**Norme européenne EN 1090-2 intitulé :** Exécutions des structures en acier et des structures en aluminium - Partie 2 : Exigences techniques pour les structures en acier (*Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel Structures*) de juillet 2002, éditée par le comité européen de normalisation CEN

**Chapitre 7 - Soudage**

**7.1 Généralités**

Le soudage doit être réalisé conformément aux prescriptions de la partie applicable de l'EN ISO 3834 ou de l'EN ISO 14554, selon le cas.

*NOTE* Des lignes directrices pour la mise en œuvre de l'EN ISO 3834 concernant les exigences de qualité relatives au soudage par fusion des matériaux métalliques, sont données dans le CEN/ISO TR 3834-6. [29].

Selon la classe d'exécution, les parties suivantes de l'EN ISO 3834 s'appliquent :

* EXC1 : Partie 4 «Exigences de qualité élémentaire» ;
* EXC2 : Partie 3 «Exigences de qualité normale» ;
* EXC3 et EXC4 : Partie 2 «Exigences de qualité complète».

 Il convient que le soudage à l'arc des aciers ferritiques et des aciers inoxydables soit réalisé en suivant les exigences et les recommandations des EN 1011-1, EN 1011-2, EN 1011-3, telle que modifiées en 7.7.

**7.2 Programme de soudage**

**7.2.1 Exigences relatives à un programme de soudage**

Un programme de soudage doit être fourni comme partie intégrante de la planification de la production requise par la partie applicable de l'EN ISO 3834.

**7.2.2 Contenu d'un programme de soudage**

La mise en œuvre d'un programme de soudage doit inclure, selon le cas :

a) les descriptifs de modes opératoires de soudage, y compris les exigences concernant les produits consommables pour le soudage, tout préchauffage, les températures entre passes ainsi que les exigences relatives à un traitement thermique après soudage ;

b) les mesures à prendre pour éviter toute déformation pendant et après le soudage ;

c) la séquence de soudage avec les restrictions éventuelles ou les emplacements acceptables pour les positions de départ et d'arrêt, y compris les positions intermédiaires de départ et d'arrêt lorsque la géométrie d'assemblage est telle que le soudage ne peut pas être réalisé en continu ;

***NOTE***  Des recommandations relatives aux assemblages de profils creux sont données à l'Annexe E.

d) les exigences concernant les vérifications intermédiaires ;

e) tout retournement d'éléments à effectuer au cours du processus de soudage, en relation avec la séquence de soudage ;

f) les détails de tout bridage à effectuer ;

g) les mesures à prendre pour éviter l’arrachement lamellaire ;

h) l'équipement spécial concernant les produits consommables pour le soudage (basse teneur en hydrogène, conditionnement, etc.) ;

i) la forme du cordon et le fini des soudures pour les aciers inoxydables ;

j) les exigences concernant les critères d'acceptation des soudures conformément au 7.6 ;

k) la correspondance avec le 12.4 pour le plan de contrôle et d'essais ;

l) les exigences concernant l'identification des soudures ;

m) les exigences concernant le traitement des surfaces selon l'article 10.

Lorsque le soudage ou l'assemblage recouvre ou masque des soudures précédentes, une attention particulière doit être portée à la détermination des soudures à exécuter en premier et à l'éventuelle nécessité de procéder à des contrôles/essais de ces soudures avant l'exécution des soudures suivantes ou avant l'assemblage des éléments qui les cachent.

**7.3 Procédés de soudage**

Le soudage peut être réalisé par les procédés de soudage suivants définis dans l'EN ISO 4063.

|  |  |
| --- | --- |
| **Code du procédé**  | **Nom du procédé** |
| 111  | soudage manuel à l'arc (soudage à l'arc avec électrode enrobée) |
| 114 | soudage à l'arc avec fil fourré auto-protecteur |
| 121 | soudage à l'arc sous flux avec un fil-électrode |
| 122 | soudage à l'arc sous flux avec électrode en feuillard  |
| 123 | soudage à l'arc sous flux avec fils-électrodes multiples |
| 124 | soudage à l'arc sous flux avec addition de poudre métallique |
| 125 | soudage à l'arc sous flux avec fil fourré |
| 131 | soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil-électrode fusible ; soudage MIG |
| 135 | soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fusible ; soudage MAG |
| 136 | soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fourré |
| 137 | soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec fil-électrode fourré |
| 141 | soudage à l'arc sous protection de gaz inerte avec électrode de tungstène ; soudage TIG |
| 21 | soudage par résistance par points  |
| 22 | soudage à la molette |
| 23 | soudage par bossages |
| 24 | soudage par étincelage |
| 42 | soudage par friction |
| 52 | soudage laser |
| 783 | soudage à l'arc des goujons par fusion et forgeage avec bague en céramique ou gaz de protection |
| 784 | soudage à l'arc des goujons avec cycle court |

 Les procédés de soudage par résistance 21, 22 et 23 ne doivent être employés que pour exécuter le soudage d'éléments en acier de faible épaisseur. Des informations complémentaires sont données :

* dans l'EN ISO 14373 pour le procédé 21 (soudage par résistance par points),
* dans l'EN ISO 16433 pour le procédé 22 (soudage à la molette),
* dans l'EN ISO 16432 pour le procédé 23 (soudage par bossages).

Le diamètre des soudures par points et par bossages doit être vérifié en cours de production par un essai de pelage ou de déboutonnage au burin conformément à l’EN ISO 10447. Les autres procédés de soudage ne doivent être utilisés que s'ils sont explicitement spécifiés.

