

---

---

**Corrosion des métaux et alliages —  
Méthodologie de détermination de la  
résistance des métaux à la fissuration  
par corrosion sous contrainte au  
moyen de la méthode de flexion  
quatre points**

iTeh STANDARD PREVIEW

(standards.iteh.ai)

*Corrosion of metals and alloys — Methodology for determining the  
resistance of metals to stress corrosion cracking using the four-  
point bend method*

ISO 16540:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3cf30d6a-d662-4166-b404-75452f0a4bab/iso-16540-2015>



**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 16540:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3cf30d6a-d662-4166-b404-75452f0a4bab/iso-16540-2015>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2015, 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

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Avant-propos</b> .....  | <b>iv</b> |
| <b>Introduction</b> .....  | <b>v</b>  |
| <b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>2</b> <b>Références normatives</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>4</b> <b>Principe</b> .....   | <b>2</b>  |
| <b>5</b> <b>Conception de l'appareil de charge</b> .....   | <b>2</b>  |
| <b>6</b> <b>Préparation des éprouvettes</b> .....  | <b>4</b>  |
| 6.1    Généralités.....  | 4         |
| 6.2    Éprouvettes en matériau de base.....  | 4         |
| 6.3    Éprouvettes avec cordon de soudure.....   | 5         |
| 6.4    Éprouvettes de produits de revêtement par placage.....  | 6         |
| <b>7</b> <b>Mesurage de la déformation</b> .....   | <b>6</b>  |
| <b>8</b> <b>Chargement</b> .....   | <b>7</b>  |
| 8.1    Niveau de déformation.....  | 7         |
| 8.2    Détermination de la valeur de la déformation totale.....  | 7         |
| 8.3    Essais à température élevée.....  | 9         |
| <b>9</b> <b>Environnement d'essai</b> .....  | <b>9</b>  |
| 9.1    Généralités.....  | 9         |
| <b>10</b> <b>Mode opératoire d'essai en flexion quatre points</b> .....  | <b>10</b> |
| <b>11</b> <b>Évaluation de la rupture</b> .....  | <b>11</b> |
| 11.1    Acier au carbone.....  | 11        |
| 11.2    Alliages résistants à la corrosion.....  | 12        |
| <b>12</b> <b>Rapport d'essai</b> .....   | <b>12</b> |
| <b>Annexe A (informative) Préparation de surface (voir également l'ISO 7539-1)</b> .....   | <b>14</b> |
| <b>Annexe B (informative) Procédure de mesurage de la déformation et de détermination de la courbe d'étalonnage contrainte uniaxiale-déformation</b> ..... | <b>18</b> |
| <b>Bibliographie</b> .....   | <b>20</b> |

## 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](http://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](http://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](http://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/5c159d0a-d062-4166-b404-75452f0a4bab/iso-16540-2015).

Le comité chargé de l'élaboration du présent document est l'ISO/TC 156, *Corrosion des métaux et alliages*.

La présente Norme internationale est basée sur un projet de Norme internationale NACE sur les essais de flexion quatre points des matériaux pour applications pétrolières et gazières. NACE International accorde le droit à l'ISO de reproduire le contenu extrait de ce document.

## Introduction

La présente Norme internationale a été élaborée comme une sous-partie de l'ISO 7539 qui comprend les parties suivantes, sous le titre général *Corrosion des métaux et alliages — Essais de corrosion sous contrainte*:

- *Partie 1: Lignes directrices générales relatives aux méthodes d'essai*
- *Partie 2: Préparation et utilisation des éprouvettes pour essais en flexion*
- *Partie 3: Préparation et utilisation des éprouvettes cintrées en U*
- *Partie 4: Préparation et utilisation des éprouvettes pour essais en traction uniaxiale*
- *Partie 5: Préparation et utilisation des éprouvettes en forme d'anneau en C*
- *Partie 6: Préparation et utilisation des éprouvettes préfissurées pour essais sous charge constante ou sous déplacement constant*
- *Partie 7: Méthode d'essai à faible vitesse de déformation*
- *Partie 8: Préparation et utilisation des éprouvettes pour évaluer les assemblages soudés*
- *Partie 9: Préparation et utilisation des éprouvettes préfissurées pour essais sous charge croissante ou sous déplacement croissant*
- *Partie 10: Méthode par cintrage en U inversé*
- *Partie 11: Lignes directrices pour les essais de résistance des métaux et alliages à la fragilisation par l'hydrogène et la fissuration assistée sous hydrogène*

