
**Lignes directrices sur la qualité de la
soudure en rapport à la résistance à
la fatigue**

Guidelines on weld quality in relationship to fatigue strength

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



Numéro de référence
ISO/TS 20273:2017(F)

© ISO 2017

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2017, Publié en Suisse

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie, l'affichage sur l'internet ou sur un Intranet, sans autorisation écrite préalable. Les demandes d'autorisation peuvent être adressées à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Ch. de Blandonnet 8 • CP 401
CH-1214 Vernier, Geneva, Switzerland
Tel. +41 22 749 01 11
Fax +41 22 749 09 47
copyright@iso.org
www.iso.org

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et abréviations	2
5 Contexte	3
5.1 Généralités	3
5.2 Conception destinée à un but	4
5.3 Procédures d'évaluation de la fatigue	6
5.4 Classification des défauts et caractéristiques des soudures	7
6 Niveaux de qualité de soudure pour les structures soumises à des charges de fatigue	8
6.1 Évaluation de la qualité de soudure	8
6.2 Exigences pour une qualité de soudure de niveau production	9
6.2.1 Généralités	9
6.2.2 Effet de la géométrie de pied de cordon	9
6.2.3 Effet de défaut d'alignement	12
6.2.4 Effet du caniveau	14
6.2.5 Effet de reprise	15
6.2.6 Effet des inclusions et de la porosité	16
6.2.7 Effet des fissures et des défauts de type fissures	16
6.3 Plan d'expérience (DoE) utilisant une simulation	22
6.3.1 Généralités	22
6.3.2 Paramètres utilisant la méthode d'entaille effective sur les soudures bout à bout	22
6.3.3 Paramètres utilisant la méthode d'entaille effective sur les soudures d'angle	24
6.4 Calcul de fatigue des soudures de haute qualité	26
6.4.1 Généralités	26
6.4.2 Effets des méthodes d'amélioration	26
6.4.3 Amélioration de la forme du pied de cordon	27
6.4.4 Amélioration par contraintes résiduelles de compression	27
7 Exigences de côté racine	27
7.1 Généralités	27
7.2 Assemblages avec racine de soudure au point le plus faible	28
7.3 Désignation pour pénétration	28
7.4 Plan d'expérience pour assemblages porteurs	29
7.5 Taille de gorge par rapport à la pénétration	32
8 Aptitude au service	35
8.1 Généralités	35
8.2 Évaluation de la fatigue par propagation de fissure	36
8.3 Paramètres de matériau pour propagation de fissure	36
8.4 Formules pour les coefficients d'intensification de contrainte	37
8.4.1 Généralités	37
8.4.2 Solutions standard	37
8.4.3 Solutions pour la fonction d'intensification, M_k	39
8.4.4 Exemples d'évaluation par mécanique de rupture	41
Bibliographie	47

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est appelée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant: www.iso.org/iso/fr/avant-propos.html

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'IIW, *Institut international de la soudure*, Commission XIII, *Fatigue des composants et des structures soudés*.

Il convient que les demandes d'interprétations officielles de l'un quelconque des aspects du présent document soient faites par écrit et envoyées au Secrétariat central de l'ISO qui les transmettra au Secrétariat de l'IIW en vue d'obtenir une réponse officielle.

Introduction

Le présent document a été établi sur la base des principaux résultats donnés en Référence [28], précédemment publiés sous la désignation XIII-2510-13. Il représente l'opinion mûrement réfléchie d'experts en fatigue des assemblages soudés, en se basant sur des plaques d'acier plus épaisses. Pour de plus amples informations, ou des informations plus détaillées, voir la Référence [28].

Le présent document s'applique lorsque l'estimation de la fatigue est supposée être basée soit sur la méthode des contraintes nominales, soit sur celle des contraintes géométriques, comme définie dans les Références [1] et [2]. Des méthodes plus affinées d'estimation de la fatigue basées sur les concepts de contrainte d'entaille ou de mécanique de rupture offraient déjà la possibilité d'expliquer complètement ou partiellement les caractéristiques géométriques et les défauts de soudure qui ne sont pas spécifiquement traités dans le présent document.

On suppose que l'utilisateur a une connaissance pratique des éléments essentiels de la fatigue et de la mécanique de rupture. Dans certains cas, une connaissance pratique de l'analyse par éléments finis est également requise. Les recommandations et lignes directrices sont considérées comme reflétant la résistance à la fatigue de l'assemblage soudé lui-même, avec une probabilité de survie définie mais sans effet sur l'environnement. Elles sont donc applicables à de nombreux secteurs industriels. On suppose que l'utilisateur appliquera de bons principes de calcul des structures à l'état limite. Des coefficients partiels de sécurité appropriés de charge et de résistance sont appliqués suivant le secteur d'activité. Le présent document ne définit pas les coefficients partiels de sécurité de charge et de résistance à utiliser pour l'estimation de la fatigue.

