NORME INTERNATIONALE

ISO 17279-3

Première édition
2021-02

Soudage — Micro-assemblage des supraconducteurs à haute température de deuxième génération —

Partie 3: Méthode d'essai des assemblages

Welding — Micro joining of second generation high temperature superconductors —

Part 3: Test methods for joints

Numéro de référence
ISO 17279-3:2021(F)

© ISO 2021



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2021

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
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos ..... **v**
Introduction ..... **vi**
1 Domaine d'application **1**
2 Références normatives **1**
3 Termes et définitions **1**
4 Méthode d'essai des assemblages **1**
4.1 Généralités 1
4.2 Contrôle visuel 2
4.2.1 Généralités 2
4.2.2 Qualification du personnel d'essai 2
4.2.3 Matériel d'essai 2
4.2.4 État et préparation de la surface 2
4.2.5 Essais 2
4.2.6 Critères d'acceptation 3
4.2.7 Rapport d'essai 3
4.3 Essai par mesure quatre pointes 3
4.3.1 Généralités 3
4.3.2 Qualification du personnel d'essai 3
4.3.3 Matériel d'essai 3
4.3.4 État et préparation de la surface 3
4.3.5 Essais 3
4.3.6 Critères d'acceptation 9
4.3.7 Rapport d'essai 9
4.4 Essai d'affaiblissement du champ 9
4.4.1 Généralités 9
4.4.2 Qualification du personnel d'essai 9
4.4.3 Matériel d'essai 9
4.4.4 État et préparation de la surface 9
4.4.5 Essais 10
4.4.6 Critères d'acceptation 13
4.4.7 Rapport d'essai 13
4.5 Essai en champ magnétique 13
4.5.1 Généralités 13
4.5.2 Qualification du personnel d'essai 13
4.5.3 Matériel d'essai 13
4.5.4 État et préparation de la surface 13
4.5.5 Essais 13
4.5.6 Critères d'acceptation 15
4.5.7 Rapport d'essai 16
4.6 Essai de traction 16
4.6.1 Généralités 16
4.6.2 Qualification du personnel d'essai 16
4.6.3 Matériel d'essai 16
4.6.4 État et préparation de la surface 16
4.6.5 Essais 16
4.6.6 Critères d'acceptation 17
4.6.7 Rapport d'essai 17
4.7 Essai de pliage 17
4.7.1 Généralités 17
4.7.2 Qualification du personnel d'essai 17
4.7.3 Matériel d'essai 17
4.7.4 État et préparation de la surface 17
4.7.5 Essais 17

© ISO 2021 – Tous droits réservés

4.7.6 Critères d'acceptation 18
4.7.7 Rapport d'essai 18
4.8 Essai de champ magnétique critique 18
4.8.1 Généralités 18
4.8.2 Qualification du personnel d'essai 18
4.8.3 Matériel d'essai 18
4.8.4 État et préparation de la surface 19
4.8.5 Essais 19
4.8.6 Critères d'acceptation 19
4.8.7 Rapport d'essai 19
4.9 Essai de distribution de densité de courant critique 19
4.9.1 Généralités 19
4.9.2 Qualification du personnel d'essai 20
4.9.3 Matériel d'essai 20
4.9.4 État et préparation de la surface 20
4.9.5 Essais 20
4.9.6 Critères d'acceptation 20
4.9.7 Rapport d'essai 20
4.10 Essai au microscope et par diffraction des rayons X 20
4.10.1 Généralités 20
4.10.2 Qualification du personnel d'essai 20
4.10.3 Matériel d'essai 20
4.10.4 État et préparation de la surface 21
4.10.5 Essais 21
4.10.6 Critères d'acceptation 21
4.10.7 Rapport 21

Annexe A (informative) **Rapport des résultats de contrôle visuel** **22**

Annexe B (informative) **Rapport des résultats d'essai par mesure quatre pointes** **24**

Annexe C (informative) **Rapport des résultats d'essai d'affaiblissement du champ** **27**

Annexe D (informative) **Rapport des résultats d'essai en champ magnétique** **30**

Annexe E (informative) **Rapport des résultats d'essai de traction** **34**

Annexe F (informative) **Rapport des résultats d'essai de pliage** **37**

Annexe G (informative) **Rapport des résultats d'essai de champ magnétique critique** **40**

Annexe H (informative) **Rapport des résultats d'essai de distribution de densité de courant critique** **43**

Annexe I (informative) **Rapport des résultats d'essai au microscope et par diffraction des rayons X** **45**

Bibliographie **47**

 © ISO 2021 – 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 44, *Soudage et technique connexes*, Sous-Comité SC 10, *Gestion de la qualité dans le domaine du soudage,* en collaboration avec le Comité Technique du Comité européen de Normalisation (CEN) CEN/TC 121, *Soudage et techniques connexes,* conformément à l'Accord sur la coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Une liste de toutes les parties de la série ISO 17279 se trouve sur le site web de l'ISO.

