
**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 Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

ISO 15653:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/a21413c5-69c7-4044-8848-f7931828fc2a/iso-15653-2018>



iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

ISO 15653:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/a21413c5-69c7-4044-8848-f7931828fc2a/iso-15653-2018>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2018

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en oeuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

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

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos.....	v
1 Domaine d'application.....	1
2 Références normatives.....	1
3 Termes et définitions.....	1
4 Symboles et unités (et abréviations).....	3
5 Principe.....	4
6 Choix du type d'éprouvette, de l'orientation et de l'emplacement d'entaille.....	4
6.1 Classification de la surface cible pour l'entaillage.....	4
6.2 Type d'éprouvette.....	4
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 en 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.....	11
9 Préparation de l'éprouvette.....	16
9.1 Préfissuration par fatigue.....	16
9.2 Rainurage latéral.....	17
10 Appareillage d'essai, exigences et mode opératoire d'essai.....	17
11 Examen métallographique après essai.....	17
11.1 Généralités.....	17
11.2 Éprouvettes entaillées dans l'épaisseur.....	17
11.2.1 Coupe.....	17
11.2.2 Caractérisation.....	17
11.3 Éprouvettes entaillées en surface.....	18
11.3.1 Coupe.....	18
11.3.2 Caractérisation.....	18
11.4 Caractérisation des pop-ins.....	18
12 Analyse après essai.....	21
12.1 Choix des propriétés de traction.....	21
12.2 Détermination de la ténacité à la rupture.....	22
12.2.1 K_{Ic}	22
12.2.2 δ	22
12.2.3 J	23
12.2.4 Éprouvettes de flexion entaillées peu profondément.....	23
12.3 Exigences de qualification.....	24
12.3.1 Généralités.....	24
12.3.2 Rapport de la largeur de soudure au ligament de la fissure.....	24
12.3.3 Rectitude du front de fissure.....	24
12.3.4 Symboles utilisés pour identifier les valeurs de ténacité à la rupture.....	26
12.3.5 Éprouvettes entaillées dans l'épaisseur.....	26
12.3.6 Éprouvettes entaillées en surface.....	26
13 Rapport d'essai.....	27
Annexe A (informative) Exemple d'emplacements de l'entaille.....	28
Annexe B (informative) Exemples d'examens métallographiques avant essai et après essai.....	30

Annexe C (informative) Modification des contraintes résiduelles et technique de préfissuration	32
Annexe D (normative) Caractérisation des pop-ins	36
Annexe E (informative) Essais sur éprouvette à entaille peu profonde	42
Bibliographie	45

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

ISO 15653:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/a21413c5-69c7-4044-8848-f7931828fc2a/iso-15653-2018>

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 attirée 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/avant-propos.

Ce document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 164, *Essais mécaniques des métaux, sous comité SC 4, Essais de ténacité — Essais de ténacité — Fracture (F), Pendulum (P), Déchirage (T)*.

Cette deuxième édition annule et remplace la première (ISO 15653:2010), qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications par rapport à la précédente édition sont les suivantes:

- Nouvelle formule pour le calcul de la détermination en seul point du CTOD ([12.2.2](#)) a été ajoutée
- L'introduction pour la flexion inversée en [C.3](#) a été ajoutée
- L'évaluation du pop-in en [D.1](#) a été clarifiée
- Nouvelle formule pour le calcul de la détermination en seul point du CTOD dans les éprouvettes à entaille peu profonde en [E.4](#) a été ajoutée

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

1 Domaine d'application

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

Ce document 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. Ce document décrit des méthodes de détermination des valeurs ponctuelles de la ténacité à la rupture. Elle ne doit pas être considérée comme étant une méthode permettant d'obtenir une courbe R valide (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. La présente méthode utilise des éprouvettes préfissurées 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 à l'emplacement 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 la traversée de ces surfaces.