**7.4 Qualification des modes opératoires de soudage et du personnel en soudage**

**7.4.1 Qualification des modes opératoires de soudage**

***7.4.1.1 Généralités***

Le soudage doit être réalisé avec des modes opératoires de soudage qualifiés utilisant un descriptif de modes opératoires de soudage (DMOS) selon la partie applicable de l'EN ISO 15609, de l'EN ISO 14555 ou del'ENISO15620, selon le cas. Si spécifiées, les conditions particulières de réalisation des soudures de pointage doivent être incluses dans le DMOS. Les DMOS utilisés pour les assemblages dans des structures en treillis de profils creux doivent définir les zones de départ et d'arrêt, ainsi que la méthode à utiliser pour traiter les endroits où le type de soudure passe d'une soudure d'angle à une soudure bout à bout sur le périmètre du joint.

***7.4.1.2 Qualification des modes opératoires de soudage pour les procédés 111, 114, 12, 13 et 14***

a) La qualification du mode opératoire de soudage dépend de la classe d'exécution, du métal de base et du degré de mécanisation selon le Tableau 12 ;

b) Lorsque des modes opératoires de qualification selon l'EN ISO 15613 ou l'EN ISO 15614-1 sont utilisés, les conditions suivantes s'appliquent :

 1) Si des essais de résistance à la flexion par choc sont spécifiés, ils doivent être réalisés à la plus basse température pour laquelle la norme de la nuance d'acier exige des caractéristiques de résistance à la flexion par choc.

 2) Pour les aciers conformes à l'EN 10025-6, une éprouvette pour contrôle micrographique est requise. Des macrographies du métal fondu, de la zone de la ligne de fusion et de la ZAT doivent être enregistrées. Les microfissures ne sont pas permises.

 3) Dans le cas de soudage sur peintures primaires appliquées en usine, les essais doivent être effectués sur l'épaisseur de couche maximale acceptée (nominale + tolérance).

c) Si une qualification de mode opératoire doit être appliquée à des soudures d'angle soumises à des contraintes transversales sur des nuances d'acier supérieures à S275, l’épreuve doit être complétée par un essai de traction sur un assemblage en croix conformément à l'EN ISO 9018. Seules les éprouvettes où a  ≤ 0,5t  doivent être évaluées. Trois éprouvettes de traction doivent être essayées. Si la rupture se produit dans le métal de base, la résistance nominale minimale à la traction du métal de base doit être atteinte. Si la rupture se produit dans le métal d’apport, la résistance à la rupture de la section transversale de la soudure réelle doit être déterminée. Pour les procédés à forte pénétration, la pénétration réelle à la racine doit être prise en compte. La résistance moyenne à la rupture déterminée doit être ≥ 0,8 Rm (où Rm = résistance nominale à la traction du métal de base utilisé).

**Tableau 12** **— Méthodes de qualification des modes opératoires de soudage pour les procédés 111, 114, 12, 13 et 14**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Méthode de qualification  |  | EXC 2 | EXC 3 | EXC 4 |
| Épreuve de qualification d’un mode opératoire de soudage  | EN ISO 15614-1 | X | X | X |
| Qualification sur la base d’un assemblage soudé de pré-production  | EN ISO 15613 | X | X | X |
| Qualification par référence à un mode opératoire de soudage standard | EN ISO 15612 | X a) | -- | -- |
| Qualification sur la base de l’expérience de soudage  | EN ISO 15611 | X b) | -- | -- |
| Produits consommables pour le soudage soumis à essais | EN ISO 15610 |  |  |  |
| X autorisé-- non autorisé |
| a) Seulement pour les matériaux  ≤  S 355 et seulement pour le soudage manuel ou partiellement mécanisé.b) Seulement pour les matériaux  ≤  S 275 et seulement pour le soudage manuel ou partiellement mécanisé. |

***7.4.1.3 Qualification des modes opératoires de soudage pour les autres procédés de soudage***

La qualification des modes opératoires de soudage qui ne sont pas couverts au 7.4.1.2 doit être réalisée conformément au Tableau 13.

**Tableau 13 — Qualification des modes opératoires de soudage pour**

**les procédés 21, 22, 23, 24, 42, 52, 783 et 784**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Procédés de soudage (selon l'EN ISO 4063) | Descriptif du mode opératoire de soudage (DMOS) | Qualification du mode opératoire de soudage  |
| Numéro de référence | Nomenclature |
| 212223 | Soudage par pointsSoudage à la moletteSoudage par bossages  | EN ISO 15609-5 | EN ISO 15612 |
| 24 42 52  | Soudage par étincelageSoudage par frictionSoudage laser | EN ISO 15609-5EN ISO 15620EN ISO 15609-4 | EN ISO 15614-13EN ISO 15620EN ISO 15614-11 |
| 783784 | Soudage à l'arc des goujons par fusion et forgeage avec bague en céramique ou gaz de protection.Soudage à l'arc des goujons avec cycle court | EN ISO 14555 | EN ISO 14555 a) |
| a) Pour EXC2, une qualification du mode opératoire de soudage par référence à l'expérience acquise est autorisée. Pour EXC3 et EXC4, la qualification du mode opératoire de soudage doit être effectuée par une épreuve de qualification du mode opératoire de soudage ou une épreuve de qualification préalable à la production. |

***7.4.1.4 Validité d'une qualification de mode opératoire de soudage***

La validité d'un mode opératoire de soudage dépend des exigences de la norme utilisée pour la qualifi-cation. Si spécifié, les essais de production relatifs au soudage doivent être réalisés conformément à la norme de qualification applicable, par exemple l'EN ISO 14555.

