RAPPORT TECHNIQUE

ISO/TR 20491

Première édition
2019-02

Fixations — Principes de la fragilisation par l'hydrogène pour les fixations en acier

Fasteners — Fundamentals of hydrogen embrittlement in steel fasteners

Numéro de référence
ISO/TR 20491:2019(F)

© ISO 2019



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2019

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +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 Abréviations et symboles **4**
5 Description générale de la fragilisation par l'hydrogène **4**
6 Mécanisme d'endommagement par l'hydrogène **4**
7 Morphologie de la rupture **5**
8 Conditions à la pointe d'une fissure **7**
9 Conditions d'une rupture due à la fragilisation par l'hydrogène **7**
9.1 Cause première et facteurs déclencheurs pour une rupture due à la fragilisation par l'hydrogène 7
9.2 Susceptibilité du matériau 8
9.2.1 Généralités 8
9.2.2 Défauts et autres conditions engendrant une susceptibilité anormale du matériau 10
9.2.3 Méthodologie pour la mesure du seuil de contrainte à la FPH 11
9.3 Contrainte de traction 12
9.4 Hydrogène atomique 13
9.4.1 Sources d'hydrogène 13
9.4.2 Hydrogène interne 13
9.4.3 Hydrogène externe (environnemental) 14
10 Fixations cémentées **14**
11 Galvanisation à chaud et effet de «sur-trempe» **16**
12 Relaxation des contraintes avant revêtement électrolytique **17**
13 Fixations à filetage roulé après traitement thermique **18**
14 Méthodes d'essai pour la fragilisation par l'hydrogène **18**
15 Dégazage **19**
Bibliographie **21**

© ISO 2019 – 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 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 www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 2, *Fixations*, sous-comité SC 14, *Revêtements de surface*.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

© ISO 2019 – Tous droits réservés

Introduction

Les fixations en acier à haute résistance pour applications mécaniques sont généralement caractérisées par une résistance à la traction (R_m) supérieure à 1 000 MPa, elles sont souvent utilisées dans des applications critiques, telles que des ponts, des moteurs de véhicules, des avions, pour lesquelles la rupture d'une fixation peut avoir des conséquences catastrophiques. La prévention des ruptures et la gestion du risque de Fragilisation Par l'Hydrogène (FPH) sont des considérations fondamentales qui impliquent l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement des fixations, notamment l'aciériste, le fabricant des fixations, l'applicateur du revêtement, l'ingénieur d'application, le concepteur d'assemblages, et tout autre intervenant jusqu'à l'utilisateur final.

La fragilisation par l'hydrogène est étudiée depuis des décennies, mais la nature complexe des phénomènes de fragilisation par l'hydrogène et les nombreuses variables ne permettent pas de prévoir la survenue de ruptures de fixations. Des recherches sont généralement menées dans des conditions simplifiées et/ou idéalisées qui ne peuvent pas être réellement traduites comme *savoir-faire* à prescrire dans les spécifications et normes de fixations, et les pratiques industrielles.

Ces circonstances sont de plus compliquées par des spécifications ou normes qui sont parfois insuffisantes et parfois inutilement alarmistes. Les incohérences, voire les contradictions, dans les normes de fixations pour l'industrie ont conduit à une grande confusion et à un certain nombre de ruptures de fixations qui auraient pu être évitées. Le fait que la FPH soit très souvent considérée à tort comme étant la *cause principale* d'une rupture, contrairement à ce qu'elle est à savoir un *mécanisme* de défaillance, reflète bien cette confusion.

© ISO 2019 – Tous droits réservés

Fixations — Principes de la fragilisation par l'hydrogène pour les fixations en acier

1 Domaine d'application

Le présent document présente les connaissances les plus récentes relatives à la fragilisation par l'hydrogène sous forme de *know-how*, transcrite d'une façon complète, facilement accessible et directement applicable aux fixations en acier.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

3 Termes et définitions

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

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

— ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse https://www.iso.org/obp

— IEC Electropedia: disponible à l'adresse http://www.electropedia.org/

3.1
dureté
résistance d'un métal à une déformation plastique, habituellement par indentation ou pénétration d'un objet solide (en surface ou à cœur)

3.2
écrouissage
augmentation de la résistance mécanique et de la *dureté* (3.1) lorsqu'un métal est déformé plastiquement à température ambiante (par laminage, tréfilage, étirage, rétreint, frappe, extrusion, etc.) qui induit également une diminution de la ductilité

3.3
traitement thermique
cycle d'opérations (chauffage, maintien en température puis refroidissement contrôlés) appliqué à un métal ou alliage à l'état solide, afin d'obtenir une transformation maîtrisée et homogène de la structure du matériau et/ou de lui conférer des propriétés physiques ou mécaniques particulières

Note 1 à l'article: Les procédés de trempe et revenu, recuit, cémentation et relaxation des contraintes sont des exemples de traitement thermique pour les fixations.

3.4
trempe et revenu
QT (Quenching and Tempering)
procédé de *traitement thermique* (3.3) de trempe, comprenant une austénitisation puis un refroidissement rapide réalisé dans des conditions telles que l'austénite se transforme plus ou moins complètement en martensite (et éventuellement en bainite), suivi d'une nouvelle chauffe à une température spécifique et sur une période de temps contrôlées puis d'un refroidissement, afin d'obtenir le niveau requis de caractéristiques mécaniques ou physiques

© ISO 2019 – Tous droits réservés

3.5
cémentation
procédé de traitement thermochimique d'enrichissement en carbone ou de carbonitruration suivi d'une trempe, provoquant une augmentation de la *dureté* (3.1) de la surface de l'acier des fixations

Note 1 à l'article: Ce procédé est utilisé pour les vis à tôle, les vis autoformeuses, autoperceuses, etc.