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
(standards.iteh.ai)  
ISO 16540:2015  
<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3cf30d6a-d662-4166-b404-75452f0a4bab/iso-16540-2015>

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 16540:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3cf30d6a-d662-4166-b404-75452f0a4bab/iso-16540-2015>

# Corrosion des métaux et alliages — Méthodologie de détermination de la résistance des métaux à la fissuration par corrosion sous contrainte au moyen de la méthode de flexion quatre points

## 1 Domaine d'application

La présente Norme internationale fournit des lignes directrices concernant l'utilisation d'essais de flexion quatre points pour évaluer la résistance des métaux, y compris l'acier au carbone, les aciers faiblement alliés et les aciers résistant à la corrosion (ARC), à la fissuration par corrosion sous contrainte. La méthode donne des indications pour les essais de la tôle-mère et des soudures et contient des modes opératoires pour les métaux qui ne présentent pas de limite d'élasticité distincte dans leur comportement contrainte-déformation ainsi que pour les métaux qui présentent une limite d'élasticité distincte. La présente Norme internationale met l'accent sur la méthodologie générique de l'essai en flexion quatre points. L'application en service sera variée et la norme industrielle applicable doit être consultée, le cas échéant.

## 2 Références normatives

Les documents ci-après, dans leur intégralité ou non, sont des références normatives indispensables à 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).

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3cf30d6a-d662-4166-b404-4a1e954ab44d/iso-16540-2015>

ISO 8407, *Corrosion des métaux et alliages — Élimination des produits de corrosion sur les éprouvettes d'essai de corrosion*

## 3 Termes et définitions

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

### 3.1

#### **alliage résistant à la corrosion**

##### **ARC**

alliage conçu pour résister à la corrosion générale et localisée dans des environnements corrosifs pour l'acier au carbone

### 3.2

#### **zone affectée thermiquement**

##### **ZAT**

partie du métal de base qui ne fond pas durant le brasage, le coupage ou le soudage, mais dont la microstructure et les propriétés sont modifiées par la chaleur émise par ces procédés

### 3.3 fissuration des zones de plus faible dureté SZC

forme de rupture différée par H<sub>2</sub>S qui peut se produire lorsqu'un acier contient une zone locale de plus faible dureté constituée d'un matériau à faible limite d'élasticité et qu'il est exposé sous contrainte à des environnements contenant du H<sub>2</sub>S

Note 1 à l'article: Sous des charges de service, les zones de plus faible dureté peuvent subir un écoulement plastique et accumuler localement une déformation plastique qui augmente la sensibilité à la fissuration d'un matériau par ailleurs résistant à la fissuration. De telles zones de plus faible dureté sont typiquement associées aux soudures dans des aciers au carbone.

## 4 Principe

L'essai en flexion quatre points est un essai sous déplacement constant qui est réalisé en plaçant une éprouvette sur deux rouleaux de charge (cylindres d'appui) et en appliquant une charge par le biais de deux autres rouleaux de charge de sorte qu'une face de l'éprouvette soit en traction (et soumise à une contrainte uniforme entre les rouleaux intérieurs) et l'autre en compression. La contrainte à mi-épaisseur est nulle et il y a des gradients de contrainte significatifs dans l'épaisseur, de manière particulièrement marquée pour des éprouvettes minces. En conséquence, des fissures peuvent s'amorcer puis s'arrêter, ou leur vitesse de propagation peut diminuer. Une rupture complète ne se produit donc pas toujours pendant la période d'exposition à l'essai. Les paramètres importants sont l'espacement des rouleaux, le rapport entre la portée extérieure et la portée intérieure, les dimensions de l'éprouvette, le rapport largeur à épaisseur et le diamètre des rouleaux. Les essais d'éprouvettes avec cordon de soudure à l'état brut soulèvent un défi particulier en raison de variations significatives du profil de base, de la rugosité de surface, de l'étendue des microfissures et du degré de défaut d'alignement.