Les essais complémentaires suivants sont requis pour un mode opératoire de soudage qualifié confor-mément à l'EN ISO 15614-1 qui est réalisé à l’aide d’un procédé de soudage qui n'a pas été utilisé :

a) pendant une durée comprise entre un et trois ans, un essai de soudage en production doit être réalisé pour les nuances d'acier supérieures à S355. L'examen et les essais doivent comprendre un contrôle visuel, un contrôle par radiographie ou par ultrasons (non requis pour les soudures d'angle), une détection des fissures de surface par un contrôle de magnétoscopie ou de ressuage, un examen macroscopique et un essai de dureté ;

b) pendant une durée de plus de trois ans,

 1) pour les nuances d'aciers jusqu'à S355 inclus, un contrôle macrographique doit être effectué sur une éprouvette prélevée sur un essai de production afin d'établir son acceptabilité, ou

 2) de nouveaux essais de qualification de mode opératoire de soudage appropriés doivent être réalisés pour les nuances d'acier supérieures S355.

Pour le soudage par résistance, les paramètres de soudage peuvent être déterminés en utilisant les essais selon l’EN ISO 10447.

**7.4.2 Soudeurs et opérateurs soudeurs**

Les soudeurs doivent être qualifiés conformément à l'EN 287-1 et les opérateurs soudeurs conformément à l'EN1418. Le soudage de nœuds en profils creux dont les angles sont inférieurs à 60° doit être qualifié par une épreuve spécifique. Les procès-verbaux de toutes les épreuves de qualification des soudeurs et opérateurs soudeurs doivent être conservés et produits sur demande.

**7.4.3 Coordination en soudage**

Pour les classes d'exécution EXC2, EXC3 et EXC4, une coordination en soudage doit être assurée pendant l'exécution du soudage par des coordinateurs en soudage convenablement qualifiés et expérimentés pour les opérations qu'ils supervisent, selon les prescriptions de l'EN ISO 14731.Selon les opérations de soudage qu'ils supervisent, les coordinateurs en soudage doivent avoir les connaissances techniques selon les Tableaux 14 et 15.

NOTE 1 Les groupes d'acier sont ceux qui sont définis dans l'ISO/TR 15608. La correspondance avec les nuances d'acier et les normes de référence peut être trouvée dans l'ISO/TR 20172.NOTE 2B, S et C correspondent respectivement aux connaissances de base, spécifiques et complètes, comme spécifié dans l'EN ISO 14731.

Tableau 14 — Connaissances techniques des coordinateurs — Aciers de construction au carbone

Tabeau 15 — Connaissances techniques des coordinateurs — Aciers inoxydables

**7.5 Préparation et exécution du soudage**

**7.5.1 Préparation des joints**

***7.5.1.1 Généralités***

La préparation des joints doit être appropriée au procédé de soudage. Lorsque la qualification des modes opératoires de soudage est réalisée selon l'EN ISO 15614-1, l'EN ISO 15612 ou l'EN ISO 15613, la préparation des joints doit être conforme au type de préparation utilisé lors de l'épreuve de qualification du mode opératoire de soudage. Les tolérances pour les préparations des joints et leur ajustage doivent être données dans les DMOS.

***NOTE 1*** Les EN ISO 9692-1 et EN ISO 9692-2 donnent un certain nombre de détails recommandés concernant la préparation des joints soudés. Pour les détails concernant la préparation des joints soudés des tabliers de ponts, voir l'Annexe C de l'EN 1993-2 : 2005.

La préparation des joints doit être exempte de toutes fissures visibles. Pour les nuances d'acier supérieures à S640, les zones de coupe doivent être décalaminées par meulage et l'absence de fissures doit être vérifiée par un contrôle visuel, par ressuage ou par magnétoscopie. Les fissures visibles doivent être éliminées par meulages et la géométrie du joint doit être corrigée si nécessaire.

Lorsque des entailles de grandes dimensions ou autres défauts dans la géométrie du joint sont corrigés par rechargement, un mode opératoire qualifié doit être utilisé, et les surfaces rechargées doivent ensuite être lissées et égalisées à la meule de façon à rattraper la surface adjacente.

Toutes les surfaces à souder doivent être sèches et exemptes de toute substance susceptible d'altérer la qualité dessoudures ou de perturber les opérations de soudage (rouille, matériau organique ou couche de zinc).

Les peintures primaires appliquées en usine peuvent être laissées sur les bords à souder uniquement si elles n'ont pas d'effet préjudiciable sur le déroulement du soudage. Pour les classes d'exécution EXC3 et EXC4, les peintures primaires appliquées en usine ne doivent pas être laissées sur les bords à souder, à moins que des essais de modes opératoires de soudage selon l'EN ISO 15614-1 ou l'EN ISO 15613 aient été réalisés avec de telles peintures primaires appliquées en usine.

***NOTE 2*** L'EN ISO 17652-2 décrit des essais permettant d'évaluer l'influence sur la soudabilité des peintures primaires appliquées en usine.

***7.5.1.2 Profils creux***

La découpe de profils creux circulaires utilisés comme éléments de nœud avec assemblage par soudure d’angle peut être réalisée en segments droits pour les assemblages en gueule de loup, à condition que l'ajustage de la géométrie du joint soit adapté aux exigences du DMOS.