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/members.html.

Les interprétations officielles des documents de l'ISO/TC 44, lorsqu'elles existent sont disponibles depuis la page: https://committee.iso.org/sites/tc44/home/interpretation.html.

© ISO 2021 – Tous droits réservés

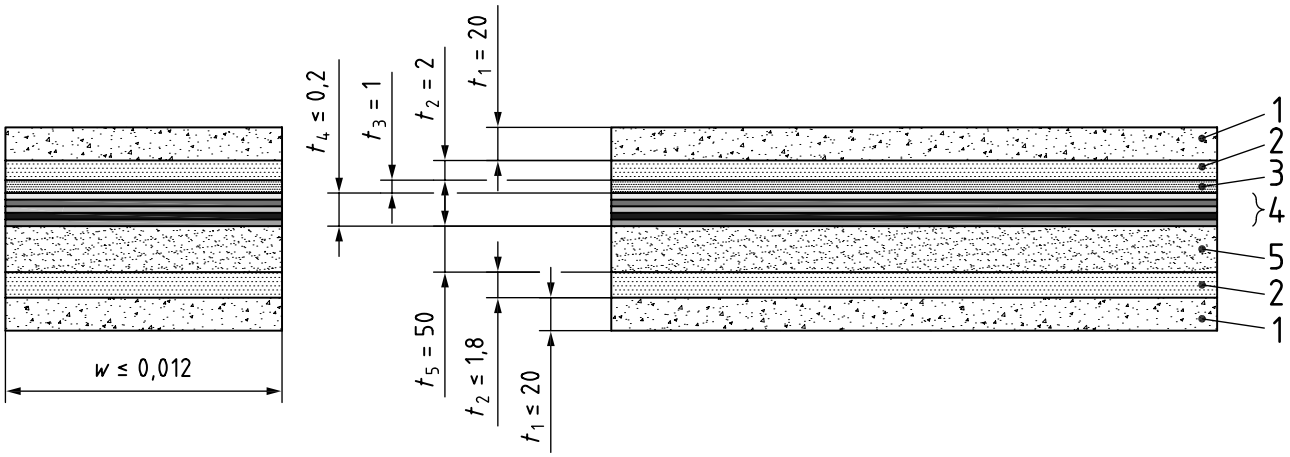
Introduction

L'utilisation croissante de supraconducteurs à haute température de deuxième génération (2G HTS) et l'invention d'assemblages sans résistance sur les 2G HTS ont créé le besoin de la série ISO 17279 afin de garantir que l'assemblage est réalisé de la manière la plus efficace possible et que tous les aspects de l'opération sont correctement contrôlés. Les normes ISO relatives aux modes opératoires de micro-assemblage et d'évaluation des assemblages sont par conséquent essentielles pour obtenir un assemblage 2G HTS de qualité excellente et uniforme.

Le supraconducteur est un matériau qui conduit l'électricité sans résistance et qui se caractérise par un diamagnétisme en dessous d'une température critique (T_c), d'un champ magnétique critique (B_c) et d'une densité de courant critique (J_c). Une fois déclenché, le courant électrique circule à l'infini en boucle fermée dans le matériau supraconducteur en phase diamagnétique.

Un 2G HTS est constitué de plusieurs couches dont l'épaisseur totale se situe entre 60 µm et 90 µm; la couche supraconductrice en $REBa_2Cu_3O_{7-x}$ ne fait qu'entre 1 µm et 3 µm selon les spécifications du fabricant. La Figure 1 montre un schéma des multiples couches typiques, ainsi que les constituants et l'épaisseur de chaque couche du 2G HTS.

Dimensions en micromètres



Légende

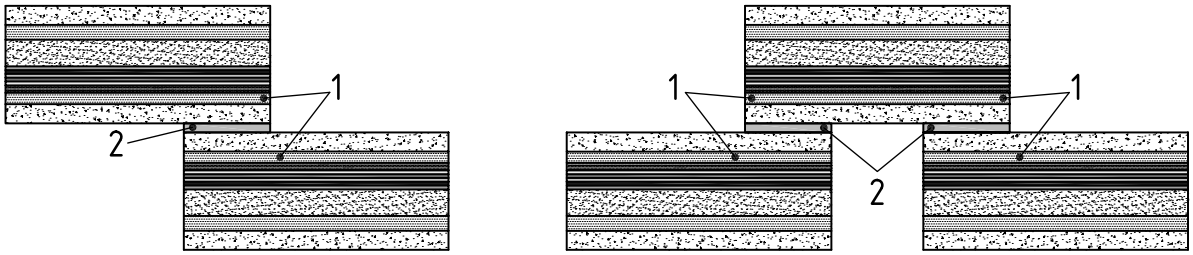
1	stabilisant en cuivre (Cu)	t_1	épaisseur de la couche 1
2	couche protectrice en argent (Ag)	t_2	épaisseur de la couche 2
3	couche supraconductrice ReBCO	t_3	épaisseur de la couche 3
4	couche tampon	t_4	épaisseur de la couche 4
5	substrat en hastelloy®C-276	t_5	épaisseur de la couche 5

NOTE schéma non à l'échelle.