2 Références normatives

Les documents suivants, sont référencés de telle façon dans le texte que leur contenu en partie ou en totalité constitue des exigences pour le 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 12135:2016, *Matériaux métalliques — Méthode unifiée d'essai pour la détermination de la ténacité quasi statique*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de ce document, les termes et définitions données dans l'ISO 12135 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et le CEI maintiennent des bases de données terminologiques pour l'utilisation en normalisation disponibles aux adresses suivantes:

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

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 fissure, de *pop-in* (3.3) ou de la propagation lente de fissure, et survenant dans le même plan que la fissure de fatigue

3.2

surface cible

position prévue de l'extrémité de la fissure de fatigue dans *la zone fondue* (3.7) ou la ZAT (3.9)

3.3

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 au-delà de leurs valeurs respectives au début de la discontinuité

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 1 à l'article: 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 1 à l'article: à l'article On peut utiliser du métal d'apport dont la température de fusion est du même ordre de grandeur que celle du métal de base.

3.6

soudure

union de pièces de métal par *soudage* (3.5)

3.7

zone fondue

totalité du métal fondu pendant la fabrication d'une *soudure* (3.6) et retenu dans la soudure

3.8

métal de base

métal à assembler par *soudage* (3.5)

3.9

zone affectée thermiquement

ZAT

zone du métal de base dont la structure métallurgique est affectée par la chaleur du *soudage* (3.5)

3.10

ligne de fusion

LF

jonction entre la *zone fondue* (3.7) et la zone affectée thermiquement du *métal de base* (3.8)

3.11

position de la soudure

S

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

Note 1 à l'article: voir [Figure A.1](#) pour les exemples

3.12

microstructure spécifique

MS

microstructure cible pour l'extrémité de la fissure de fatigue

Note 1 à l'article: voir [Figure A.2](#) pour les exemples

3.13

ébauche d'éprouvette

éprouvette préparée à partir de *zone fondue* (3.7) et de *métal de base* (3.8) avant entaillage

3.14

traitement thermique après soudage

traitement thermique appliqué après *soudage* (3.5) afin de réduire les contraintes résiduelles ou de modifier les propriétés de la *soudure* (3.6)

4 Symboles et unités (et abréviations)

Pour les besoins du présent document, les symboles et les unités donnés dans le [Tableau 1](#) s'appliquent en plus de ceux de l'ISO 12135.

Tableau 1 — Symboles, unités

Symbole	Unité	Désignation
d_1, d_2	mm	Longueurs des caractéristiques microstructurales associées au 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 % de la zone fondue 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	mm	Écartement à fond de fissure au bord d'entaille pour les éprouvettes de flexion et à la ligne de charge pour les éprouvettes compactes.
V_g	mm	Déplacement mesuré par extensomètre monté sur les bords de couteau.
V_{g1}	mm	Déplacement mesuré par l'arrangement d'extensomètre double décrit en E.3 et illustré à la Figure E.1 .
V_{g2}	mm	Déplacement mesuré par l'arrangement d'extensomètre double décrit en E.3 et illustré à la Figure E.1 .
X		Direction parallèle au fibrage principal du métal de base.
Y		Direction transversale au fibrage principal du métal de base.
Z		Direction à travers 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 au pop-in.
λ	mm	Longueur de la microstructure spécifique mesurée lors de la métallographie avant ou après l'essai, (voir Figure B.2).

5 Principe

Ce document spécifie des modes opératoires permettant de déterminer la ténacité à la rupture sur des éprouvettes entaillées et préfissurées par fatigue prélevées dans 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 «position de la soudure» (S); et
- 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 obtenir un matériau sans contrainte 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 caractérisées.

L'essai de ténacité à la rupture est réalisé et caractérisé conformément à l'ISO 12135, mais est soumis aux exigences supplémentaires de la présente méthode d'essai concernant l'analyse ([12.2.1](#), [12.2.2](#) et [12.2.3](#)) et la qualification ([12.3](#)) 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 pop-ins.

L'ordre des opérations est résumé à la [Figure 1](#).

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

6.1 Classification de la surface cible pour l'entailage

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 spécifiée 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 dans 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 d\) et e\)](#), respectivement.

6.2 Type d'éprouvette

L'éprouvette doit être une éprouvette de flexion trois points ou compacte, comme il est défini dans l'ISO 12135 et peut avoir des côtés 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 ([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 caractériser (à l'exclusion du bourrelet du cordon de soudure).

L'essai d'éprouvettes de section réduite (c'est-à-dire, B ou W < épaisseur totale dans les directions Q pour la soudure et Z pour le métal de base dans les [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 à section réduite 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 caractérisées.

