NORME INTERNATIONALE

ISO 16842

Première édition
2014-10-01

Matériaux métalliques — Tôles et bandes — Méthode d'essai de traction biaxiale sur éprouvette cruciforme

Metallic materials — Sheet and strip — Biaxial tensile testing method using a cruciform test piece

Numéro de référence
ISO 16842:2014(F)

© ISO 2014



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2014

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
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**

Introduction ..... **v**

1 Domaine d'application **1**

2 Références normatives **1**

3 Termes et définitions **1**

4 Principe **2**

5 Eprouvette **2**
5.1 Forme et dimensions 2
5.2 Préparation des éprouvettes 3

6 Méthode d'essai **4**
6.1 Machine d'essai 4
6.2 Méthode de mesure de la force et de la déformation 5
6.3 Mise en place de l'éprouvette sur une machine d'essai de traction biaxiale 6
6.4 Méthodes d'essai 7

7 Détermination des courbes contraintes-déformation biaxiales **7**
7.1 Généralités 7
7.2 Détermination de l'aire initiale de la section transversale de l'éprouvette 7
7.3 Détermination de la contrainte vraie 7
7.4 Détermination de la déformation vraie 8
7.5 Détermination de la déformation plastique vraie 9

8 Rapport d'essai **11**
8.1 Informations dans le rapport 11
8.2 Note complémentaire 12

Annexe A (informative) **Méthode de mesure d'une surface d'écoulement** **13**

Annexe B (informative) **Facteurs influençant la déformation plastique équivalente maximale applicable à la zone calibrée de l'éprouvette cruciforme** **18**

Annexe C (informative) **Machine d'essai de traction biaxiale** **21**

Bibliographie **25**

© ISO 2014 – Tous droits réservés

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 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'OMC concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir le lien suivant:

Avant-propos — Informations supplémentaires.

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 164, *Essais mécaniques des métaux*, sous-comité SC 2, *Essais de ductilité*.

 © ISO 2014 – Tous droits réservés

Introduction

La présente Norme internationale spécifie la méthode d'essai pour mesurer les courbes contrainte-déformation biaxiales des tôles métalliques soumises à une traction biaxiale pour un rapport de contrainte arbitraire sur une éprouvette cruciforme provenant de tôles métalliques planes. La Norme internationale s'applique à la forme et à la position du mesurage de la déformation de l'éprouvette cruciforme. La machine d'essai de traction biaxiale est décrite à l'Annexe C, seulement en termes d'exemples typiques de machine et d'exigences qu'il convient que la machine remplisse.

L'éprouvette cruciforme recommandée dans la présente Norme internationale présente les caractéristiques suivantes:

a) la zone calibrée de l'éprouvette assure une homogénéité élevée de la contrainte, permettant un mesurage de la contrainte biaxiale avec une exactitude satisfaisante;

b) capacité à mesurer le comportement en déformation élasto-plastique des tôles métalliques à des rapports de vitesse de contrainte ou de déformation arbitraires;

c) absence de déformations en dehors du plan comme cela est escompté dans la méthode d'essai de gonflement hydraulique;

d) facile à fabriquer à partir d'une tôle métallique plane par découpe laser, découpe au jet d'eau ou d'autres méthodes alternatives de fabrication.

© ISO 2014 – Tous droits réservés

Matériaux métalliques — Tôles et bandes — Méthode d'essai de traction biaxiale sur éprouvette cruciforme

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie la méthode pour déterminer les courbes contrainte-déformation des tôles métalliques soumises à une traction biaxiale au moyen d'une éprouvette cruciforme fabriquée à partir d'un échantillon de tôle métallique. L'épaisseur applicable de la tôle doit être de 0,1 mm ou plus et 0,08 fois ou moins la largeur du bras de l'éprouvette cruciforme (voir Figure 1). La température d'essai doit se situer entre 10 °C et 35 °C. Le niveau de déformation plastique applicable à la zone calibrée de l'éprouvette cruciforme dépend du rapport de force, de la largeur entaillée des bras, du coefficient d'écrouissage (valeur *n*) (voir Annexe B), et de l'anisotropie du matériau soumis aux essais.

