
**Matériaux métalliques — Méthode d'essai
pour la détermination de la ténacité quasi
statique à la rupture des soudures**

*Metallic materials — Method of test for the determination of quasistatic
fracture toughness of welds*

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 15653:2010](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c-355347390b65/iso-15653-2010)

[https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c-
355347390b65/iso-15653-2010](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c-355347390b65/iso-15653-2010)



PDF – Exonération de responsabilité

Le présent fichier PDF peut contenir des polices de caractères intégrées. Conformément aux conditions de licence d'Adobe, ce fichier peut être imprimé ou visualisé, mais ne doit pas être modifié à moins que l'ordinateur employé à cet effet ne bénéficie d'une licence autorisant l'utilisation de ces polices et que celles-ci y soient installées. Lors du téléchargement de ce fichier, les parties concernées acceptent de fait la responsabilité de ne pas enfreindre les conditions de licence d'Adobe. Le Secrétariat central de l'ISO décline toute responsabilité en la matière.

Adobe est une marque déposée d'Adobe Systems Incorporated.

Les détails relatifs aux produits logiciels utilisés pour la création du présent fichier PDF sont disponibles dans la rubrique General Info du fichier; les paramètres de création PDF ont été optimisés pour l'impression. Toutes les mesures ont été prises pour garantir l'exploitation de ce fichier par les comités membres de l'ISO. Dans le cas peu probable où surviendrait un problème d'utilisation, veuillez en informer le Secrétariat central à l'adresse donnée ci-dessous.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 15653:2010

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c-355347390b65/iso-15653-2010>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2010

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de l'ISO à l'adresse ci-après ou du comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Symboles et unités	3
5 Principe	4
6 Choix du type d'éprouvette, de l'orientation de l'éprouvette et de l'emplacement d'entaille	4
6.1 Classification de la surface cible pour l'entaille	4
6.2 Type d'éprouvette	5
6.3 Orientation de l'éprouvette et du plan de la fissure	5
7 Métallographie avant usinage	9
7.1 Évaluation microstructurale des sections macrographiques	9
7.2 Exigences supplémentaires concernant les essais de la zone affectée thermiquement	10
8 Usinage	10
8.1 Tolérances relatives aux dimensions de l'éprouvette	10
8.2 Emplacement de l'entaille des éprouvettes entaillées dans l'épaisseur	11
8.3 Emplacement de l'entaille des éprouvettes entaillées en surface	11
8.4 Usinage de l'entaille	12
9 Préparation de l'éprouvette	16
9.1 Pré-fissuration par fatigue	16
9.2 Rainurage latéral	16
10 Appareillage d'essai, exigences et mode opératoire d'essai	16
11 Examen métallographique après essai	17
11.1 Généralités	17
11.2 Éprouvettes entaillées dans l'épaisseur	17
11.3 Éprouvettes entaillées en surface	17
11.4 Évaluation de l'à-coup (pop-in)	18
12 Analyse après essai	20
12.1 Choix des propriétés de traction	20
12.2 K_{Ic}	21
12.3 δ et J	21
12.4 Exigences de qualification	21
13 Rapport d'essai	25
Annexe A (informative) Exemples d'emplacements de l'entaille	26
Annexe B (informative) Exemples d'examens métallographiques avant essai et après essai	28
Annexe C (normative) Modification des contraintes résiduelles et technique de pré-fissuration	30
Annexe D (normative) Évaluation de l'à-coup (pop-in)	32
Annexe E (informative) Essais sur éprouvette entaillée peu profondément	38
Bibliographie	42

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 (CEI) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les Normes internationales sont rédigées conformément aux règles données dans les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La tâche principale des comités techniques est d'élaborer les Normes internationales. Les projets de Normes internationales adoptés par les comités techniques sont soumis aux comités membres pour vote. Leur publication comme Normes internationales requiert l'approbation de 75 % au moins des comités membres votants.

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.

