassen zonder spleet altijd duurder dan die van hoeklassen of stompe lassen met spleet.

Dit is te wijten aan de lasvoorbereidingen, de andere lasprocedures, de bijkomende werkzaamheden (bijv. uitgutsen van de laswortel) en het grotere aantal lascontroles (met de daaraan gekoppelde eventuele lasherstellingen).

Het verschil in kostprijs kan oplopen tot een factor 3 tot 5. Bij al te veel ontwerpen en uitvoeringsdetails wordt nochtans vastgesteld dat de ontwerper, enigszins gemakshalve, stompe lassen zonder spleet voorschrijft, ook in gevallen waar hoeklassen of stompe lassen met (al dan niet kleine) spleet een volstrekt gelijkwaardig alternatief bieden.

Die keuze is nog steeds veelal te wijten aan een bepaalde schrik (en dus een gebrek aan kennis of ervaring) van de ontwerper dat hoeklassen minder veilig of minderwaardig zouden zijn dan stompe lassen zonder spleet.

Niet vreemd daarbij is uiteraard ook dat stompe lassen zonder spleet geen berekening vergen en hoeklassen en stompe lassen met spleet wel.

Hierboven is voldoende aangetoond dat, in gevallen waar geen vermoeiing optreedt, er zelden of nooit redenen zijn om lassen niet uit te voeren als hoeklas of stompe las met spleet.

Indien de ontwerper voor statisch belaste constructies toch een stompe las zonder spleet verkiest, dan vermeldt prEN 1993-1-8 expliciet dat stompe lassen met kleine spleet rekentechnisch daaraan mogen worden gelijkgesteld.

Conclusion

Pour un même volume de soudure, le coût d'une soudure bout à bout à pleine pénétration sera toujours supérieur à celui d'une soudure d'angle ou d'une soudure bout à bout à pénétration partielle. Cela s'explique par les préparatifs et les procédures de la soudure, par les travaux supplémentaires nécessaires comme par exemple le gougeage de la racine de soudure ainsi que par le plus grand nombre de contrôles à effectuer, avec donc une plus grande probabilité de devoir effectuer des rectifications. Cette différence de coût peut aller du triple voire au quintuple. Néanmoins, dans un nombre de projets, sont prescrites, un peu par facilité, des soudures bout à bout à pleine pénétration, et ce même dans les cas où des soudures d'angle ou des soudures bout à bout à pénétration partielle constituent une solution parfaitement équivalente. Ce choix peut souvent encore être ramené à une certaine crainte, imputable à un manque de connaissances ou d'expérience du concepteur, que les soudures d'angle soient moins fiables ou de moindre qualité que les soudures bout à bout à pleine pénétration. A cela s'ajoute le fait que ces soudures ne demandent pas de calcul, contrairement aux soudures d'angle ou aux soudures bout à bout à pénétration partielle. Comme il a été démontré à suffisance ci-dessus, dans les cas où la fatigue n'intervient pas, il n'y a pas, ou rarement, de raison de ne pas pratiquer de soudure d'angle ou de soudure bout à bout à pénétration partielle. Si, dans les constructions sollicitées de manière statique, le concepteur opte néanmoins pour une soudure bout à bout à pleine pénétration, il est utile de rappeler que la norme prEN 1993-1-8 stipule explicitement que, en termes de calcul, une soudure bout à bout à (grande) pénétration partielle renforcée est considérée comme équivalente.

Figuur 7: In vele gevallen kunnen stompe lassen vervangen worden door hoeklassen.

Figure 7: Dans de nombreux cas, les soudures bout à bout peuvent être remplacées par des soudures d'angle.