2 Références normatives

Les documents suivants, en tout ou partie, sont référencés de façon normative dans le présent document et sont indispensables à son application. 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 10275, *Matériaux métalliques — Tôles et bandes — Détermination du coefficient d'écrouissage en traction*

ISO 80000-1, *Grandeurs et unités — Partie 1: Généralités*

3 Termes et définitions

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

3.1
éprouvette cruciforme
éprouvette qui est recommandée pour l'essai de traction biaxiale et dont la géométrie est spécifiée dans la présente Norme internationale (voir Figure 1)

3.2
zone calibrée
zone carrée qui est située dans le milieu de l'éprouvette cruciforme et est délimitée par les quatre bras de l'éprouvette cruciforme (voir Figure 1)

3.3
bras
nom générique pour toutes les zones autres que la zone calibrée dans l'éprouvette cruciforme. Le bras joue un rôle de transmission des forces de traction dans deux directions orthogonales à la zone calibrée de l'éprouvette cruciforme (voir Figure 1)

3.4
machine d'essai de traction biaxiale
machine d'essai pour appliquer les forces de traction biaxiales à une éprouvette cruciforme dans les directions orthogonales parallèles aux bras de l'éprouvette (voir Annexe C)

© ISO 2014 – Tous droits réservés

3.5
surface d'écoulement
groupe de contraintes déterminé dans un espace de contraintes, pour lequel un métal commence la déformation plastique lorsqu'il est soumis à un essai passant de la région élastique à la région plastique[1] (voir Annexe A)

3.6
fonction d'écoulement
fonction mathématique utilisée pour générer l'équation d'état (critère d'écoulement) qu'il convient que les composantes de la contrainte satisfassent lorsque le matériau soumis à la contrainte se trouve à l'état de déformation plastique (voir Annexe A)

3.7
contour du travail plastique
figure graphique déduite en soumettant le matériau à une déformation plastique selon différents chemins de contrainte linéaires et en traçant les points de contrainte dans l'espace des contraintes au moment où le travail plastique consommé par unité de volume le long de chaque chemin de contrainte devient identique et où les points de contrainte tracés font l'objet d'une approximation sous forme d'une courbe lisse ou d'une surface incurvée (voir Annexe A).

4 Principe

Le mesurage est réalisé à température ambiante, pour la limite d'élasticité et les courbes contrainte-déformation des tôles métalliques sous contraintes de traction biaxiales en mesurant simultanément et en continu les forces de traction biaxiales et les composantes de déformation appliquées à la zone calibrée d'une éprouvette cruciforme pendant l'application de forces de traction biaxiales dans les directions orthogonales parallèles aux bras de l'éprouvette. L'éprouvette est une tôle métallique plane et présente une épaisseur uniforme. Les courbes contraintes-déformation biaxiales mesurées sont utilisées pour déterminer les contours du travail plastique des échantillons de tôle (voir Annexe A). A partir des analyses aux éléments finis de l'éprouvette cruciforme telles que recommandées dans l'Article 5 et de la position du mesurage de la déformation comme spécifiée au 6.2.4, l'erreur de calcul de la contrainte est estimée être inférieure à 2,0 %.[1][3]

5 Eprouvette

5.1 Forme et dimensions

La Figure 1 montre la forme et les dimensions de l'éprouvette cruciforme recommandée dans la présente Norme internationale. L'éprouvette doit être comme décrite ci-après.

a) En principe, l'épaisseur d'une éprouvette, a, doit être la même que celle de l'échantillon de tôle, brut de réception, sans aucune transformation réalisée dans la direction de l'épaisseur. Voir 5.1 b) pour une exception à la règle.

b) Il convient que la largeur du bras, B, soit de 30 mm ou plus, sauf que B peut être défini conformément à l'accord entre les parties concernées par la transaction. Elle doit satisfaire $a \leq 0{,}08B$ et il convient qu'elle présente une exactitude de ± 0,1 mm pour les quatre bras. L'épaisseur de la tôle peut être réduite pour satisfaire $a \leq 0{,}08B$ conformément à un accord entre les parties concernées par la transaction.

c) Sept entailles par bras doivent être pratiquées. Spécifiquement, une entaille doit être pratiquée sur l'axe central (axe x ou y) de l'éprouvette avec une exactitude de ± 0,1 mm et trois entailles doit être pratiquées à un intervalle de $B/8$ avec une exactitude de positionnement de ± 0,1 mm de part et d'autre de l'axe central. Toutes les entailles doivent avoir la même longueur, L, et il convient que cette longueur soit exacte à ± 0,1 mm. Il convient que la relation $B \leq L \leq 2B$ soit vérifiée. Les extrémités opposées de l'entaille doivent être pratiquées à égale distance, $B_{Sx}/2$ et $B_{Sy}/2$, avec une exactitude de positionnement de $B/2$ ± 0,1 mm.