STANDARDS PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

## 5 Conception de l'appareil de charge ISO 16540:2015

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/3cf30d6a-d662-4166-b404->

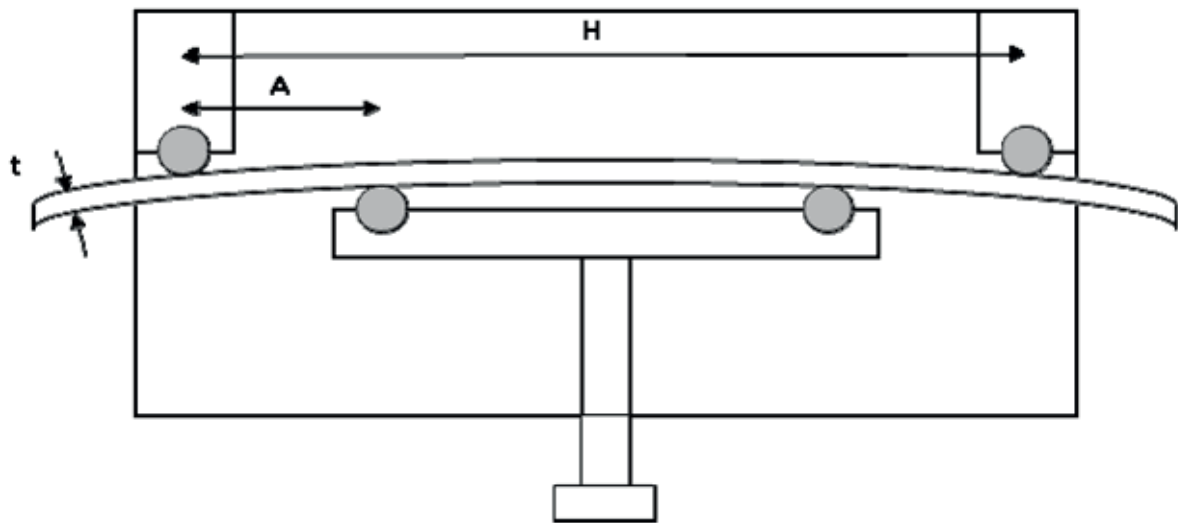
5.1 Un appareil de charge similaire à celui représenté à la [Figure 1](#) doit être utilisé pour appliquer une flèche constante à l'éprouvette. Les dimensions sont souvent choisies de sorte que  $A = H/4$ .

5.2 Les coupons d'une épaisseur pouvant atteindre jusqu'à 5 mm présentent peu de problèmes pour réaliser des éprouvettes en matériau de base car elles peuvent être aisément installées dans des récipients d'essai de taille moyenne avec les dimensions types suivantes pour l'appareil de charge:

- espacement entre rouleaux intérieurs: 50 mm à 60 mm;
- espacement entre rouleaux extérieurs: 100 mm à 130 mm;
- diamètre des rouleaux: 6 mm à 10 mm.

5.3 Des éprouvettes plus épaisses (jusqu'à l'épaisseur maximale de paroi) sont recommandées pour les essais relatifs à des éprouvettes avec cordon de soudure. Il existe ici un équilibre entre la réduction de la charge par augmentation de l'espacement entre les supports de portée et l'adaptation d'un appareil de charge de plus grandes dimensions aux contraintes éventuelles associées aux dimensions du récipient d'essai. Il s'agit d'un choix personnel.





### Légende

- t épaisseur de l'éprouvette
- A distance entre les appuis intérieurs et les appuis extérieurs
- H distance entre les appuis extérieurs

**Figure 1 — Schéma d'un appareil de charge type pour essais en flexion quatre points (standards.iteh.ai)**

**5.4** L'éprouvette doit être isolée électriquement de l'appareil de charge afin d'éviter tout risque indésirable de corrosion galvanique ou de corrosion par crevasse. Pour cela, la meilleure façon de procéder consiste à utiliser des rouleaux en céramique car ceux-ci satisfont à l'exigence supplémentaire selon laquelle il convient que les rouleaux ne présentent ni déformation ni fluage au cours de l'essai.