Pour les joints entre profils creux soudés d'un seul côté, les préparations de joints appropriées données dans les EN ISO 9692-1 et EN ISO 9692-2 doivent être utilisées. L'Annexe E illustre l'application donnée dans les EN ISO 9692-1 et EN ISO 9692-2 aux joints entre profils creux.

Pour les nœuds de structures en treillis de profils creux, toute correction de défaut d'ajustage par rechargement doit être couverte par un mode opératoire de soudage approprié.

**7.5.2 Stockage et manutention des produits consommables pour le soudage**

Les produits consommables pour le soudage doivent être stockés, manipulés et utilisés conformément aux recommandations du fabricant.

Si des électrodes et des flux doivent être séchés et stockés, les niveaux de température et de temps appropriés doivent être respectés conformément aux recommandations du fabricant ou, en leur absence, conformément aux prescriptions du Tableau 16.

**Tableau 16 — Température et durée de séchage et de stockage de produits consommables pour le soudage**

Les produits consommables inutilisés à la fin du poste de travail de soudage doivent être à nouveau séchés conformément aux prescriptions ci-dessus. Pour les électrodes, le séchage ne doit pas être réalisé plus de deux fois. Les produits consommables restants doivent être mis au rebut. Les produits consommables pour le soudage présentant des signes de dommage ou de dégradation doivent être mis au rebut.

NOTE Les dommages ou dégradations comprennent, par exemple, des revêtements fissurés ou écaillés sur les électrodes enrobées, des fils-électrodes rouillés ou sales et des fils-électrodes présentant des revêtements de cuivre écaillés ou endommagés.

**7.5.3 Protection contre les intempéries**

Le soudeur, comme la zone de travail, doivent être efficacement protégés contre les effets du vent, de la pluie et de la neige.

NOTE Les procédés de soudage avec protection gazeuse sont particulièrement sensibles aux effets du vent.

Les surfaces à souder doivent être maintenues sèches et exemptes de condensation. Lorsque la température du matériau à souder est inférieure à 5 °C, un chauffage approprié peut s'avérer nécessaire. Pour les nuances d'acier supérieures à S355, un chauffage approprié doit être prévu si la température du matériau à souder est inférieure à 5 °C.

**7.5.4 Assemblage en vue du soudage**

Les éléments à souder doivent être correctement alignés et maintenus en position par pointage ou dispositifs externes, et bloqués pendant le soudage initial. L'assemblage doit être réalisé de façon à ce que la préparation des joints et les dimensions finales des éléments respectent les tolérances requises. Des mesures appropriées doivent être prises en ce qui concerne les déformations et retraits.

Les éléments à souder doivent être assemblés et maintenus en position de façon à ce que les joints à souder soient facilement accessibles et aisément visibles pour le soudeur.

Sauf spécification contraire, il convient que l'assemblage d'éléments à profils creux à souder soit conforme aux lignes directrices indiquées à l'Annexe E.

Aucune soudure supplémentaire ne doit être introduite, et les emplacements des soudures spécifiées ne doivent pas être modifiés sans s'assurer de leur conformité aux spécifications. Il convient que les procédés de renforcement localisé d'un assemblage soudé dans une structure en treillis de profils creux facilitent le contrôle d'intégrité de l'assemblage tel que soudé. Il convient également d'envisager la possibilité d'épaissir l'élément.

NOTE Les détails types comprennent les étriers, les diaphragmes, les plaques de séparation, les couvre-joints, les contre-plaques et les plaques enfourchées.

**7.5.5 Préchauffage**

Le préchauffage doit être réalisé conformément aux EN ISO 13916 et EN 1011-2. Le préchauffage doit être mis en œuvre conformément au DMOS approprié et doit être appliqué pendant toute la durée du soudage, y compris le pointage et le soudage de fixations provisoires

**7.5.6 Fixations provisoires**

Lorsque la procédure d'assemblage ou de montage requiert l'utilisation d'éléments fixés provisoirement par soudage, ces éléments doivent être positionnés de façon à pouvoir être aisément retirés sans endommager la structure en acier définitive. Toutes les soudures d'éléments provisoires doivent être effectuées conformément au DMOS. Les zones où le soudage de fixations provisoires n'est pas autorisé doivent être spécifiées.

L'utilisation de fixations provisoires doit être spécifiée pour les classes d'exécution EXC3 et EXC4.

Lorsque des fixations provisoires soudées doivent être retirées par découpage ou burinage, la surface du métal de base doit ensuite être soigneusement lissée à la meule. Sauf spécification contraire, le découpage et le burinage ne sont pas autorisés pour les classes d'exécution EXC3 et EXC4.

Un contrôle approprié doit permettre de s’assurer que le produit constitutif ne comporte pas de fissure de surface à l’emplacement de la soudure provisoire.

**7.5.7 Soudures de pointage**

Pour les classes d'exécution EXC2, EXC3 et EXC4, les soudures de pointage doivent être réalisées en utilisant un mode opératoire de soudage qualifié. La longueur d'un point de soudure ne doit pas être inférieure à quatre fois l'épaisseur de la partie la plus épaisse de l'assemblage ou à 50 mm, à moins qu'un essai ait permis de démontrer qu'une longueur plus courte est satisfaisante.

Toutes les soudures de pointage qui ne sont pas incorporées dans les soudures finales doivent être éliminées. Les soudures de pointage devant être incorporées dans la soudure finale doivent présenter une géométrie adaptée et être réalisées par des soudeurs qualifiés. Ces soudures de pointage doivent être exemptes de défauts d'exécution et doivent être soigneusement nettoyées avant le soudage final. Les soudures de pointage fissurées doivent être éliminées.