Figure 1 — Multiples couches typiques d'un 2G HTS, et constituants et épaisseur de chaque couche

Pur l'heure, l'industrie des supraconducteurs recourt aux techniques de brasage fort ou tendre ainsi qu'à tout procédé d'apport de métal comme l'indique la Figure 2, qui montre la haute résistance électrique au niveau de l'assemblage, source de défaillance fatale dans le supraconducteur.

© ISO 2021 – Tous droits réservés



a) Assemblage à recouvrement **b) Assemblage en pont**

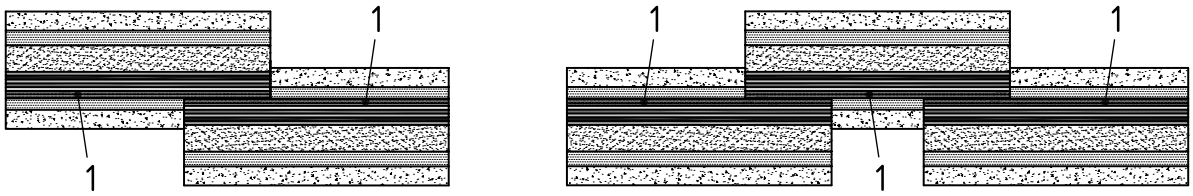
Légende

1 couche supraconductrice ReBCO

2 produit d'apport de brasage tendre

Figure 2 — Brasage d'assemblage d'un 2G HTS

Néanmoins, la série des ISO 17279 s'intéresse plus particulièrement à l'assemblage autogène direct de couches supraconductrices de 1 µm à 3 µm d'épaisseur de 2G HTS tel que présenté sur la Figure 3, sans métaux d'apport et avec récupération des propriétés supraconductrices par procédé de recuit d'oxygénation, qui ne montre quasiment aucune résistance électrique au niveau de l'assemblage.



a) Assemblage à recouvrement **b) Assemblage en pont**

Légende

1 couche supraconductrice ReBCO

Figure 3 — Assemblage autogène direct de couches supraconductrices de 1 µm à 3 µm d'épaisseur de 2G HTS pour un assemblage supraconducteur

L'ISO 17279-1 spécifie les exigences pour la qualification du mode opératoire d'assemblage de 2G HTS. Il convient que les assemblages de 2G HTS soient capables de réunir les propriétés électriques, magnétiques et mécaniques requises et libres d'imperfections graves en production et en service. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de prévoir des contrôles pendant la conception et la fabrication.

L'ISO 17279-2 spécifie les exigences pour la qualification du personnel réalisant le soudage et les essais.

© ISO 2021 – Tous droits réservés

Soudage — Micro-assemblage des supraconducteurs à haute température de deuxième génération —

Partie 3:
Méthode d'essai des assemblages

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences pour les méthodes d'essai du micro-assemblage de deuxième génération (2G HTS) pour remplir les exigences des ISO 17279-1 et ISO 17279-2.

Le présent document spécifie les méthodes d'essai pour déterminer la capacité des assemblages pour la production de la qualité indiquée. Elle définit des exigences d'essai spécifiques, mais n'attribue pas ces exigences à un groupe de produits spécifique.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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 17279-1:2018, *Soudage — Micro-assemblage des supraconducteurs à haute température de 2ème génération — Partie 1: Exigences générales pour la procédure*

ISO 15607:2019, *Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques — Règles générales*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans l'ISO 17279-1 et l'ISO 15607 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/

4 Méthode d'essai des assemblages

4.1 Généralités

L'ISO 17279-1:2018, 5.5.4, décrit les exigences pour la qualification du personnel d'essai, pour les méthodes d'essai, l'examen pendant les essais et le contre-essai. En particulier, l'ISO 17279-1:2018, Tableau 1, présente le type d'essai, l'étendue des essais, la confirmation des essais, et les essais requis pour la qualification des modes opératoires conformément à l'ISO 17279-1. L'ISO 17279-1:2018, 5.9, requiert les critères d'acceptation des essais. Le fabricant peut avoir à sa disposition suffisamment de personnel compétent pour les essais et l'utilisation du matériel d'essai, ou peut sous-traiter les essais

© ISO 2021 – Tous droits réservés