**5.5** Il convient que le frottement entre les rouleaux (cylindres d'appui) soit réduit au minimum afin de s'assurer que la contrainte de frottement n'a pas d'incidence sur la distribution des contraintes dans l'éprouvette. Pour cela, la meilleure façon de procéder consiste à utiliser des rouleaux en céramique ayant une faible surface de contact et, de préférence, capables de tourner librement lors de l'application de la charge à l'éprouvette. En l'absence de libre rotation, le frottement aura un effet sur la force nécessaire pour atteindre la déformation requise. Toutefois, si l'éprouvette est équipée d'une jauge de déformation et si les forces de frottement ne sont pas excessives, cela n'aura pas d'impact sur les résultats d'essai. Néanmoins, une augmentation du frottement augmentera localement la contrainte et la déformation sur la surface sous tension au niveau des axes de chargement intérieurs et peut accroître la probabilité de formation de fissures dans l'éprouvette à ces emplacements (voir [Article 11](#)). L'étendue de la déformation excessive pour un appareil de charge particulier peut être évaluée par mesurage de la déformation dans cette zone pour une condition d'essai type.

**5.6** Le matériau utilisé pour la construction de l'appareil de charge doit être résistant à la fissuration par corrosion sous contrainte dans l'environnement d'essai et il convient que l'appareil de charge soit suffisamment rigide. La contamination de la solution par les produits de corrosion du matériau de l'appareil doit être réduite au minimum pour éviter toute influence sur les résultats d'essai. Pour cela, il est possible d'utiliser des alliages résistants à la corrosion ou d'appliquer un revêtement sur l'appareil. Lorsque des aciers au carbone et des aciers faiblement alliés sont soumis aux essais au moyen de dispositifs construits en acier à plus fort taux en éléments d'alliage, des shunts électriques causés par les produits de corrosion peuvent se produire; pour cette raison, des contrôles de résistance électrique doivent être effectués à la fin des essais. Si aucune isolation électrique n'a été prévue, le matériau de construction des appareils de charge doit être semblable à celui des éprouvettes. Pour les essais relatifs à des éprouvettes en acier au carbone et en acier faiblement allié, il peut être préférable d'utiliser des appareils de charge en acier faiblement allié pour garantir l'absence de toute interaction galvanique.

Dans ce cas, un revêtement en matériau inerte peut être appliqué aux appareils de charge pour réduire l'accumulation de produits de corrosion.

## 6 Préparation des éprouvettes

### 6.1 Généralités

**6.1.1** Les éprouvettes de flexion quatre points doivent être constituées de bandes métalliques plates de section rectangulaire et d'épaisseur uniformes, sauf dans le cas d'éprouvettes avec cordon de soudure ayant une face à l'état brut de soudage dont la section transversale est intrinsèquement non uniforme ou dans le cas d'essais portant sur la surface intérieure d'un matériau de tuyauterie dans son état de surface d'origine (pour lequel la surface devrait être concave) ou sur la surface extérieure d'un matériau de tuyauterie dans son état de surface d'origine (pour lequel la surface devrait être convexe).

**6.1.2** Des marques ou des numéros d'identification doivent être inscrits de façon permanente sur chaque extrémité de l'éprouvette. Les extrémités de l'éprouvette étant les endroits où les contraintes sont les plus faibles, les marques d'identification ne devraient pas donner lieu à une fissuration.

**6.1.3** Sur les matériaux sujets à un endommagement induit par l'hydrogène, il convient de ne pas utiliser des techniques de préparation produisant de l'hydrogène à la surface des éprouvettes, comme par exemple l'usinage par étincelage. Si l'emploi de telles techniques est nécessaire, un meulage final des surfaces extérieures de l'éprouvette doit être effectué pour éliminer tout matériau contenant de l'hydrogène piégé. Le meulage doit être effectué des que possible afin d'empêcher l'hydrogène de disposer du temps nécessaire pour diffuser dans l'éprouvette depuis la surface extérieure. Il convient que l'épaisseur éliminée reflète une évaluation prudente de la diffusivité effective de l'hydrogène dans le matériau. Pour la plupart des alliages résistants à la corrosion, l'élimination de 500 µm de chaque surface de l'éprouvette est suffisante. La désorption au four de l'hydrogène est aussi envisageable, à condition que cela n'entraîne aucune modification dans la microstructure/microchimie du matériau.

### 6.2 Éprouvettes en matériau de base

**6.2.1** Sauf spécification contraire, les éprouvettes en matériau de base doivent être usinées en évitant les arêtes vives, à partir du tube ou de la tôle dans la direction longitudinale.