L'ISO 15653 a été élaborée par le comité technique ISO/TC 164, *Essais mécaniques des métaux*, sous-comité SC 4, *Essais de ténacité — Fracture (F), Pendulum (P), Déchirage (T)*.

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)
ISO 15653:2010
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c-355347390b65/iso-15653-2010>

Matériaux métalliques — Méthode d'essai pour la détermination de la ténacité quasi statique à la rupture des soudures

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie des méthodes permettant de déterminer la ténacité à la rupture en termes de K (facteur d'intensité de contrainte), δ (écartement à fond de fissure, CTOD) et J (équivalent expérimental de l'intégrale J) pour les soudures dans les matériaux métalliques.

La présente Norme internationale complète l'ISO 12135, qui couvre tous les aspects des essais de ténacité à la rupture du métal de base et qui doit être utilisée conjointement avec le présent document. La présente Norme internationale décrit des méthodes de détermination des valeurs en point de la ténacité à la rupture. Elle ne doit pas être considérée comme une façon permettant d'obtenir une courbe R valide (courbe de résistance à la propagation de fissure). Cependant, les méthodes de préparation des éprouvettes décrites dans la présente Norme internationale peuvent être employées utilement lors de la détermination des courbes R pour les soudures. Les méthodes utilisent des éprouvettes pré-fissurées par fatigue qui ont été entaillées, après soudage, dans une surface cible spécifique de la soudure. Les méthodes sont décrites pour évaluer l'adaptabilité d'une soudure au placement des entailles dans la surface cible qui se trouve soit dans la zone fondue soit dans la zone de soudure affectée thermiquement (ZAT) puis, en cas de besoin, pour évaluer l'efficacité de la fissuration par fatigue lors de l'échantillonnage de ces surfaces.

ISO 15653:2010

2 Références normatives

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c-355347390b65/iso-15653-2010>

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 3785, *Matériaux métalliques — Désignation des axes des éprouvettes en relation avec la texture du produit*

ISO 12135, *Matériaux métalliques — Méthode unifiée d'essai pour la détermination de la ténacité quasi statique*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 12135 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

largeur de la zone d'émoussement

LZE

augmentation de la longueur de fissure associée à l'émoussement à l'extrémité de la fissure — c'est-à-dire avant le début de la propagation instable de la fissure, de l'à-coup (voir 3.3) ou de la propagation lente de la fissure — et survenant dans le même plan que la pré-fissure de fatigue

3.2

surface cible

position prévue de l'extrémité de la fissure de fatigue dans la zone fondue ou la ZAT

NOTE Voir 3.7 et 3.9.

3.3

**à-coup
pop-in**

discontinuité brutale dans l'enregistrement de la force en fonction du déplacement, caractérisée par une augmentation soudaine du déplacement accompagnée généralement par une diminution soudaine de la force, après quoi le déplacement et la force croissent de nouveau ensemble après l'à-coup (pop-in) au-delà de leurs valeurs atteintes par la force après l'à-coup (pop-in)

3.4

compression locale

compression contrôlée appliqué aux éprouvettes dans le sens de l'épaisseur sur le ligament non entaillé avant la fissuration par fatigue en utilisant des plateaux en acier trempé

NOTE Voir Annexe C.

3.5

soudage

opération au cours de laquelle au moins deux pièces sont unifiées par chaleur, frottement, pression ou les trois, de façon à ce que la nature du métal entre ces pièces soit continue

NOTE Un métal d'apport, dont la température de fusion est sensiblement égale à celle du métal de base, peut être utilisé ou non.

ITeH STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

3.6

soudure

union de pièces de métal par soudage

[ISO 15653:2010](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c-355347390b65/iso-15653-2010)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c-355347390b65/iso-15653-2010>

3.7

zone fondue

totalité du métal fondu pendant la fabrication d'une soudure et retenu dans la soudure

3.8

métal de base

métal à joindre par soudage

3.9

zone affectée thermiquement

ZAT

zone du métal de base métallurgiquement affectée par la chaleur de soudage

3.10

ligne de fusion

LF

jonction entre la zone fondue et la zone affectée thermiquement du métal de base

3.11

soudure

S

position cible pour l'extrémité de la fissure de fatigue définie par rapport à une ligne de référence

NOTE Voir Figure A.1 pour les exemples.