**7.5.8 Soudures d'angle**

***7.5.8.1 Généralités***

Une soudure d'angle terminée ne doit pas être inférieure aux dimensions spécifiées pour la gorge et/ou le côté selon le cas, en considérant :

a) la gorge totale démontrée réalisable par des DMOS pour les procédés de soudage à forte pénétration ou à pénétration partielle ;

b) que si un écart ***h*** dépasse la limite d’imperfection, il peut être compensé par une augmentation de la gorge ***a***= anom+ 0,7 h

où anom est la gorge nominale spécifiée.

Pour un «ajustement incorrect» (617), les niveaux de qualité s'appliquent sous réserve que la gorge soit conservée conformément à (5213) ;

c) que, pour les tabliers de ponts, des exigences de fabrication particulières s'appliquent, par exemple pour la gorge des soudures d'angle (voir 7.5.18 et D.2.16).

***7.5.8.2 Soudures d'angle pour les éléments minces***

Les soudures d'angle se terminant aux extrémités ou sur les côtés d'éléments minces doivent être poursuivies de façon continue en retour le long des angles sur une distance au moins égale à deux fois le côté de la soudure, sauf si l'accès ou la configuration rend cette opération impossible. Sauf spécification contraire, les retours d'extrémité des soudures d'angle doivent être réalisés.

La longueur minimale d'une passe de soudure d'angle, en excluant les retours d'extrémité, doit être d'au moins quatre fois le côté de la soudure.

Une soudure d'angle discontinue ne doit pas être utilisée lorsqu'un phénomène capillaire est susceptible de donner lieu à la formation de poches de rouille. Les cordons aux extrémités d’un élément assemblé par soudures d'angle doivent s'étendre jusqu'à l'extrémité de l'élément assemblé. Le recouvrement minimal dans les assemblages à recouvrement, ne doit pas être inférieur à quatre fois l'épaisseur de l'élément assemblé le plus mince. Le soudage par soudure d'angle d’un seul côté ne doit pas être utilisé si les éléments ne sont pas maintenus de manière à empêcher l'ouverture du joint. Si l'extrémité d'un élément n'est assemblée que par des soudures d'angle longitudinales, la longueur de chaque soudure ne doit pas être inférieure à la distance transversale qui les sépare.

**7.5.9 Soudures bout à bout**

***7.5.9.1 Généralités***

La cohérence avec le calcul de la position des soudures bout à bout destinées à adapter des longueurs disponibles de produits constitutifs par raboutage doit être vérifiée. Les extrémités des soudures bout à bout doivent être réalisées de manière à assurer des soudures saines sur toute l'épaisseur de l'assemblage. La pose d'appendices en début ou en fin de cordon doit être utilisée pour assurer une soudure saine jusqu'aux extrémités pour les classes d'exécution EXC3 et EXC4, et pour EXC2 si cela est spécifié. La soudabilité de ces appendices ne doit pas être inférieure à celle du métal de base. Après achèvement des soudures, tous les appendices ou témoins supplémentaires éventuels doivent être ôtés et cette opération doit être effectuée conformément au 7.5.6.Lorsqu'une surface arasée est exigée, l'excès de métal déposé doit être éliminé de manière à satisfaire aux exigences de qualité.

***7.5.9.2 Soudures exécutées d'un seul côté***

Les soudures à pleine pénétration exécutées d'un seul côté peuvent être réalisées avec ou sans support envers métalliques ou non métalliques. Un support envers permanent en acier peut être utilisé, sauf spécification contraire. Les exigences relatives à son utilisation doivent figurer dans le DMOS. Si un support envers en acier est utilisé, il doit présenter une valeur de carbone équivalent (CEV) ne dépassant pas 0,43 % ou être du même matériau que le métal de base le plus soudable de l'assemblage à souder. Les supports envers doivent être positionnés au contact du métal de base et il convient généralement qu'ils soient continus sur toute la longueur du joint. Pour les classes d'exécution EXC3 et EXC4, le métal du support envers permanent doit être rendu continu par des soudures bout à bout à pleine pénétration. Il convient d'inclure dessoudures de pointage dans les soudures en bout. Sauf spécification contraire, l'arasement par meulage de soudures bout à bout des assemblages entre profils creux exécutées d'un seul côté sans support envers n'est pas autorisé ; si ces soudures sont totalement exécutées avec support envers, elles peuvent être meulées à fleur de surface du profil général du métal de base.

***7.5.9.3 Gougeage avant reprise envers***

Le gougeage avant reprise envers doit être effectué sur une profondeur suffisante pour assurer une pleine pénétration dans le métal d'apport déposé précédemment. Le gougeage avant reprise envers doit produire un sillon en forme de U dont les bords doivent être facilement accessibles pour le soudage.

**7.5.10 Soudures sur aciers à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique**

Les soudures sur aciers à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique doivent être exécutées en utilisant les produits consommables pour le soudage appropriés (voir Tableau 6). En option, des produits consommables au C-Mn peuvent être utilisés pour les passes de remplissage d'une soudure bout à bout ou d'angle, à condition que les passes terminales soient exécutées en utilisant des produits consommables adéquats.

**7.5.11 Nœuds**

Les nœuds de structures en treillis tubulaires, réalisés par assemblages soudés combinés (soudure d'angle et soudure bout à bout exécutée d'un seul côté), peuvent être soudés sans support envers. Si l'angle de raccordement au nœud de l’entretoise en profil creux est inférieur à 60°, le raccordement doit être chanfreiné pour permettre la réalisation d'une soudure bout à bout.