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Sample Document

get full document from standards.iteh.ai

Lignes directrices sur la qualité de la soudure en rapport à la résistance à la fatigue

1 Domaine d'application

Le présent document fournit des préconisations pour établir des exigences appropriées de qualité de soudure par rapport à la fatigue.

Le présent document est applicable aux structures de type plaques d'acier soudées par fusion (à l'arc et/ou par faisceau) d'une épaisseur de >3 mm, qui sont soumises au chargement cyclique.

Étant donné le manque de données expérimentales pour les soudures sur aluminium et aciers à très haute résistance, les courbes de résistance à la fatigue (ou S-N) ne s'appliquent qu'à l'acier de construction jusqu'à une limite maximale d'élasticité spécifiée de 960 MPa.

Les critères d'acceptation du présent document peuvent être appliqués à des aciers de résistance plus élevée, des aciers inoxydables, et certains concepts aux séries 5000 et 6000 d'alliages aluminium couramment utilisés dans les structures soudées. En l'absence de données publiées significatives, une quantification par essais spéciaux est recommandée.

2 Références normatives

Il n'y a pas de référence normative dans le présent document.

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC maintiennent des bases de données terminologiques pour utilisation dans le domaine de la normalisation aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

3.1

reprise

micromanque de fusion

zone de *recouvrement* (3.7) non fondu entre le métal fondu et la plaque-support se traduisant par un défaut parallèle à la plaque-support

3.2

contrainte d'entaille effective

contrainte d'entaille élastique calculée pour une entaille ayant un certain rayon d'entaille postulé

3.3

soudures améliorées

soudures pour lesquelles le pied du cordon de soudure est traité après le soudage au moyen d'une opération de meulage, refusion ou martelage

Note 1 à l'article: Les lignes directrices de l'IIW pour les méthodes de traitement après soudage retenues ont été publiées.

3.4

inclusion

inclusion de laitier

matériau non métallique piégé dans du métal en fusion au cours de la solidification

3.5

soudure de haute qualité

soudure ayant un niveau de défauts moins élevé tel qu'elle a une résistance à la fatigue supérieure à celle définie dans les lignes directrices et recommandations de l'IIW par rapport aux contraintes nominales, *contraintes au point chaud* (3.9) ou *contraintes d'entaille effectives* (3.2)

Note 1 à l'article: L'amélioration de la résistance à la fatigue est généralement deux classes FAT.

Note 2 à l'article: Utilisé dans certaines normes.

3.6

soudure de qualité normale

soudure pour laquelle le niveau de défauts est tel qu'elle répond aux exigences de résistance à la fatigue définies dans les lignes directrices et recommandations de l'IIW par rapport aux contraintes nominales, *contraintes au point chaud* (3.9) ou *contraintes d'entaille effectives* (3.2)

3.7

recouvrement

dépassement de métal fondu au-delà du pied de cordon ou de la racine de soudure

Note 1 à l'article: Un recouvrement peut être fondu ou non fondu. Un recouvrement du pied de cordon sans fusion entre le métal fondu et la plaque-support est identique à une *reprise* (3.1).

3.8

porosité

cavités ou pores générés par du gaz piégé dans du métal en fusion au cours de la solidification

3.9

contrainte géométrique

contrainte au point chaud

contrainte dans un composant, décomposée pour prendre en compte les effets d'une discontinuité structurale à la surface d'un point chaud, constituée de composants de contraintes de membrane et de flexion de la paroi

3.10

caniveau

rainure non remplie le long de la zone de liaison entre le métal fondu et la plaque-support

4 Symboles et abréviations

Symbole	Désignation
FAT	Toutes les données de résistance à la fatigue à 2 millions de cycles. Les classes FAT sont données comme des valeurs caractéristiques, qui sont censées représenter une probabilité de survie d'au moins 95 %, calculée à partir d'une valeur moyenne sur la base de limites de tolérance de 75 % de chaque côté de la moyenne. Les autres définitions existantes, comme par exemple une probabilité de survie de 95 % sur la base d'une limite de 95 % d'un côté de la ou des moyennes moins deux écarts-types correspondant à une probabilité de survie de 97,7 % sont similaires en matière d'ingénierie. Les niveaux sont organisés par paliers.
k_m	coefficient d'intensification de contrainte pour défaut d'alignement
N_f	cycles à la rupture
ΔS ou $\Delta \sigma$	étendue de contraintes nominales, agissant sur une structure
ΔS_c ou $\Delta \sigma_c$	étendue de contraintes (résistance) nominales caractéristique en MPa (voir FAT ci-dessus), mais variable continue quand les FAT sont données par paliers