3.12**microstructure spécifique****MS**

microstructure cible pour l'extrémité de la fissure de fatigue

NOTE Voir Figure A.2 pour les exemples.

3.13**ébauche d'éprouvette**

éprouvette préparée à partir de zone fondue et de métal de base avant entaillage

3.14**traitement thermique après soudage**

traitement thermique appliqué après soudage afin de réduire les contraintes résiduelles ou de modifier les propriétés de la soudure

4 Symboles et unités

Pour les besoins du présent document, les symboles et unités donnés dans l'ISO 12135 ainsi que ceux donnés dans le Tableau 1 s'appliquent.

Tableau 1 — Symboles et unités

Symbole	Unité	Désignation
d_1, d_2	mm	Longueurs des caractéristiques microstructurales associées à l'à-coup (pop-in)
h	mm	Largeur de soudure efficace, définie comme étant la distance la plus courte entre l'extrémité de la fissure de fatigue et la ligne de fusion de la soudure dans les 75 % centraux de l'épaisseur (voir Figures 13 et 14)
HV10		Dureté Vickers utilisant une force de 10 kg
N		Dans le plan normal à la direction de soudage
P		Dans le plan parallèle à la direction de soudage
Q		Direction suivant l'épaisseur de la soudure
$R_{p0,2b}$	MPa	Limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 % du métal de base à la température de l'essai de rupture
$R_{p0,2w}$	MPa	Limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 % du métal soudé à la température de l'essai de rupture
R_{mb}	MPa	Résistance à la traction du métal de base à la température de l'essai de rupture
R_{mw}	MPa	Résistance à la traction de la zone fondue à la température de l'essai de rupture
s_1	mm	Distance entre l'extrémité de la fissure et la surface cible mesurée dans le plan de fissure (voir Figure 12)
s_2	mm	Distance entre l'extrémité de la fissure et la surface cible mesurée perpendiculairement au plan de fissure (voir Figure 12)
V, V_1, V_2	mm	Écartement à fond de fissure
X		Direction parallèle au fibrage principal du métal de base
Y		Direction transversale au fibrage principal et à l'épaisseur du métal de base
Z		Direction suivant l'épaisseur du métal de base
Δa_{pop}	mm	Longueur maximale de la propagation de fissure fragile (au-delà de la LZE, voir 3.1) associée à l'à-coup
λ	mm	Longueur de la microstructure spécifique mesurée lors de la métallographie avant essai ou après essai (voir Figure B.2)

5 Principe

La présente Norme internationale spécifie des modes opératoires permettant de déterminer la ténacité à la rupture sur des éprouvettes entaillées et préfissurées par fatigue prélevées sur des soudures. Elle s'applique dans les cas où l'extrémité de la fissure est

- a) située par rapport à une caractéristique de soudure d'intérêt, appelée «soudure» (S);
- b) spécifiquement située dans une microstructure d'intérêt, appelée «microstructure spécifique» (MS).

L'examen métallographique de la soudure est utilisé pour confirmer que la caractéristique de soudure cible et/ou la microstructure est bien présente au niveau de l'extrémité de la fissure et en quantité suffisante pour l'essai.

La géométrie et l'orientation de l'entaille de l'éprouvette sont choisies et une fissure de fatigue est ensuite propagée depuis l'extrémité de l'entaille de l'éprouvette dans la caractéristique de soudure cible ou la microstructure en appliquant une force alternative contrôlée sur l'éprouvette. L'objectif de l'essai est de déterminer la ténacité à la rupture de la soudure en l'absence de contraintes de soudage significatives. Pour réaliser cela et pour produire une fissure de fatigue à front droit, des modifications peuvent être apportées à la méthode de préfissuration par fatigue. Ces modifications sont généralement nécessaires lorsque des soudures brutes de soudage ou dont les contraintes résiduelles sont partiellement relaxées sont testées.