NOTE Des recommandations relatives à l'exécution des nœuds sont données dans l'Annexe E.

**7.5.12 Soudage des goujons**

Le soudage des goujons doit être réalisé conformément à l'EN ISO 14555.

**7.5.13 Soudures en entaille et en bouchon**

Les trous destinés aux soudures en entaille et en bouchon doivent être dimensionnés de manière à ménager un accès approprié pour le soudage. Les dimensions doivent être spécifiées.

NOTE Les dimensions convenables sont les suivantes :

1. largeur : au moins 8 mm de plus que l'épaisseur de la pièce contenant le trou ;
2. longueur de trou oblong : 70 mm ou cinq fois l'épaisseur de tôle (la plus petite de ces valeurs).

Les soudures en bouchon ne doivent être réalisées que sur des soudures en entaille après avoir vérifié que la soudure d'angle dans l'entaille est satisfaisante. Sauf spécification contraire, les soudures en bouchon sans soudure en entaille préalable ne sont pas autorisées.

**7.5.14 Soudures par points des éléments minces**

***7.5.14.1 Soudures à l'arc par points***

Il convient que les rondelles de soudage aient une épaisseur de 1,2 mm à 2,0 mm et présentent un trou poinçonné de 10 mm de diamètre. Pour les aciers inoxydables, les rondelles de soudage ne sont acceptées que si elles sont spécifiées et conformes aux conditions de service.

**NOTE 1** Les rondelles de soudage peuvent introduire des crevasses dans le joint ; l'acceptabilité de ces crevasses dépend des conditions de service.

La largeur visible minimale, d w, d'une soudure à l'arc par points circulaires ou d'une soudure à l'arc par points oblongs, doit être spécifiée.

**NOTE 2** Des recommandations concernant la relation entre la dimension de l'interface et la largeur visible d'une soudure à l'arc par points circulaires ou d'une soudure à l'arc par points oblongs, sont données dans l'EN 1993-1-3.

***7.5.14.2 Soudures par résistance par points***

Il convient que le diamètre d'une soudure par résistance par points corresponde aussi étroitement que possible au diamètre recommandé de la pointe de l'électrode dr (en mm), donné par dr = 5t 1/2

Où : t est l'épaisseur de la tôle en contact avec la pointe de l'électrode (en mm).

**7.5.15 Autres types de soudures**

Les exigences concernant d'autres types de soudures, par exemple les soudures d'étanchéité, doivent être spécifiées et doivent être soumises aux mêmes exigences de soudage que celles prescrites dans la présente Norme européenne.

***7.5.16Traitement thermique après soudage***

Lorsque des éléments soudés doivent subir un traitement thermique, on doit démontrer que les modes opératoires utilisés sont appropriés.

NOTE Des recommandations concernant les exigences de qualité relatives au traitement thermique sont données dans l'ISO/TR 17663.

***7.5.17 Exécution du soudage***

Des précautions doivent être prises pour éviter les amorçages d'arc accidentels, et, s'il s’en produit, la surface de l'acier doit être légèrement meulée et contrôlée. Il convient de compléter le contrôle visuel par un contrôle par ressuage ou magnétoscopie.

Des précautions doivent être prises pour éviter les projections de soudure. Pour les classes d'exécution EXC3 et EXC4, elles doivent être éliminées.

Les défauts visibles tels que les fissures, cavités et autres défauts non autorisés, doivent être éliminés de chaque passe avant le dépôt de la passe suivante.

La totalité du laitier doit être éliminée de la surface de chaque passe avant l’exécution de la passe suivante, ainsi que de la surface de la soudure finie. Les jonctions entre le métal fondu et le métal de base doivent faire l’objet d’une attention particulière.

Les exigences éventuelles concernant le meulage et l'arasage de la surface des soudures finies doivent être spécifiées.

***7.5.18 Soudage des tabliers de ponts***

Des essais de production doivent être réalisés conformément au 12.4.4 c). Les essais de production ne sont pas requis pour l'assemblage raidisseur-tôle de platelage à l'extérieur de la chaussée (bordures) qui ne subit pas de chargement par les véhicules.

Pour les assemblages raidisseur-tôle de platelage et les soudures locales, par exemple au droit des assemblages raidisseur-raidisseur avec plats de raboutage, les départs et les arrêts doivent être éliminés.

Pour les assemblages raidisseur-poutre transversale dans lesquelles les raidisseurs traversent la poutre transversale avec ou sans trous de souris, il convient d'abord de souder les raidisseurs à la tôle de platelage et ensuite d'assembler et souder les poutres transversales.

**7.6 Critères d'acceptation**

Les éléments soudés doivent répondre aux exigences spécifiées aux articles 10 et 11. Les critères d'acceptation relatifs aux défauts des soudures doivent être les suivants, avec référence à l'EN ISO 5817, à l'exception de « Défaut de raccordement » (505) et «Micro manque de fusion» (401) qui n'ont pas à être pris en compte. Toutes les exigences complémentaires concernant la géométrie et le profil de la soudure doivent être prises en compte.