© ISO 2014 – Tous droits réservés

d) Il convient que la largeur d'entaille, w_S, soit la plus petite possible (voir Figure B.2), de préférence inférieure à 0,3 mm.

e) La longueur de la zone de serrage, C, est considérée être suffisante si cela permet de maintenir l'éprouvette dans les ancrages de la machine d'essai de traction biaxiale et de transmettre la force de traction nécessaire à l'éprouvette. La longueur de serrage standard serait de $B/2 \leq C \leq B$, mais peut être définie arbitrairement conformément à l'accord entre les parties concernées par la transaction.

f) Une géométrie d'éprouvette alternative peut être utilisée. En cas d'utilisation d'éprouvettes cruciformes alternatives, la preuve de l'exactitude du mesurage de la contrainte doit être apportée entre les partenaires contractuels.

5.2 Préparation des éprouvettes

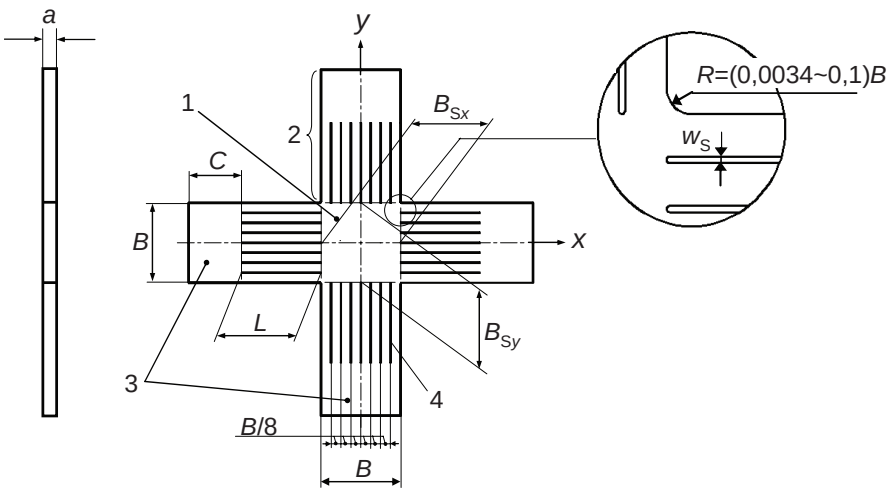
a) Les modifications permises en épaisseur et les modifications permises par rapport à une surface plane pour l'échantillon de tôle métallique à partir duquel les éprouvettes cruciformes sont prélevées doivent être conformes aux normes de produit ou aux normes nationales applicables.

b) La direction d'échantillonnage standard de l'éprouvette doit être telle que les directions des bras sont parallèles à la direction de laminage de l'échantillon de tôle (x) et à la direction perpendiculaire à celle-ci (y), respectivement. La direction d'échantillonnage de l'éprouvette peut être définie conformément à l'accord entre parties concernées par la transaction.

c) Pour la fabrication de l'éprouvette (y compris la découpe des entailles), toute méthode, par exemple découpe laser, découpe au jet d'eau ou d'autres méthodes alternatives de fabrication, qui ont été démontrées comme fonctionnant de manière satisfaisante, peuvent être utilisées si cela est convenu par les parties.

d) Sauf spécification différente et sauf pour le prélèvement des échantillons, toute déformation ou chauffage non nécessaire de l'éprouvette doit être évité.

© ISO 2014 – Tous droits réservés



Légende

1 zone calibrée
2 bras
3 zone de serrage
4 entaille
a épaisseur de l'éprouvette
B largeur du bras
B_{Sx} distance entre les extrémités de l'entaille se faisant face dans la direction x
B_{Sy} distance entre les extrémités de l'entaille se faisant face dans la direction y
C longueur de la zone de serrage
L longueur de l'entaille
R rayon d'angle au niveau des raccordements des bras à la zone calibrée
w_S largeur de l'entaille

Figure 1 — Forme standard et dimensions de l'éprouvette cruciforme recommandées[2][3]