Symbole	Désignation
I	pénétration de soudure
R	rayon de pied de cordon
a_i	dimensions de fissure initiale
t	épaisseur de la plaque
e ou m	défait d'alignement entre plaques
u	caniveau au pied de cordon
α	angle de la soudure
a	taille de gorge de la soudure
s	mesure-s de la surface de la plaque à la pénétration de soudure d'assemblage soudé bout à bout

5 Contexte

5.1 Généralités

Les structures fabriquées typiques peuvent avoir des centaines, voire des milliers de mètres de soudure. De nombreux emplacements potentiels de fissuration due à la fatigue sont donc présents, et il convient de les prendre en compte au cours du développement de conception et de la production. Le problème à résoudre est d'optimiser une conception de manière que les soudures aient une résistance à la fatigue et une qualité de fabrication suffisantes pour supporter les charges pendant la durée de vie économique de la structure ou de l'équipement. Les systèmes de qualité pour soudures sont décrits dans les systèmes dits de classes de soudures, comme l'ISO 5817[12] ou la Référence [50]. Dans ces systèmes, les limites d'acceptation sont données pour différentes caractéristiques de géométrie de soudure ou différents défauts. Sur la base de ces limites, une soudure est associée à un niveau de qualité, par exemple B, C ou D. Un niveau élevé de qualité B est intuitivement supposé être mieux adapté en service qu'une soudure avec un niveau de qualité C ou D. Le problème avec les systèmes de qualité de soudure existants est qu'ils ont d'abord été développés comme une mesure de « bonne qualité du travail » en ce qui concerne la fabrication, c'est-à-dire comme une mesure de l'aptitude de l'individu ou de la machine effectuant l'opération. À ce titre, ils sont incorporés dans de nombreux programmes de formation et d'études pour les soudeurs et les contrôleurs de soudage. Un grand nombre d'études ont toutefois montré que le lien entre les classes de qualité de soudure existantes et la performance en fatigue n'est pas systématique[16][52][53]. On constate que certains critères d'acceptation pour certaines caractéristiques de soudure ou certains défauts ont peu ou pas d'influence sur la résistance à la fatigue. Pour les caractéristiques qui influencent la résistance à la fatigue, les critères d'acceptation entre classes de qualité ne se traduisent pas par des changements uniformes de résistance de la fatigue. Si l'on tenait compte du fait que la fatigue est fortement influencée par les caractéristiques géométriques et les défauts locaux de la soudure, des systèmes comme l'ISO 5817 auraient pu être de bons outils de mesure de la qualité en ce qui concerne la fatigue.

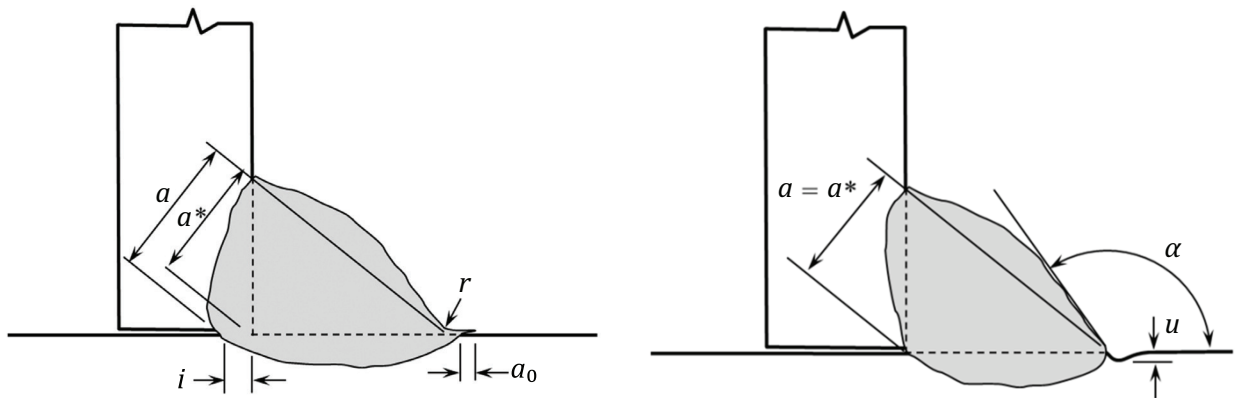
En revanche, les concepteurs de structures soudées considèrent la qualité de soudure en termes de performance, souvent appelée «conception destinée à un but». Dans ce domaine, la qualité signifierait qu'une soudure est capable d'effectuer sa fonction requise pendant la durée de vie économique du composant ou de la structure. La fonction requise peut être soit une fonction majeure, telle que la résistance à la défaillance par fatigue, une résistance suffisante par rapport aux charges extrêmes, la résistance à la perméabilité ou à la corrosion, soit une propriété fonctionnelle mineure telle que la dureté, la résistance à l'abrasion, l'aspect visuel ou la finition de surface. Cette manière de penser est en harmonie avec les lignes directrices modernes de conception des structures qui sont basées sur des considérations de calcul à l'état limite. Une particularité importante du calcul à l'état limite est l'existence de conditions ou de limites clairement identifiées qui constituent la défaillance ou la faisabilité d'une structure. Pour un concepteur, il convient que toute discussion de la qualité fasse le lien entre la définition de la qualité de la soudure et l'état ou les états limite(s) qui quantifie(nt) la défaillance. La résistance à la fatigue est l'un des critères de calcul à l'état limite les plus rigoureux pour les structures soudées.