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 dans les [Figures 2, 3 et 4](#).

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

ISO 15653:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/a21413c5-69c7-4044-8848-f7931828fc2a/iso-15653-2018>

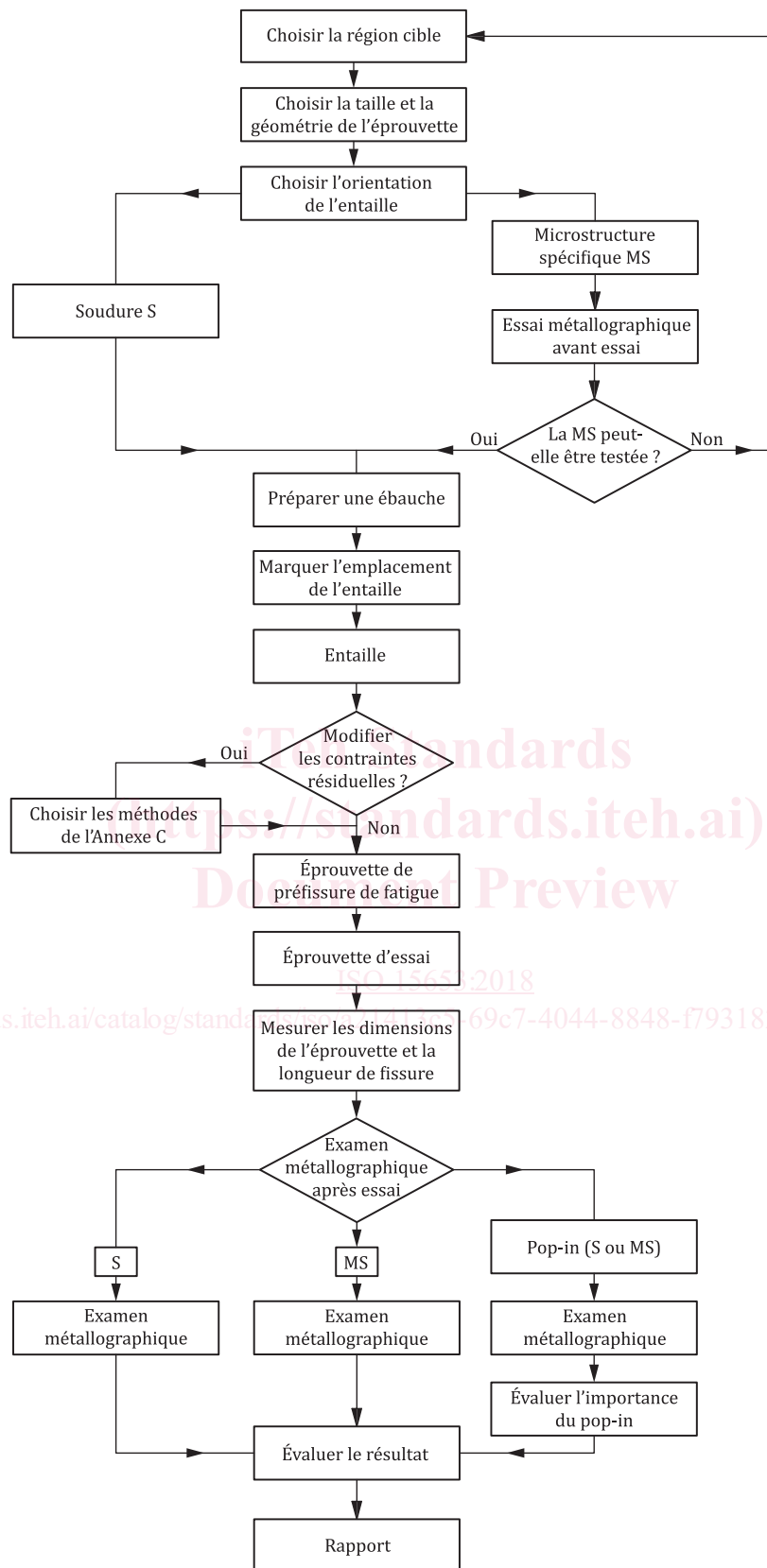
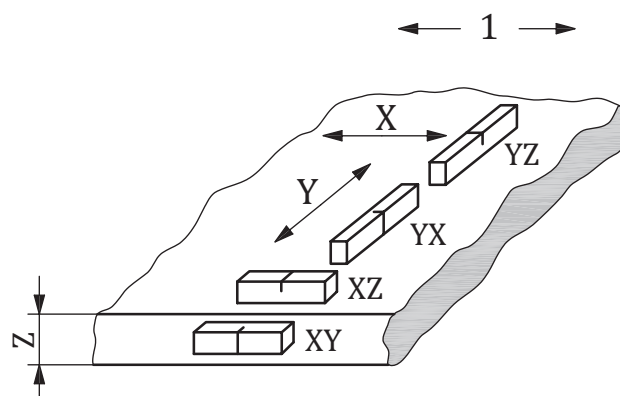
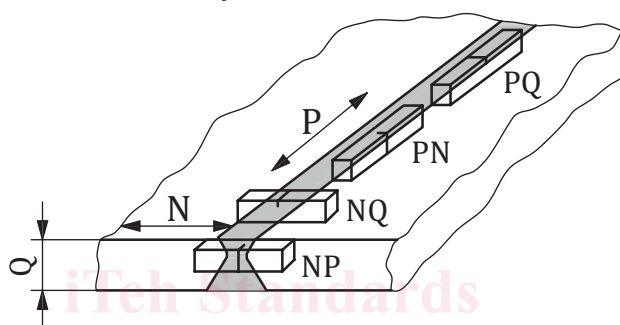