6 Méthode d'essai

6.1 Machine d'essai

Les spécifications requises pour la machine d'essai de traction biaxiale (désignée ci-après machine d'essai) sont les suivantes (pour des exemples de machines d'essai typiques, voir Annexe C).

a) Elle doit avoir des fonctions et une durabilité suffisantes pour maintenir les quatre zones de serrage d'une éprouvette cruciforme (désignée ci-après éprouvette) dans un seul plan avec une tolérance de ± 0,01 mm pendant les essais.

b) Deux mâchoires opposées doivent se déplacer le long d'une seule ligne droite (désignée ci-après axe des x et axe des y), et les axes des x et des y doivent se couper selon un angle de 90 ± 0,1° (Le plan qui contient les axes des x et des y est défini comme le plan de référence tandis que l'intersection des axes des x et des y est défini comme le centre de la machine d'essai).

c) Elle doit disposer d'une fonction pour régler les deux mâchoires opposées dans des positions à égale distance du centre de la machine d'essai avant la mise en place de l'éprouvette dans la mâchoire.

d) Elle doit disposer d'une fonction permettant la mise en place de l'éprouvette dans les mâchoires tout en faisant coïncider le centre de l'éprouvette et le centre de la machine d'essai.

© ISO 2014 – Tous droits réservés

e) Elle doit disposer d'une fonction permettant un déplacement identique des deux mâchoires opposées ou le maintien du centre de l'éprouvette toujours au niveau du centre de la machine d'essai avec une tolérance de ± 0,1 mm pendant l'essai de traction biaxiale (par exemple, les machines d'essai montrées aux Figures C.1 et C.2 utilisent un mécanisme de liaison pour assurer un déplacement équivalent des deux mâchoires opposées).

f) Elle doit avoir une capacité à réaliser des essais de traction biaxiale avec un servo-contrôle, avec un rapport constant pour la contrainte nominale (rapport de force constant) et/ou un rapport constant pour la contrainte vraie, et/ou un rapport constant pour la vitesse de déformation, selon le but de l'essai (voir Annexe C.2). Pour les machines d'essai de traction biaxiale de type à liaison, on doit s'assurer d'un déplacement identique des deux mâchoires opposées (voir Annexe C.3)

g) Des électroniques modernes de contrôle permettent un contrôle indépendant et combiné de chaque vérin – il est dénommé Contrôle Modal (voir Annexe C.4).

h) Elle doit disposer d'une fonction pour mesurer et stocker les valeurs des forces de traction (deux canaux pour les axes des *x* et des *y*) et les composantes de la déformation (deux canaux pour les axes des *x* et des *y*) pendant l'essai de traction biaxiale avec l'exactitude spécifiée et la fréquence convenue par les parties concernées.

6.2 Méthode de mesure de la force et de la déformation

6.2.1 Généralités

Le présent paragraphe spécifie la méthode pour mesurer les forces de traction (F_x, F_y) et les composantes nominales de la déformation (e_x, e_y) appliquées dans les directions *x* et *y* d'une éprouvette cruciforme.

6.2.2 Méthode de mesurage de la force

Pour le mesurage de (F_x, F_y), des cellules de mesure de force doivent être utilisées dans les directions x et y. Le système de mesure de la force de la machine d'essai doit être étalonné conformément à l'ISO 7500-1, classe 1 ou meilleure.

6.2.3 Méthode de mesurage de la déformation

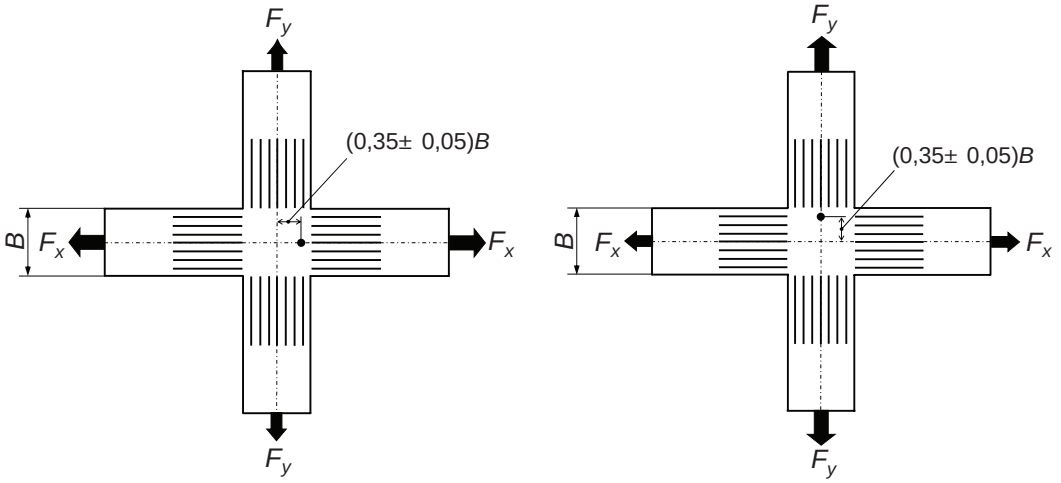
Pour le mesurage de (e_x, e_y), des jauges de déformation ou d'autres méthodes, par exemple un système de mesurage optique, doivent être utilisées. Mesurer e_x et e_y à 0,000 1 près.