5.2 Conception destinée à un but

La caractéristique de la charge prédominante sur le composant est une considération de base majeure lors de la formulation de lignes directrices de la qualité pour les structures porteuses. Pour les soudures soumises à une charge essentiellement statique, les calculs de conception sont basés sur la contrainte moyenne dans la surface nette de la soudure. C'est pour cette raison que la ductilité de la zone affectée thermiquement (ZAT) et l'épaisseur de métal fondu et la hauteur de gorge de soudure suffisante sont les caractéristiques les plus importantes. Les défauts tels que la porosité, les caniveaux ou les reprises n'ont que très peu d'influence sur la capacité statique tant que la soudure est ductile et que les défauts sont suffisamment petits de manière à ne pas réduire de manière significative l'aire de la section de la soudure. Ainsi, l'ISO 5817 comprend plusieurs critères d'acceptation non applicables aux assemblages sous charge statique. La hauteur de gorge est de loin la caractéristique géométrique la plus importante d'une soudure soumise à une charge essentiellement statique. Le type de soudure (bout à bout, d'angle, en V, en K), n'a pas d'influence significative sur la résistance à hauteur de gorge égale.

La ductilité et la hauteur de gorge sont vérifiées par des essais de pré-production pour valider le descriptif d'un mode opératoire de soudage (DMOS). Il convient que ce même descriptif permette de s'assurer que des défauts de type fissure n'apparaissent pas pendant le soudage. Pour les structures soudées en acier à haute résistance, il peut être difficile d'égaliser ou de dépasser la résistance du métal en fusion. Dans ce cas, une résistance statique insuffisante du matériau d'apport peut être compensée en ajoutant du matériau d'apport. Toutefois, une perte de ductilité ne peut pas être systématiquement compensée en ajoutant du matériau, ce qui fait qu'elle est considérée comme l'exigence de base la plus importante pour le soudage. La ductilité du joint est tenue pour acquise dans tous les types d'évaluation de durabilité de la structure. Le DMOS donne des lignes directrices pour garantir la capacité de déformation et la résistance à celle-ci de l'assemblage. Ainsi, lors de la définition des paramètres de soudage, il importe de donner la priorité aux paramètres qui génèrent la qualité requise. Les éléments qui améliorent la productivité peuvent ensuite être considérés. Certaines structures n'auront de par leur nature que des exigences de charge très réduites, et dans ces cas, l'optimisation des coûts de production peut se traduire par des économies importantes pour la fabrication. À titre d'exemple de ce type de soudure, on peut citer les soudures de fixation longues dans des structures soumises à une charge statique.

Pour les structures surtout soumises à des charges de fatigue, il est nécessaire que les exigences de ductilité et de hauteur de gorge suffisante soient maintenues, mais étant donné que la résistance à la fatigue est fortement influencée par les caractéristiques locales de l'assemblage, des exigences supplémentaires liées à la géométrie et aux défauts de soudure sont imposées. Outre la hauteur de gorge et la ductilité, la Référence [23], par exemple, identifie sept caractéristiques de soudure supplémentaires qui ont une influence importante sur la résistance à la fatigue: la pénétration, la taille de reprise, le manque de fusion interne, le rayon de transition de pied de cordon, la taille du caniveau, le défaut d'alignement de l'assemblage et la porosité (voir la [Figure 1](#)). Il est à noter que dans certains documents techniques de référence, le défaut de reprise en [Figure 1](#) est parfois appelé micromanque de fusion ou recouvrement non fondu. Les documents techniques de référence montrent un certain manque de rigueur quant à la définition de la hauteur de gorge, a , pour les soudures à pénétration partielle. Dans le présent document, la définition correspond aux Eurocodes, c'est-à-dire que la hauteur de gorge de la soudure comporte également la pénétration. La taille de soudure d'angle, a^* , est définie comme étant mesurée à partir de l'intersection des plaques comme illustré à la [Figure 1](#). Ainsi, pour les soudures d'angle sans pénétration, $a = a^*$, et pour les soudures d'angle avec pénétration, a , environ $a^* + i/\sqrt{2}$. La porosité est classée par catégories sur la base de l'emplacement des pores, de leur diamètre, et suivant que les pores apparaissent individuellement ou en groupe. L'angle de soudure peut avoir une influence sur la résistance à la fatigue. Toutefois, pour les soudures d'angle avec une résistance à la fatigue élevée, l'angle de soudure est moins important que le rayon de pied de cordon. Pour les soudures dont la résistance à la fatigue est conforme aux Recommandations de l'IIW, $\alpha \geq 120^\circ$ est suffisant.