**6.2.2** La [Figure 2 a\)](#) illustre une éprouvette type en matériau de base pour essai de flexion quatre points.

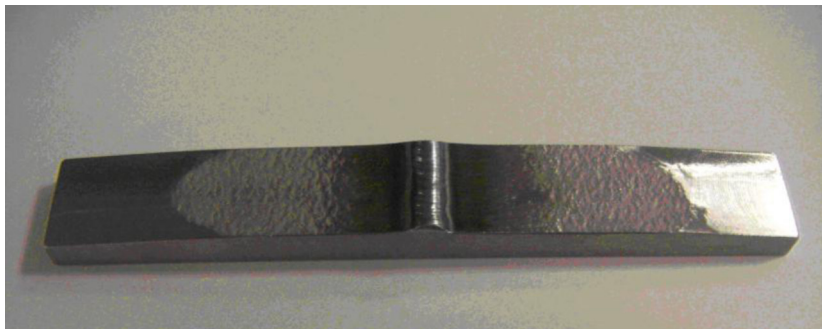
**6.2.3** La largeur de l'éprouvette doit être égale à 1,5 à 5 fois son épaisseur. Tout écart par rapport à cette exigence, par exemple pour les sections très épaisses en acier au carbone, exige qu'il soit démontré que le cintrage hors du plan n'est pas significatif.

**6.2.4** L'éprouvette peut être soumise à essai avec la surface d'essai sous tension dans son état de surface initial sans aucune préparation de surface. Cette disposition tient compte du fait que le meulage induit toujours une certaine modification des propriétés du matériau à proximité de la surface, qui peut être indésirable. Autrement, la surface de l'éprouvette doit être préparée de manière à présenter un état final de surface homogène et répétable tel que convenu avec l'utilisateur final, mais en général avec une valeur  $R_a \leq 0,25 \mu\text{m}$  pour toute éprouvette sans soudure. L'éprouvette doit être soigneusement usinée à une vitesse appropriée pour éviter un échauffement excessif et un écrouissage indésirable de la surface. L'utilisation d'un lubrifiant pourrait affecter la composition chimique de la surface de l'éprouvette. L'éprouvette doit être dégraissée à l'aide d'une solution dégraissante appropriée et rincée avec un solvant approprié, tel que l'acétone. L'efficacité de toutes les procédures de nettoyage adoptées dans la présente Norme internationale doit être démontrée, par exemple par un essai au brouillard.<sup>[9]</sup>

**6.2.5** Un ébavurage des bords de l'éprouvette peut être effectué par un léger ponçage manuel.



a) éprouvette en matériau de base



b) éprouvette avec cordon de soudure à l'état brut

Figure 2 — Éprouvettes de flexion quatre points types

### 6.3 Éprouvettes avec cordon de soudure

**6.3.1** Sauf spécification contraire, les éprouvettes avec cordon de soudure doivent, autant que possible, être prélevées perpendiculairement à la soudure, avec le cordon de soudure situé au centre de l'éprouvette.

**6.3.2** La [Figure 2 b\)](#) illustre une éprouvette de flexion quatre points avec cordon de soudure.

**6.3.3** Lors d'essais portant sur des éprouvettes avec une de leurs surfaces brute de soudage (dans ce contexte, cela signifie qu'il n'y a pas de traitement de surface ultérieur par meulage), l'usinage d'un seul côté peut souvent donner lieu à une variation d'épaisseur sur l'un des côtés de la soudure en raison du défaut d'alignement des sections lors du soudage et l'étendue de cette variation doit être consignée. Cette variation d'épaisseur entraînera une déformation non uniforme de l'épaisseur, mais l'impact devrait être moindre pour des éprouvettes plus épaisses. Pour cette raison, il est préférable d'effectuer des essais sur des éprouvettes d'épaisseur proche de l'épaisseur totale.

**6.3.4** Lors d'essais portant sur des éprouvettes avec une de leurs surfaces brute de soudage, il convient que les zones en contact avec les rouleaux extérieurs soient usinées de manière à être planes pour éviter que les contraintes soient localisées sur les appuis en céramique en raison de l'incurvation des éprouvettes. Sinon, une fissuration du rouleau peut se produire.

**6.3.5** Pour les éprouvettes entièrement usinées comme pour les éprouvettes brutes de soudage, la largeur des éprouvettes doit être égale à 1,5 à 5 fois l'épaisseur de la zone de base de l'éprouvette. Tout écart par rapport à cette exigence, par exemple pour les sections très épaisses en acier au carbone, exige qu'il soit démontré que le cintrage hors du plan n'est pas significatif.