* EXC1 : c’est le Niveau de qualité D
* EXC2 : c’est le Niveau de qualité C en général sauf niveau de qualité D pour «Caniveau» (5011, 5012), «Débordement»(506), «Amorçage accidentel» (601) et «Retassure ouverte de cratère» (2025)
* EXC3 : c’est le Niveau de qualité B
* EXC4 : c’est le Niveau de qualité B+ qui est le niveau de qualité B avec les exigences complémentaires données dans le Tableau 17

Tableau 17 — Exigences complémentaires pour le niveau de qualité B+

En cas de non-conformité aux critères ci-dessus, il convient de juger chaque cas individuellement. Il convient qu'unetelle évaluation soit basée sur la fonction de l'élément et les caractéristiques des imperfections (type, dimensions, localisation) afin de décider si la soudure est acceptable ou doit être réparée.

NOTE Les EN 1993-1-1, EN 1993-1-9 et EN 1993-2 peuvent être utilisées pour évaluer l'acceptabilité des imperfections.

**7.7 Soudage des aciers inoxydables**

**7.7.1 Modifications apportées aux exigences de l'EN 1011-1**

—Article 13, paragraphe 1 — Ajout : Des pyromètres de contact doivent être utilisés pour mesurer la température, sauf si d'autres méthodes sont spécifiées. Les crayons thermométriques ne doivent pas être utilisés.

—Article 19 — Ajout : Les procès-verbaux des épreuves de qualification de modes opératoires de soudage et les DMOS associés qui n'intègrent pas un facteur de rendement thermique dans le calcul de l’énergie de soudage peuvent être utilisés à condition que l’énergie de soudage soit réglée conformément au facteur de rendement thermique approprié.

**7.7.2 Modifications apportées aux exigences de l'EN 1011-3**

—7.1, alinéa 4 — Modification : Le type de finition de surface requis pour les zones de soudure doit être spécifié. Il doit être spécifié si les couches d'oxyde coloré formées pendant le soudage doivent être éliminées. Il convient de porter l'attention requise à la résistance à la corrosion, l'environnement, l'esthétique et aux conséquences de l'arasage et du nettoyage de la zone de soudure. Sauf spécification contraire, la totalité du laitier associé au soudage doit être éliminée.

NOTE La décoloration de la zone de soudure après soudage est influencée par la quantité d'oxygène contenue dans le « gaz de protection » pendant le soudage. Des échelles de couleur de référence photographique sont disponibles pour faciliter la spécification d'une décoloration acceptable [49].

—7.1, alinéa 5 — Modification : Après la préparation des bords à souder, il peut être nécessaire d'éliminer par un usinage mécanique sur une profondeur suffisante par rapport à la coupe toute trace d'oxydation, d’écrouissage et de contamination en général par les procédés de coupage thermique. Lors du cisaillage, des fissures peuvent se produire ; ces fissures doivent être éliminées avant soudage.

—7.3, alinéa 3 — Ajout en début de l'alinéa: Sauf spécification contraire, il ne doit pas être utilisé de support envers en cuivre.

— Article 10 — Ajout : L'élimination de tous les produits de nettoyage employés après le soudage doit faire l'objet d'une attention particulière.

—A.1.2, alinéa 1 — Modification de la dernière phrase : La microstructure approximative qui se formera dans le métal fondu peut être indiquée à partir de l'équilibre entre les éléments stabilisant la ferrite et ceux stabilisant l’austénite en utilisant un diagramme de Schaeffler, DeLong,W.R.C. ou Espy. Lorsqu'il est utilisé, le diagramme approprié doit être spécifié.

—A.2.2, alinéa 4 — Modification : Les diagrammes de Schaeffler, DeLong, W.R.C. ou Espy peuvent être utilisés pour indiquer si le produit consommable fournira une teneur en ferrite appropriée, en tenant compte des effets de dilution. Lorsqu'il est utilisé, le diagramme approprié doit être spécifié.

—A.4.1 – Ajout : Les assemblages soudés ne doivent pas être soumis à un traitement thermique après soudage, sauf si ce traitement est explicitement autorisé par le cahier des charges.

—C.4 – Ajout : Les assemblages soudés ne doivent pas être soumis à un traitement thermique après soudage, sauf si ce traitement est explicitement autorisé par le cahier des charges.

**7.7.3 Soudage d'aciers différents**

Les exigences relatives au soudage de différents types d'aciers inoxydables entre eux ou à d'autres aciers, par exemple aciers au carbone, doivent être spécifiées. Le coordinateur en soudage doit tenir compte des techniques de soudage, procédés de soudage et produits consommables pour le soudage appropriés. Il convient d'étudier attentivement les questions associées à la contamination de l'acier inoxydable et à la corrosion galvanique.

**Bibliographie**

[1] prEN 1090-1, Exécution des structures en acier et des structures en aluminium — Partie 1 :

Évaluation de la conformité des éléments structuraux.

[2] EN 1990 : 2002, Eurocode : Bases de calcul des structures.

[3] EN 1993-1-1, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier —Partie 1-1 : Règles générales et règles

pour les bâtiments.

[4] EN 1993-1-2, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier —Partie 1-2 : Règles générales —

Calcul du comportement au feu.

[5] EN 1993-1-3, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier —Partie 1-3 : Règles générales —

Règles supplémentaires pour les profilés et les plaques formées à froid.

[6] EN 1993-1-4, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier —Partie 1-4 : Règles générales —

Règles supplémentaires pour les aciers inoxydables.

[7] EN 1993-1-5, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier —Partie 1-5 : Plaques planes.

[8] EN 1993-1-7, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier —Partie 1-7 : Structures en plaques

chargées hors de leur plan.

[9] EN 1993-1-9, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier —Partie 1-9 : Fatigue.