6.2.4 Position du mesurage de la déformation

La Figure 2 montre la(les) position(s) d'une (des) jauge(s) de déformation pour mesurer (e_x, e_y). (e_x, e_y) doivent être mesurées dans une position, à une distance de (0,35 ± 0,05)*B* à partir du centre de l'éprouvette, sur l'axe central parallèle à la force de traction maximale. La position du mesurage de la déformation peut également être définie conformément à l'accord entre parties concernées par la transaction.

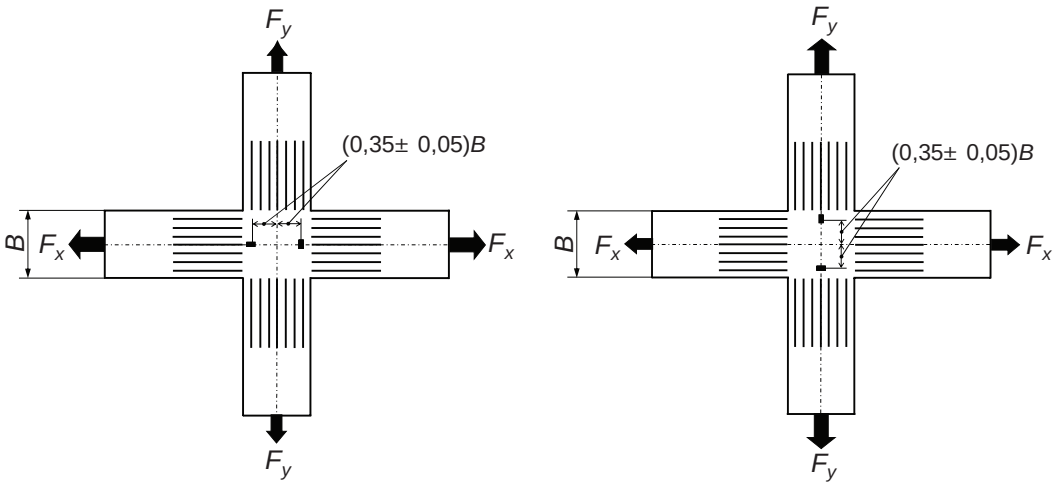
NOTE Selon les analyses aux éléments finis de l'éprouvette cruciforme telle que recommandée à l'Article 5 et la position du mesurage de la déformation telle que spécifiée à la Figure 2, l'erreur de calcul de la contrainte est estimée être inférieure à 2,0 %.[2][3]

© ISO 2014 – Tous droits réservés



a1) $F_x \geq F_y$ a2) $F_x \leq F_y$

a) Cas de mesurage de e_x et e_y, au moyen d'une jauge de déformation biaxiale



b1) $F_x \geq F_y$ b2) $F_x \leq F_y$

b) Cas avec deux jauges de déformation uniaxiale

Légende

B largeur du bras
e_x déformation nominale dans la direction x
e_y déformation nominale dans la direction y
F_x force de traction dans la direction x
F_y force de traction dans la direction y

Figure 2 — Position du mesurage de la déformation[2][3]

6.3 Mise en place de l'éprouvette sur une machine d'essai de traction biaxiale

L'éprouvette doit être fixée par quatre mâchoires d'une machine d'essai de traction biaxiale. Il faut prendre soin de faire coïncider le centre de l'éprouvette avec celui de la machine d'essai.