Légende

- a hauteur de gorge
- a^* taille de soudure d'angle
- a_0 longueur de reprise
- α angle de soudure
- i pénétration de soudure
- r rayon de pied de cordon
- u profondeur de caniveau

Figure 1 — Caractéristiques géométriques des soudures d'angle ayant une influence significative sur la résistance à la fatigue

La fatigue du côté racine peut être la conséquence d'une mauvaise conception ou d'un DMOS inadapté. Si une soudure à pleine pénétration n'est pas désignée, un manque de pénétration peut servir de défaut initial important. Plus le défaut est important, plus la durée de vie prévue est courte, et donc la résistance à la fatigue du côté racine peut varier de presque nulle à une valeur largement supérieure à la résistance à la fatigue du pied de cordon ou du bord de la plaque. La conception contre la fatigue dépend donc considérablement de la pénétration de soudure. La valeur requise de « i » est déterminée par analyse à l'aide de la méthode d'entaille effective, la mécanique de rupture ou autre méthode appropriée. Il est suggéré que la pénétration du côté racine soit spécifiée sur le dessin de production, et que l'exigence de qualité soit simplement que la pénétration soit égale ou supérieure à cette valeur.

D'après le type de chargement, une différenciation est à faire entre plusieurs catégories d'assemblages. Les critères de conception et les exigences de qualité dépendront en grande partie de la fonction principale de l'assemblage. Les charges appliquées et la géométrie de structure déterminent ensemble la fonction de l'assemblage. Il s'agit là en substance de l'essence du concept appelé «conception destinée à un but». Les assemblages en T soudés simples présentés en [Figure 2](#) peuvent avoir de nombreuses fonctions basées sur les forces appliquées, F1 à F4.

Si l'assemblage est chargé par le composant de force F1, la soudure est une soudure longitudinale sous charge de cisaillement. Les soudures d'âme à bride dans les nervures de plaque sont des exemples typiques de ce type de soudure. Dans de tels cas, les critères d'acceptation pour le pied de cordon sont rarement importants, mais une rupture à partir de la racine de la soudure peut se produire.

Pour la soudure longitudinale chargée par F2, les positions de départ et d'arrêt de soudure deviennent critiques, et les ondulations de la zone de liaison peuvent exercer une forte influence sur la résistance à la fatigue. Si l'assemblage est chargé par le composant de force F3, la soudure est une soudure accessoire non porteuse et la géométrie du pied de cordon à la zone de liaison de la plaque-support à la soudure devient cruciale, c'est-à-dire de par la taille de reprise, le rayon de transition de pied de cordon et la taille du caniveau. Les soudures chargées par F3 peuvent aussi être considérées comme modérément exigeantes par rapport à la fabrication. Une soudure accessoire non porteuse n'est jamais critique dans les cas de charges statiques, mais génère souvent une défaillance par fatigue.