[10] EN 1993-1-10, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-10 : Choix des qualités

d’acier.

[11] EN 1993-1-11, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-11 : Calcul des structures à

câbles ou éléments tendus.

[12] EN 1993-1-12, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 1-12 : Règles additionnelles

pour l'utilisation de l'EN 1993 jusqu'à la nuance d'acier S 700.

[13] EN 1993-2, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier —Partie 2 : Ponts métalliques.

[14] EN 1993-3-1, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 3-1 : Tours, mâts et cheminées

—Tours et mâts haubanés.

[15] EN 1993-3-2, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 3-2 : Tours, mâts et cheminées

— Cheminées.

[16] EN 1993-4-1, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 4-1 : Silos.

[17] EN 1993-4-2, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 4-2 : Réservoirs.

[18] EN 1993-4-3, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier — Partie 4-3 : Canalisations.

[19] EN 1993-5, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier —Partie 5 : pieux et palplanches.

[20] EN 1993-6, Eurocode 3 : Calcul des structures en acier —Partie 6 : Chemins de roulement.

[21] EN 1994 (toutes parties), Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier — Béton.

[22] EN 1998-1, Eurocode 8 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes — Partie 1 :

Règles générales, actions sismiques et règles pour les bâtiments.

[23] EN 10020, Définition et classification des nuances d'acier.

[24] EN 10027-1, Systèmes de désignation des aciers — Partie 1 : Désignation symbolique, symboles

principaux.

[25] EN 10027-2, Systèmes de désignation des aciers — Partie 2 : Système numérique.

[26] EN 10079, Définition des produits en acier.

[27] EN 10162, Profilés en acier formés à froid — Conditions techniques de livraison —Tolérances

dimensionnelles et sur sections transversales.

[28] EN 13001-1, Appareils de levage à charge suspendue — Conception générale — Partie 1:

Principes généraux et prescriptions.

[29] CEN ISO/TR 3834-6, Exigences de qualité en soudage par fusion des matériaux métalliques —

Partie 6 : Lignes directrices pour la mise en application de l'ISO 3834 (ISO/TR 3834-6 :2007)

[30] EN ISO 2320, Écrous hexagonaux autofreinés en acier — Caractéristiques mécaniques et

performances (ISO2320:1997).

[31] EN ISO 7040, Écrous hexagonaux autofreinés (à anneau non métallique), style 1 — Classes de

qualité 5, 8 et10 (ISO 7040:1997)

[32] EN ISO 7042, Écrous hexagonaux autofreinés tout métal, style 2 — Classes de qualité 5, 8, 10 et

12 (ISO7042:1997)

[33] EN ISO 7719, Écrous hexagonaux autofreinés tout métal, style 1 — Classes de qualité 5, 8 et 10

(ISO7719:1997).

[34] EN ISO 10511, Écrous hexagonaux bas autofreinés (à anneau non métallique)

(ISO 10511:1997).

[35] EN ISO 10512, Écrous hexagonaux autofreinés (à anneau non métallique), style 1, à filetage

métrique à pas fin — Classes de qualité 6, 8 et 10 (ISO 10512:1997)

[36] EN ISO 10513, Écrous hexagonaux autofreinés tout métal, style 2, à filetage métrique à pas fin —

Classes de qualité 8, 10 et 12 (ISO 10513:1997).

[37] EN ISO 9000, Systèmes de management de la qualité — Concepts et vocabulaire (ISO 9000 :

2005).

[38] EN ISO 21670, Écrous hexagonaux à souder, à embase (ISO 21670:2003).

[39] EN ISO 17652-2, Soudage — Essai sur peintures primaires en relation avec le soudage et les

techniques connexes — Partie 2 : Propriétés relatives au soudage des peintures primaires

(ISO 17652-2:2003)

[40] ISO 1803, Construction immobilière — Tolérances — Expression de l'exactitude dimensionnelle

— Principes et terminologie.

[41] ISO 3443-1, Tolérances pour le bâtiment — Partie 1 : Principes fondamentaux de l'évaluation et

de la spécification.

[42] ISO 3443-2, Tolérances pour le bâtiment — Partie 2 : Méthode de prévision de la compatibilité

des éléments.

[43] ISO 3443-3, Tolérances pour le bâtiment — Partie 3 : Procédés pour choisir la dimension

recherchée et prévoir l'ajustement.

[44] ISO 10005, Systèmes de management de la qualité — Lignes directrices pour les plans qualité.

[45] ISO/TR 15608, Soudage — Lignes directrices pour un système de groupement des matériaux

métalliques.

[46] ISO/TR 17663, Soudage — Lignes directrices concernant les exigences de qualité relatives au

traitement thermique en soudage et techniques connexes.

[47] ISO/TR 20172, Soudage — Systèmes de groupement des matériaux — Matériaux européens.

[48] ASTM A325-06, Standard Specification for Structural Bolts, Steel, Heat Treated, 120/105 ksi

Minimum Tensile Strength.

[49] FORCE Technology Report No. 94.34 Reference colour charts for purity of purging gas in

stainless steel tubes.J. Vagn Hansen. revised May 2006.

[50] ECCS No 79 European recommendations for bolted connections with injection bolts; August

1994.

[51] BCSA and Galvanizers Association Publication No. 40/05 — Galvanizing structural steelwork —

An approach to the management of liquid metal assisted cracking; 2005.

[52] DASt-Ri 022, Guidance for hot dip zinc coating (en preparation en 2009)