Figure 1 — Logigramme des essais



a) métal de base



b) zone fondue

Légende

1 sens 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

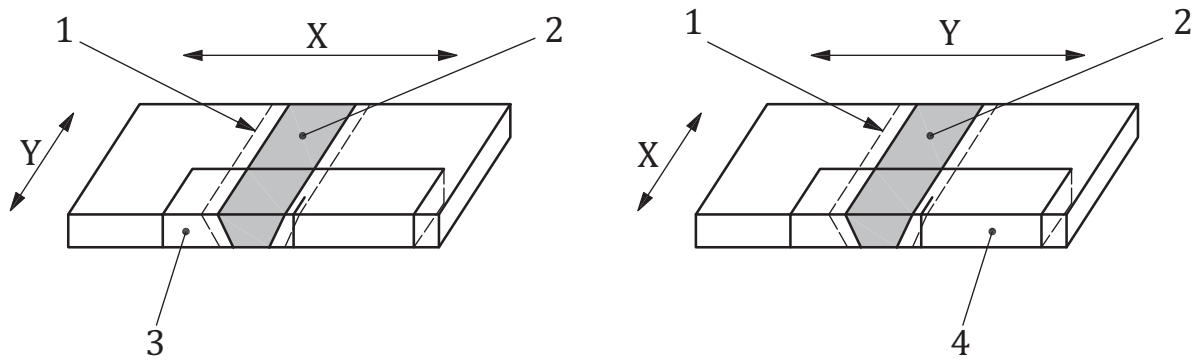
NOTE 1 Première lettre: direction normale au plan de la fissure.

NOTE 2 Deuxième lettre: direction prévue de la propagation de la fissure.

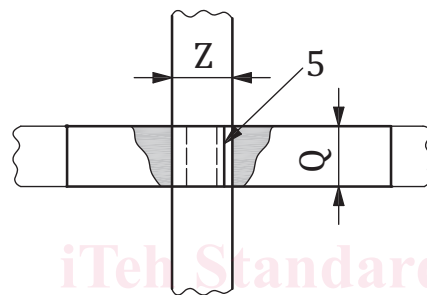
NOTE 3 Voir l'ISO 3785 pour la définition de X, Y et Z.

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

Comme indiqué à la [Figure 2](#), 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.



a) joint normal bout-à-bout de raboutage



b) assemblage en croix

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, X
- Q direction de l'épaisseur de soudure

NOTE 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 il est indiqué dans cette Figure et à la Figure 4).

Figure 3 — Code d'orientation du plan de fissuration pour les essais en zone thermiquement affectée pour les éprouvettes de ténacité pour un joint normal bout-à-bout de raboutage et pour un assemblage en croix