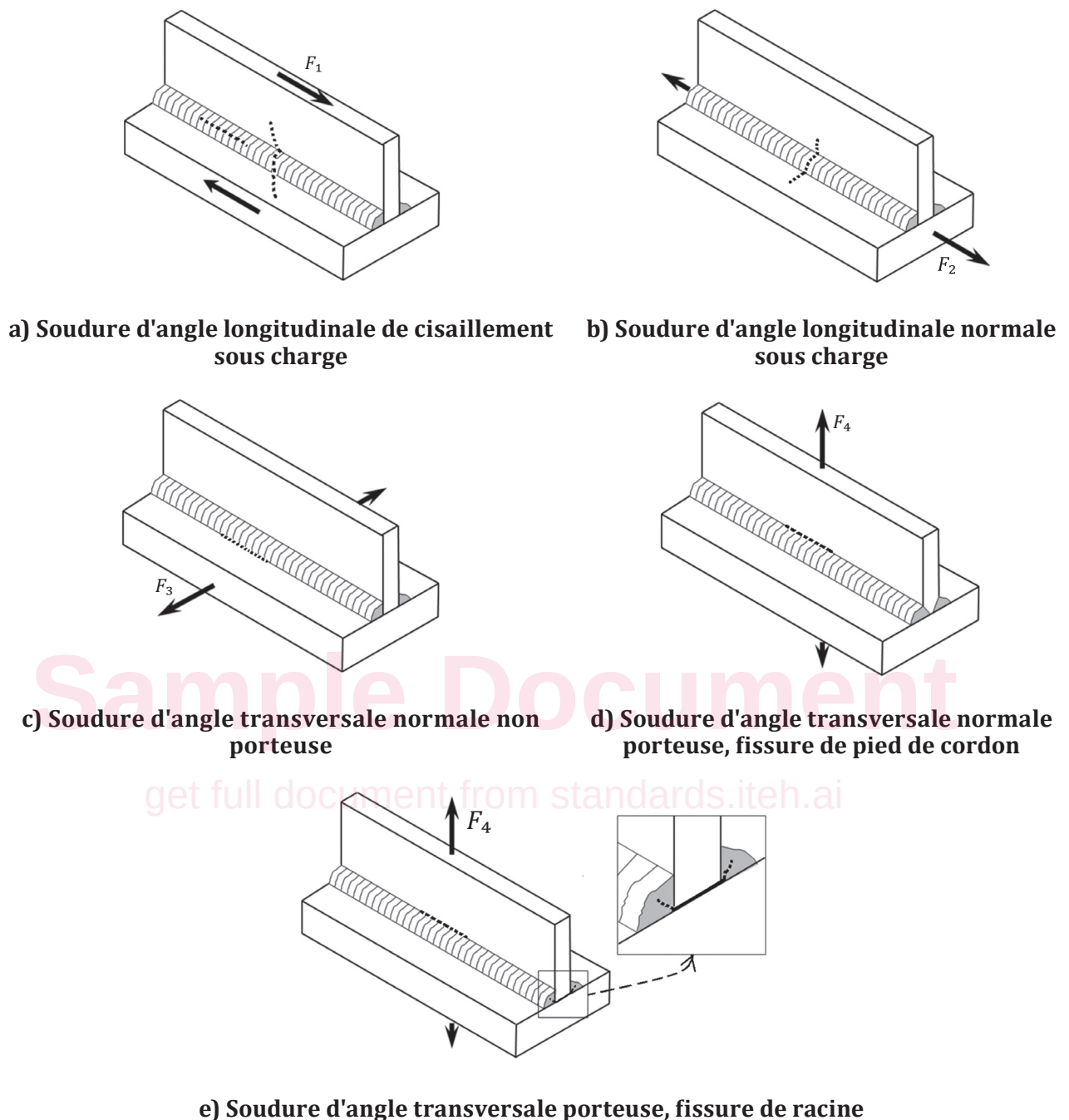
Pour les soudures d'angle porteuses soumises à F4, la géométrie du pied de cordon à la zone de liaison de l'attache à la soudure est critique. La taille de reprise, le manque de fusion interne, le rayon de transition de pied de cordon, la taille du caniveau, le défaut d'alignement de l'assemblage, la porosité et la pénétration de soudure ont tous potentiellement une forte influence sur la résistance à la fatigue de l'assemblage. Pour une soudure chargée avec une force F4, une fissure de fatigue du côté racine peut également apparaître, suivant le degré de pénétration. Les soudures chargées avec une force F4 sont les plus exigeantes, en termes à la fois de conception et de fabrication, puisque le côté du pied de cordon et le côté racine sont à prendre en considération tous les deux.

5.3 Procédures d'évaluation de la fatigue

De nombreuses méthodes d'évaluation de la fatigue ont été adoptées en vue d'estimer la durabilité de structures métalliques sous chargement cyclique. La modélisation par éléments finis fait partie intégrante de la plupart des travaux de calcul et d'analyse, et les méthodes ont évolué à mesure que les possibilités d'analyse sont devenues plus sophistiquées et que la vitesse et la capacité de mémoire des ordinateurs ont augmenté. L'évaluation de la fatigue confronte les analystes à deux exigences contradictoires. Le processus d'endommagement par fatigue lui-même est extrêmement localisé, ce qui nécessite un maillage EF fin. D'autre part, les structures soudées sont souvent de grande taille et géométriquement complexes, et elles ont de nombreux emplacements d'entrée de charge et des conditions aux limites qui peuvent être difficiles à définir. La meilleure manière de satisfaire à ces exigences est d'utiliser un modèle éléments finis. À cause de cette divergence, l'évaluation de la fatigue est fréquemment l'étape la plus longue du processus de conception des structures soudées.