© ISO 2014 – Tous droits réservés

6.4 Méthodes d'essai

En conservant constants le rapport de force, le rapport de contrainte vraie, le rapport de la vitesse de déformation ou le rapport de la vitesse de déplacement des mâchoires, les forces de traction biaxiale doivent être appliquées à l'éprouvette. (F_x, F_y) et (e_x, e_y) doivent être mesurés à des intervalles de temps constants et les données doivent être enregistrées sur un équipement approprié. L'essai est terminé lorsque le niveau souhaité de déformation ou de contrainte est atteint ou il convient qu'il soit terminé lorsque la rupture ou une striction localisée survient dans le bras ou la zone calibrée. La vitesse de déformation recommandée est de (0,1 à 0,000 1) s^{-1}.

NOTE Une méthode d'essai similaire a été utilisée pour des changements brusques de chemin de déformation (voir Annexe A.3).

7 Détermination des courbes contraintes-déformation biaxiales

7.1 Généralités

Au moyen des valeurs mesurées de (F_x, F_y) et (e_x, e_y), les courbes contrainte-déformation dans les directions x et y de l'éprouvette cruciforme doivent être déterminées. Ces courbes sont utilisées pour déterminer les contours du travail plastique pour le matériau soumis aux essais (voir Annexe A.2).

7.2 Détermination de l'aire initiale de la section transversale de l'éprouvette

Calculer les aires initiales de la section transversale d'une éprouvette cruciforme perpendiculairement aux axes *x* et *y*, A_{Sx} et A_{Sy}, à partir des Formules (1) et (2):

$$A_{Sx} = a \times B_{Sy} \tag{1}$$

$$A_{Sy} = a \times B_{Sx} \tag{2}$$

où

a est l'épaisseur de la tôle, exprimée en mm;

B_{Sx} est la distance entre les extrémités des entailles se faisant face sur l'axe des x, exprimée en mm;

B_{Sy} est la distance entre les extrémités des entailles se faisant face sur l'axe des y, exprimée en mm.

Mesurer a à 0,01 mm près ou mieux au moyen d'un micromètre d'une résolution suffisante. B_{Sx} et B_{Sy} doivent être déterminées à 0,1 mm près ou mieux au moyen d'un dispositif de mesure d'une résolution suffisante. Les valeurs calculées de A_{Sx} et A_{Sy} doivent être arrondies à 0,1 mm^2 conformément à l'ISO 80000-1.

7.3 Détermination de la contrainte vraie

Calculer les composantes de la contrainte vraie dans les directions *x* et *y*, σ_x et σ_y, à partir des Formules (3) et (4):

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_{Sx}}(1+e_x)\ ,\ \sigma_y = \frac{F_y}{A_{Sy}}(1+e_y) \tag{3}$$

© ISO 2014 – Tous droits réservés

$$\sigma_x = \frac{F_x}{A_{Sx}}(1+e_x)\ ,\ \sigma_y = \frac{F_y}{A_{Sy}}(1+e_y) \tag{4}$$

où

A_{Sx} est l'aire initiale de la section transversale de la zone calibrée perpendiculairement à l'axe des *x*, exprimée en mm^2;

A_{Sy} est l'aire initiale de la section transversale de la zone calibrée perpendiculairement à l'axe des *y*, exprimée en mm^2;

e_x est la déformation nominale dans la direction *x* mesurée par la méthode décrite au 6.2;

e_y est la déformation nominale dans la direction *y* mesurée par la méthode décrite au 6.2;

F_x est la force de traction dans la direction *x*, exprimée en N;

F_y est la force de traction dans la direction *y*, exprimée en N.

7.4 Détermination de la déformation vraie

Calculer les composantes de la déformation vraie dans les directions x et y, ε_x et ε_y, à partir des Formules (5) et (6):

$$\varepsilon_x = \ln(1+e_x) \tag{5}$$

$$\varepsilon_y = \ln(1+e_y) \tag{6}$$

où

e_x est la déformation nominale dans la direction *x* mesurée par la méthode décrite au 6.2;

e_y est la déformation nominale dans la direction *y* mesurée par la méthode décrite au 6.2.

ε_x et ε_y doivent être calculés à 10^{-5} près à partir des Formules (5) et (6) et le résultat doit être arrondi à 10^{-4} près conformément à l'ISO 80000-1.

Des exemples de courbes contrainte vraie-déformation vraie biaxiales pour une tôle en acier à très bas carbone sont montrées à la Figure 3.

© ISO 2014 – Tous droits réservés