L'essai de ténacité à la rupture est réalisé et évalué conformément à l'ISO 12135, mais est soumis aux exigences supplémentaires de la présente méthode d'essai concernant l'analyse (voir 12.1, 12.2 et 12.3) et la qualification (voir 12.4) après essai.

Un examen métallographique après essai est souvent nécessaire pour vérifier que l'extrémité de la fissure se situait dans la zone et/ou la microstructure cible de la soudure et pour déterminer l'importance des à-coups (pop-ins).

L'ordre des opérations est résumé à la Figure 1.

ISO 15653:2010
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c-355347390b65/iso-15653-2010>

6 Choix du type d'éprouvette, de l'orientation de l'éprouvette et de l'emplacement d'entaille

6.1 Classification de la surface cible pour l'entaillage

Une éprouvette sélectionnée pour l'essai de la soudure (S) est destinée à tester une région de soudure définie par rapport à une position de référence (par exemple l'axe de la zone fondue).

Une éprouvette sélectionnée pour l'essai de la microstructure spécifique (MS) est destinée à échantillonner une microstructure spécifique sur tout ou partie de la longueur du front de fissure dans les 75 % centraux de l'épaisseur de l'éprouvette.

NOTE Des exemples d'emplacements d'entaille S et MS sont donnés à l'Annexe A.

Les emplacements d'entaille sur l'axe de la zone fondue S, échantillonnant en majorité les régions affinées, peuvent donner des valeurs erronées (trop élevées) de ténacité à la rupture pour les soudures en deux passes désalignées et multi-passes parallèles. Pour ces soudures, il est recommandé d'utiliser les emplacements d'entaille SM décrits aux Figures A.2 iv) et A.2 v), respectivement.

6.2 Type d'éprouvette

L'éprouvette doit être une éprouvette de flexion entaillée sur une seule face ou compacte, comme défini dans l'ISO 12135, et peut avoir des chanfreins lisses ou comporter des rainures latérales. Les éprouvettes de flexion entaillées dans l'épaisseur de la tôle (voir Figures 2, 3 et 4, éprouvettes de métal de base XY et YX, et éprouvettes de zone fondue NP et PN) sont appelées éprouvettes entaillées dans l'épaisseur, tandis que celles entaillées dans la surface plane de la tôle (voir Figures 2, 3 et 4, éprouvettes de métal de base XZ et YZ, et éprouvettes de zone fondue NQ et PQ) sont appelées éprouvettes entaillées en surface.

NOTE Les tolérances relatives aux dimensions de l'éprouvette de soudure sont moins strictes que celles relatives à l'essai du métal de base (voir 8.1).

Les éprouvettes doivent avoir une dimension B ou W (voir Figure 5) égale à l'épaisseur totale du métal de base adjacent à la soudure à tester (à l'exclusion du bourrelet du cordon de soudure).

L'essai d'éprouvettes sous-dimensionnées (c'est-à-dire B ou $W <$ épaisseur totale dans les directions Q pour la soudure et Z pour le métal de base aux Figures 2, 3 et 4) et/ou à rainures latérales est autorisé, mais doit être clairement identifié en tant que tel dans le rapport d'essai. Les résultats des éprouvettes sous-dimensionnées et/ou à rainures latérales peuvent être différents de ceux des éprouvettes d'épaisseur totale en raison des effets de taille et/ou des différentes régions microstructurales testés.