La résistance à la fatigue et la durée de vie en fatigue des assemblages soudés peuvent être évaluées sur la base des essais ou analyse de fatigue à l'aide de la méthode de la contrainte nominale, la méthode du point chaud, la méthode des contraintes/déformations d'entaille ou de simulations d'évolution des fissures basées sur la mécanique de rupture élastique linéaire. Les différentes méthodes d'évaluation sont décrites en détail dans les recommandations de l'IIW sur la fatigue^[1] et ne seront pas reproduites ici.

get full document from standards.iteh.ai



NOTE Les lignes en pointillé indiquent des points de fatigue critiques.

Figure 2 — Détermination de classification d'assemblages basée sur la charge/fonction de l'assemblage

5.4 Classification des défauts et caractéristiques des soudures

La désignation et la classification des défauts et caractéristiques des soudures dépend à la fois du matériau soumis à assemblage (par exemple acier ou aluminium) et du procédé d'assemblage (par exemple soudage par fusion, soudage avec pression, etc.).

Un système général de désignation pour les défauts de soudure et procédés connexes se trouve dans l'ISO/TS 17845,[2] qui couvre à la fois les matériaux métalliques et non métalliques. Une classification des défauts géométriques dans les matériaux métalliques est donnée pour les soudages par fusion dans

l'ISO 6520-1^[10] et pour les soudages avec pression dans l'ISO 6520-2.^[11] Aucune de ces deux normes ne comporte de classifications pour les défauts métallurgiques.

Les défauts géométriques de soudure pour le soudage par fusion dans l'ISO 6520-1 concernent les processus de soudage à l'arc et par faisceau couvrant les matériaux métalliques: acier, nickel, titane, aluminium et leurs alliages. Le document contient la classification applicable des défauts géométriques pour ces processus de soudage, mais aucune information sur le niveau de qualité ou les limites applicables n'est fournie.

Les limites d'acceptation pour les défauts définis dans l'ISO 6520-1 sont données en vue de définir des niveaux de qualité. Pour les assemblages soudés à l'arc (à l'exception du soudage par faisceau) en acier, nickel, titane et leurs alliages, les niveaux de qualité sont définis dans l'ISO 5817^[12] et pour l'aluminium et ses alliages, les niveaux de qualité sont définis dans l'ISO 10042.^[13] Pour les assemblages soudés par faisceau d'électrons et par faisceau laser en acier, les niveaux de qualité sont définis dans l'ISO 13919-1^[14] et pour l'aluminium et ses alliages, dans l'ISO 13919-2.^[15] Pour le soudage hybride laser-arc des aciers, du nickel et des alliages de nickel, des niveaux de qualité pour les défauts sont indiqués dans l'ISO 12932^[17].

Dans ces Normes internationales, qui définissent les niveaux de qualité et les limites, les classes de qualité suivantes sont utilisées:

- la classe de qualité B désigne les exigences de qualité élevées;
- la classe de qualité C désigne les exigences de qualité moyennes;
- la classe de qualité D désigne les exigences de basse qualité.

Ces limites d'acceptation n'ont toutefois qu'une relation ténue avec la fatigue comme précisé ci-dessus. Pour plus de détails sur cette question, voir la Référence ^[28].

6 Niveaux de qualité de soudure pour les structures soumises à des charges de fatigue

6.1 Évaluation de la qualité de soudure

Les défauts et leur classification par groupes de qualité sont principalement régis par les préconisations de codes adoptés. Une des normes pour la qualité de soudure est l'ISO 5817, une adoption de DIN 8563, qui a été établie comme norme pour la communication entre les soudeurs et les contrôleurs. Le critère de classification était la difficulté, le coût ou les efforts nécessaires à la fabrication ou au contrôle par END. Ainsi, de par sa nature, l'ISO 5817 a des limites directement applicables aux problèmes de fatigue; elle ne cadre pas avec les propriétés de fatigue et nécessite des règles d'application. La version de 2014 comprend une Annexe C supplémentaire, qui donne certaines exigences concernant la fatigue. La plupart des codes de conception dédiés spécifient un niveau de qualité général conformément à l'ISO 5817 et donne une réglementation supplémentaire. Dans cette situation, les recommandations de calcul de fatigue de l'IIW ont élargi le domaine des codes de calcul de fatigue traditionnels en décrivant les propriétés de fatigue des assemblages contenant des défauts de soudure sur des bases scientifiques.