3.6
relaxation des contraintes
procédé de *traitement thermique* (3.3) où les fixations sont chauffées à une température prédéfinie et maitrisée suivi d'un refroidissement lent, afin de de diminuer les contraintes résiduelles dues à l'*écrouissage* (3.2)

3.7
dégazage
procédé de chauffage des fixations pendant une durée déterminée à une température donnée, de façon à minimiser le risque de *fragilisation par l'hydrogène interne* (3.15)

[SOURCE: ISO 1891-2:2014, 3.4.11]

3.8
amorce de rupture
début de fissuration avant *rupture* (3.10) sans séparation complète

[SOURCE: ASTM F2078-15, modifiée — en anglais, "line" a été remplacé par "beginning"]

3.9
défaillance
perte de la capacité d'une fixation à remplir une fonction spécifiée, qui dans certains cas peut aller jusqu'à la *rupture* (3.10) complète

3.10
rupture
casse survenant lorsque la déformation plastique dans une fixation augmente localement au-delà de sa limite de résistance, provoquant la séparation de la fixation en un au plusieurs morceaux, lors d'un essai ou en service

3.11
faciès de rupture
structure et aspect de la surface fracturée

3.12
ductile
caractérisé par une déformation plastique importante avant *rupture* (3.10) qui induit une surface de rupture irrégulière avec une morphologie en cupule d'aspect fibreux, habituellement terne ou mat

3.13
fragile
caractérisé par le peu d'aptitude à une déformation plastique ou l'absence de déformation plastique avant *rupture* (3.10) qui induit une surface de rupture plane avec une morphologie de décohésion intergranulaire, d'aspect habituellement brillant

Note 1 à l'article: Pour une rupture fragile le long des plans de clivage, le terme rupture transgranulaire est utilisé.

Note 2 à l'article: Pour une rupture fragile avec séparation aux joints de grains d'austénite, le terme rupture intergranulaire est utilisé.

© ISO 2019 – Tous droits réservés

3.14
fragilisation par l'hydrogène
FPH
perte irréversible de ductilité d'un métal ou d'un alliage provoquée par l'hydrogène atomique, sous l'effet de contraintes de traction dues à une charge ou à des contraintes résiduelles, qui peut conduire à une *rupture* (3.10) *fragile* (3.13) après un certain temps[1]

Note 1 à l'article: Dans le contexte de la description de la fragilisation par l'hydrogène des fixations en acier à haute résistance, le terme «hydrogène» fait référence à l'hydrogène atomique et non au gaz moléculaire H_2.

[SOURCE: ISO 1891-2:2014, 3.4.9, modifiée – La note 1 à l'article a été ajoutée]

3.15
fragilisation par l'hydrogène interne
IHE (Internal Hydrogen Embrittlement)
fragilisation provoquée par de l'hydrogène résiduel issu des procédés de fabrication, entraînant une rupture fragile différée sous l'effet de contraintes de traction dues à une charge ou à des contraintes résiduelles

[SOURCE: ISO 1891-2:2014, 3.4.10]

3.16
fragilisation par l'hydrogène externe (environnemental)
EHE (Environmental Hydrogen Embrittlement)
fragilisation provoquée par les atomes d'hydrogène absorbés provenant de l'environnement d'utilisation, entraînant une rupture fragile différée des fixations sous l'effet de contraintes de traction (contraintes induites par une charge ou contraintes résiduelles)

[SOURCE: ISO 1891-2:2014, 3.4.13, modifiée — "(environnemental)" a été ajouté conformément à la norme de vocabulaire en vigueur]

3.17
seuil de contrainte à la fragilisation par l'hydrogène
contrainte critique en dessous de laquelle la *fragilisation par l'hydrogène* (3.14) ne se produit pas, et représentant le degré de susceptibilité d'un acier par rapport à une quantité d'hydrogène disponible

3.18
corrosion sous contrainte
SCC (Stress Corrosion Cracking)
catégorie de *fragilisation par l'hydrogène externe (environnemental)* (3.16) pour laquelle la *défaillance* (3.9) se produit en service par fissuration, sous l'action combinée de l'hydrogène issu de la corrosion et de l'effet des contraintes de traction

[SOURCE: ISO 1891-2:2014, 3.4.14]

3.19
diffusion de l'hydrogène
propagation de l'hydrogène et interaction avec les défauts de la microstructure de l'acier (lacunes, dislocations, précipités, inclusions, joints de grains, etc.) qui constituent des sites de piégeage dans le matériau de la fixation: *pièges dits irréversibles* (caractérisés par leur forte énergie de piégeage et une faible probabilité d'effusion de l'hydrogène) et *pièges dits réversibles* (caractérisés par leur faible énergie de piégeage et une effusion de l'hydrogène plus facile)

3.20
effusion de l'hydrogène
migration de l'hydrogène du cœur du matériau vers l'extérieur de la fixation, se produisant de façon naturelle à température ambiante du fait d'un gradient de concentration, ou sous l'action d'un effet thermique [par exemple *dégazage* (3.7)]

© ISO 2019 – Tous droits réservés