6.3 Orientation de l'éprouvette et du plan de la fissure

L'orientation de l'éprouvette et du plan de la fissure par rapport aux directions de travail de la zone fondue et du métal de base doit être définie à l'aide du système d'identification décrit aux Figures 2, 3 et 4.

iteh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

[ISO 15653:2010](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c-355347390b65/iso-15653-2010)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c-355347390b65/iso-15653-2010>

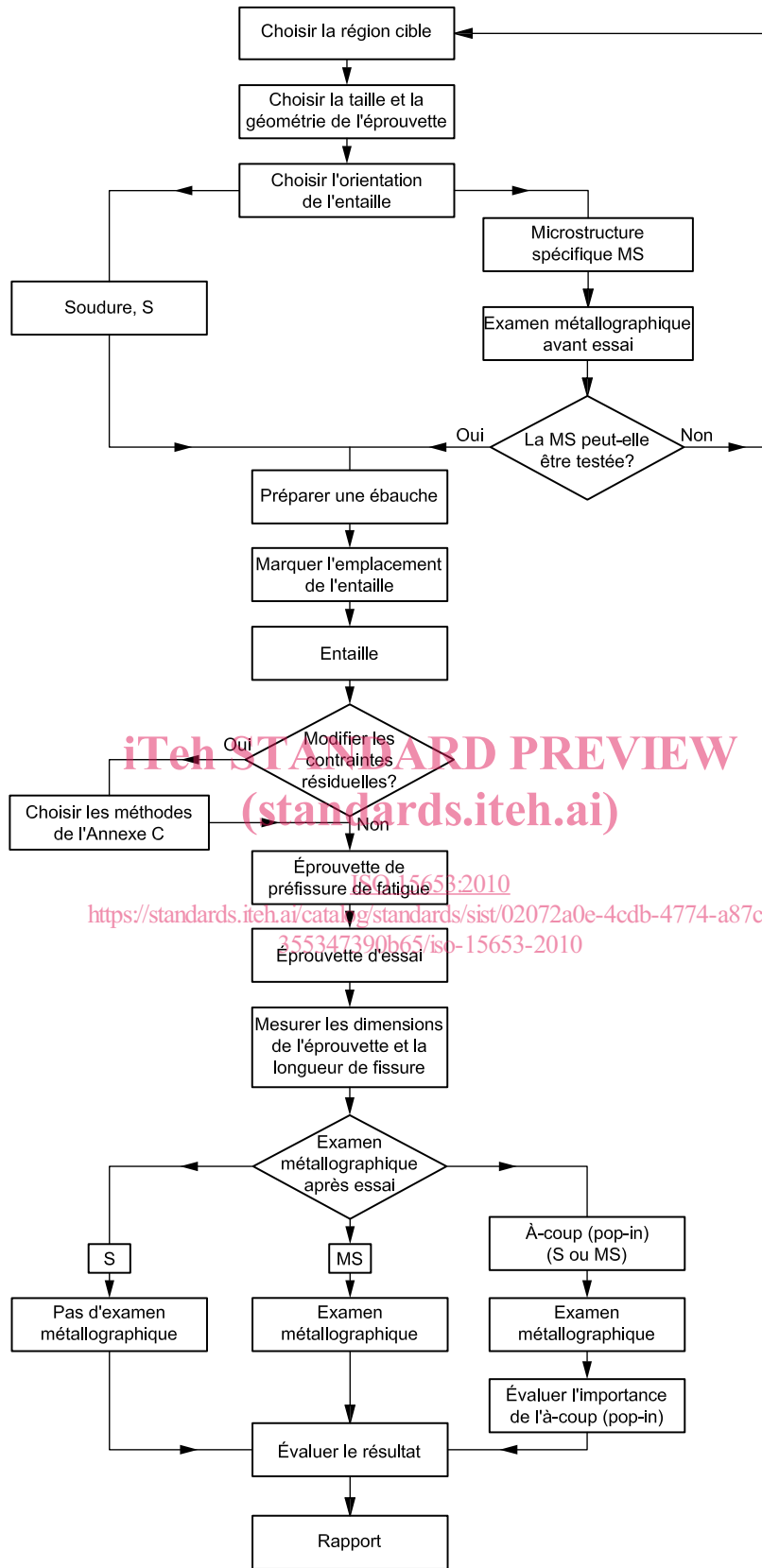
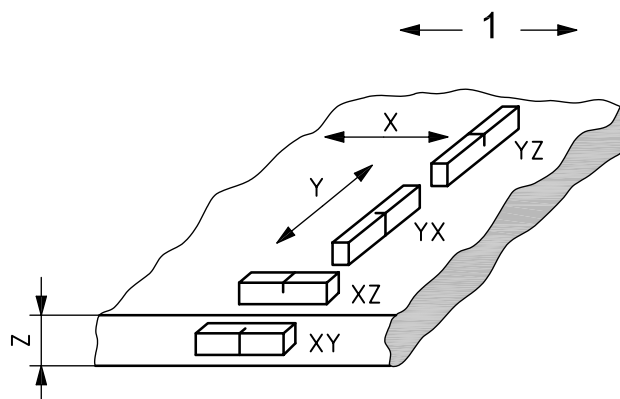
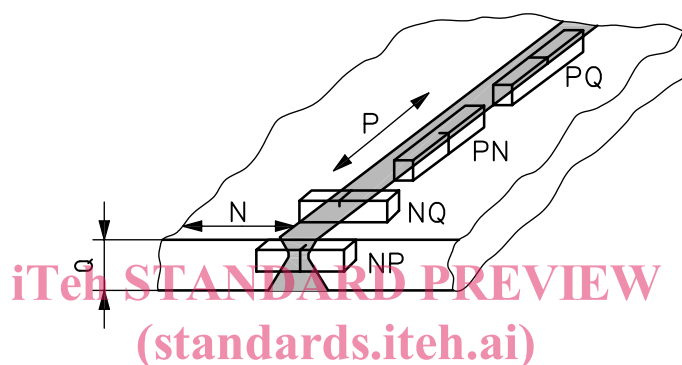