Après contrôle et détection d'un défaut de soudure, la première étape de la méthode d'évaluation consiste à déterminer le type et l'effet du défaut par catégorisation comme indiqué dans le [Tableau 1](#). Si un défaut de soudure ne peut pas être clairement associé à un type ou à un effet de défauts tels que répertoriés ici, il est recommandé de partir du principe qu'il est du type fissures. Les défauts qui s'additionnent sont interprétés comme ajoutant leur impact sur la fatigue, par exemple un caniveau et un petit rayon de pied de cordon. Les défauts qui s'opposent ne s'influencent pas mutuellement, et seront donc en compétition pour représenter le défaut le plus critique, par exemple un pore interne et un petit rayon de pied de cordon.

Tableau 1 — Catégorisation et méthode d'évaluation pour défauts de soudure

Effet du défaut		Type du défaut	Évaluation
Augmentation du niveau général de contrainte		Défaut d'alignement	Formules pour concentration de contrainte effective
Effet d'entaille local	Additif	Défauts de forme de soudure, caniveau	Tableaux fournis
	Compétitif	Porosité et inclusions ne se trouvant pas à proximité de la surface	Tableaux fournis
Défaut de type fissures		Fissures, manque de fusion et de pénétration, tous types de défauts autres que ceux donnés ici	Mécanique de rupture

6.2 Exigences pour une qualité de soudure de niveau production

6.2.1 Généralités

Pour les assemblages à l'état brut de soudage, la résistance à la fatigue est donnée par une classe dite FAT (MPa). Il s'agit de l'étendue de contraintes à 2×10^6 cycles pour une certaine probabilité de survie, voir FAT dans la nomenclature ci-dessus. L'espacement des courbes S-N de la grille de résistance correspond à un coefficient de $\sqrt[20]{10} = 1,122$, et les courbes sont donc disposées d'après certains paliers définis. Les autres valeurs de résistance à la fatigue dans ce document donnent également les données de la même manière pour les cycles de 2×10^6 .

6.2.2 Effet de la géométrie de pied de cordon

6.2.2.1 Généralités

Plusieurs méthodes d'évaluation ne prennent pas en compte les effets importants de la géométrie de pied de cordon. Il s'agit des méthodes de contraintes nominales et de contraintes géométriques au point chaud, qui prennent en compte les géométries de pied de cordon des éprouvettes qui ont été soumises à essai pour l'établissement des codes ou des recommandations. Il en résulte une large dispersion des résultats expérimentaux. Il existe deux méthodes d'évaluation qui permettent de tenir compte des effets: la méthode des contraintes d'entaille effectives et l'évaluation par mécanique de rupture.

Les paramètres prépondérants pour les propriétés de fatigue défailant à partir du pied du cordon sont le rayon du pied de cordon, r , l'angle de transition de la soudure, α , la gorge de soudure et les épaisseurs de paroi des plaques assemblées (voir la [Figure 1](#)).

Il a été tenté à plusieurs reprises de dériver les propriétés de fatigue directement à partir de la transition du pied du cordon de soudure. Pour ces calculs, trois paramètres géométriques ont été utilisés, à savoir le rayon de pied de cordon, l'angle de pied de cordon et l'épaisseur de la paroi.

Les formules principalement utilisées pour l'effet d'entaille augmentant la contrainte du pied de cordon ont été élaborées par les Références [18], [19] et [20]. Lors du calcul d'un facteur d'entaille, K_t , on doit prendre en compte le fait que la transition de K_t à K_f dépend du gradient de contraintes dans le sens de l'épaisseur, et donc également de l'épaisseur de la paroi, où K_t est le coefficient de concentration de contrainte géométrique, et K_f est le coefficient de concentration de contrainte effectif pour la fatigue.

Étant donné que les rayons de pied de cordon (r) dépendent principalement du mode opératoire de soudage en atelier, et sont indépendants de l'épaisseur de la paroi, le rapport entre le rayon et l'épaisseur de la paroi (r/t) varie, ce qui entraîne donc une dépendance des propriétés de fatigue de l'épaisseur de la paroi, appelée effet d'épaisseur. Les méthodes de contraintes au point chaud nominales et de structure ne prennent pas en compte les paramètres géométriques du pied de cordon. Elles nécessitent une compensation supplémentaire pour l'effet d'épaisseur de la paroi. Les contraintes d'entaille et la mécanique de rupture tiennent compte de cet effet.

Les valeurs de résistance à la fatigue pour la méthode des contraintes d'entaille effectives (avec rayon modèle de, par exemple, 1 mm) ont été directement dérivées du re-calcul de données expérimentales;