Figure 1 — Logigramme des essais



a) Métal de base



b) Zone fondue

Légende

1 direction de laminage

N = dans le plan normal à la direction de soudage

P = dans le plan parallèle à la direction de soudage

Q = direction suivant l'épaisseur de la soudure

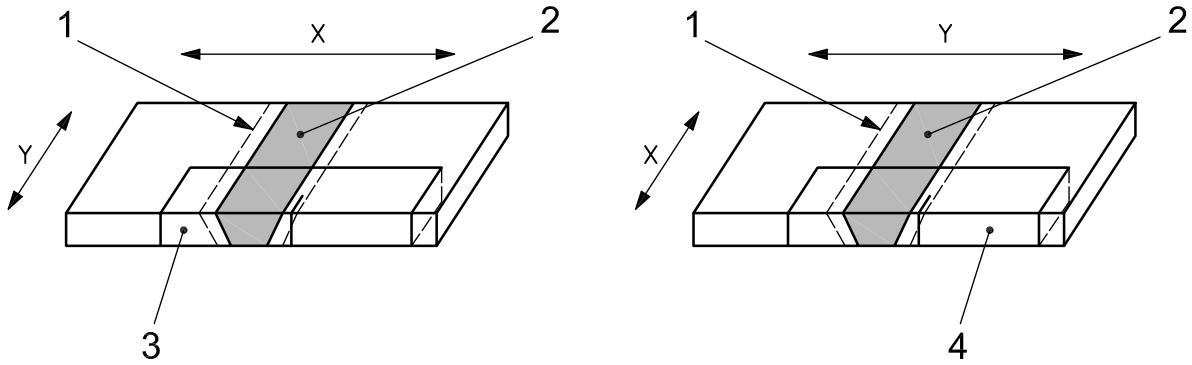
Première lettre dans la désignation: direction normale au plan de la fissure.

Deuxième lettre dans la désignation: direction prévue de la propagation de la fissure.

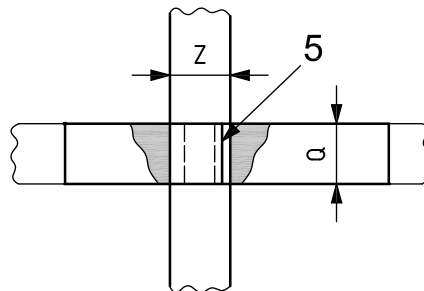
Voir l'ISO 3785 pour la définition de X, Y et Z.

Les orientations des éprouvettes NP et PN sont dites entaillées dans l'épaisseur, tandis que les orientations des éprouvettes NQ et PQ sont dites entaillées en surface.

Figure 2 — Code d'orientation du plan de fissure pour les éprouvettes de ténacité à la rupture du métal de base et de la zone fondue



a) Soudure bout à bout courante



iTeh STANDARD PREVIEW

b) Assemblage en croix
(standards.iteh.ai)

Légende

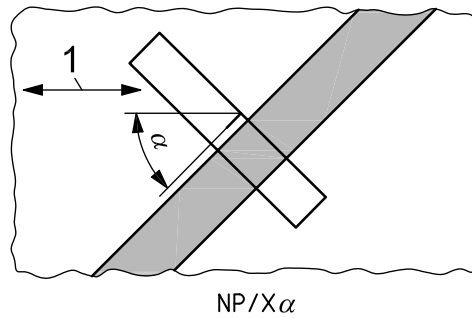
- 1 ZAT
- 2 soudure
- 3 orientation de l'éprouvette de soudure NP/XY
- 4 orientation de l'éprouvette de soudure NP/YX
- 5 fissure traversante NP/ZX ou NP/ZY

X = direction de laminage

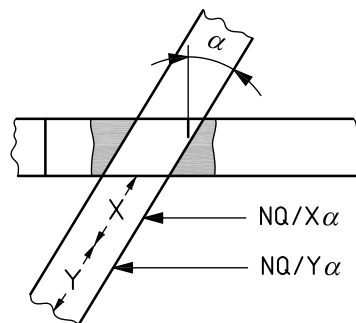
Q = direction suivant l'épaisseur de la soudure

Pour les essais de la ZAT, lorsque la direction de laminage du métal de base peut affecter la résistance à la propagation de la fissure, les orientations de la zone fondue et du métal de base peuvent être combinées pour donner la direction de soudage et la direction de laminage du métal de base, comme indiqué dans la présente figure et à la Figure 4.

Figure 3 — Code d'orientation du plan de fissure pour les éprouvettes de ténacité à la rupture testant la ZAT de la soudure bout à bout courante et de l'assemblage en croix



a) Soudure bout à bout courante



b) Assemblage en croix coudé

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

Légende

1 direction de laminage

ISO 15653:2010

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/02072a0e-4cdb-4774-a87c->

Pour les essais de la ZAT, lorsque la direction de laminage du métal de base peut affecter la résistance à la propagation de la fissure, les orientations de la zone fondue et du métal de base peuvent être combinées pour donner la direction de soudage et la direction de laminage du métal de base, comme indiqué dans la présente figure et à la Figure 3.

Figure 4 — Code d'orientation du plan de fissure pour les éprouvettes de ténacité à la rupture testant la ZAT à un angle α par rapport à la direction de laminage du métal de base de la soudure bout à bout courante et de l'assemblage en croix coudé

7 Métallographie avant usinage

7.1 Évaluation microstructurale des sections macrographiques

Lorsque la surface cible de l'entaille est définie comme étant MS, soit les sections macrographiques séparées soit les extrémités des soudures doivent être préparées de telle façon que le plan de la section soit perpendiculaire à la direction de soudage. Ces sections de soudure transversales doivent correspondre à la longueur de soudure à tester pour garantir la présence de la microstructure cible au niveau de la position prévue de l'extrémité de la fissure et en quantité suffisante pour l'essai. Les sections macrographiques doivent être polies, attaquées et examinées à un grossissement permettant d'identifier la surface cible avant de fabriquer une éprouvette. Si des sections macrographiques séparées sont préparées, leur position sur la soudure doit être consignée.