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

Partie 2:

**Qualification du personnel en soudage
et d'essai**

*Welding — Micro joining of 2nd generation high temperature
superconductors —*

Part 2: Qualification for welding and testing personnel

ISO 17279-2:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/3825f487-5521-4237-a3c1-a41992dcdb0a/iso-17279-2-2018>



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

[ISO 17279-2:2018](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/3825f487-5521-4237-a3c1-a41992dcdb0a/iso-17279-2-2018)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/3825f487-5521-4237-a3c1-a41992dcdb0a/iso-17279-2-2018>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2018

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 Terms and definitions	1
4 Symboles et termes abrégés	1
5 Qualification du personnel réalisant le micro-assemblage et le recuit d'oxygénation	1
5.1 Généralités.....	1
5.2 Variables essentielles et domaine de validité.....	2
5.3 Méthodes de qualification.....	3
5.3.1 Qualification sur la base d'une éprouvette d'essai d'assemblage normalisée.....	3
5.3.2 Qualification par essais des assemblages d'essai.....	3
5.4 Contre-essais.....	4
5.5 Examen de qualification et rapport d'examen.....	4
5.6 Durée de validité.....	4
5.6.1 Qualification initiale.....	4
5.6.2 Confirmation de la validité.....	5
5.6.3 Prolongation de qualification.....	5
6 Qualification du personnel réalisant les essais des assemblages d'essai	5
6.1 Généralités.....	5
6.2 Variables essentielles et domaine de validité.....	5
6.3 Méthodes de qualification.....	6
6.4 Re-qualification.....	6
6.5 Examen de qualification et rapport d'examen.....	6
6.6 Durée de validité.....	7
6.6.1 Qualification initiale.....	7
6.6.2 Confirmation de la validité.....	7
6.6.3 Prolongation de qualification.....	7
7 Vérification par tierce partie	7
Annexe A (normative) Connaissances fonctionnelles des appareils de micro-assemblage et de recuit d'oxygénation	8
Annexe B (normative) Connaissance de la technologie de micro-assemblage et de recuit d'oxygénation	9
Annexe C (informative) Rapport d'examen de l'opérateur soudeur	11
Annexe D (informative) Rapport d'essai	13
Annexe E (informative) Liste de contrôles pour la qualification du personnel chargé du micro-assemblage et du recuit d'oxygénation	15
Bibliographie	18

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/iso/fr/avant-propos.html.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 44, *Soudage et techniques connexes*, sous-comité SC 10, *Gestion de la qualité dans le domaine du soudage*. 37-a3c1-a41992dcd0a/iso-17279-2-2018

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.

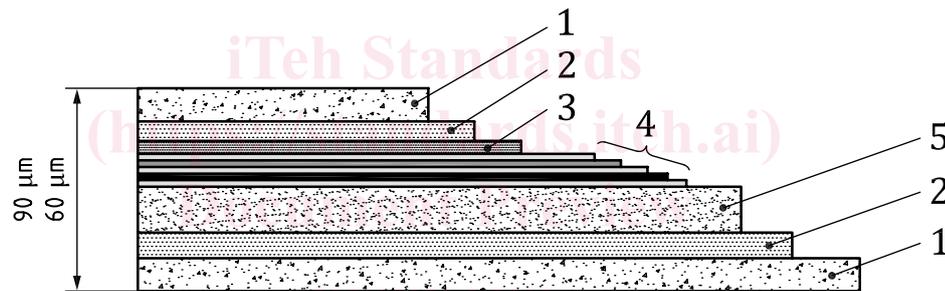
Une liste de toutes les parties de la série ISO 17279 se trouve sur le site Web de l'ISO.

Introduction

L'utilisation croissante de supraconducteurs à haute température critique de deuxième génération (2G HTS) et l'invention d'assemblages sans résistance sur les 2G HTS ont créé le besoin du présent document 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 de la température critique (T_c), du champ magnétique critique (B_c) et de la 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.

Le 2G HTS est constitué de plusieurs couches dont l'épaisseur totale se situe entre 60 μm et 100 μm avec ou sans stabilisant en cuivre enveloppant et la couche supraconductrice, en $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, (ReBCO, terme abrégé de $\text{ReBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$) ne fait qu'entre 1 μm et 2 μm d'épaisseur selon les spécifications du fabricant. Re désigne les matériaux terrestres rares dont le gadolinium, l'yttrium et le samarium qui sont utilisés pour les matériaux supraconducteurs à haute température de deuxième génération. La [Figure 1](#) montre un schéma des multiples couches avec stabilisant en cuivre enveloppe typiquement présentes dans un 2G HTS, ainsi que les constituants et l'épaisseur de chaque couche. Les deux couches de la légende 1 de la [Figure 1](#) n'existent pas dans le HTS 2G sans stabilisant.



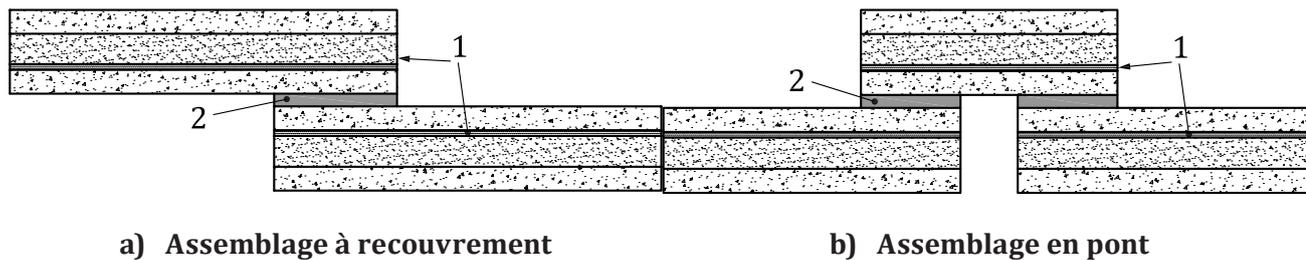
Légende

- | | |
|--|---|
| 1 stabilisant en cuivre (Cu) de 20 μm | 4 5 couches tampon (total 160 nm) |
| 2 couche protectrice en argent (Ag) de 2 μm | 5 substrat en Hastelloy de 50 μm |
| 3 couche supraconductrice ReBCO entre 1 μm et 2 μm | |

NOTE Schéma non à l'échelle

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

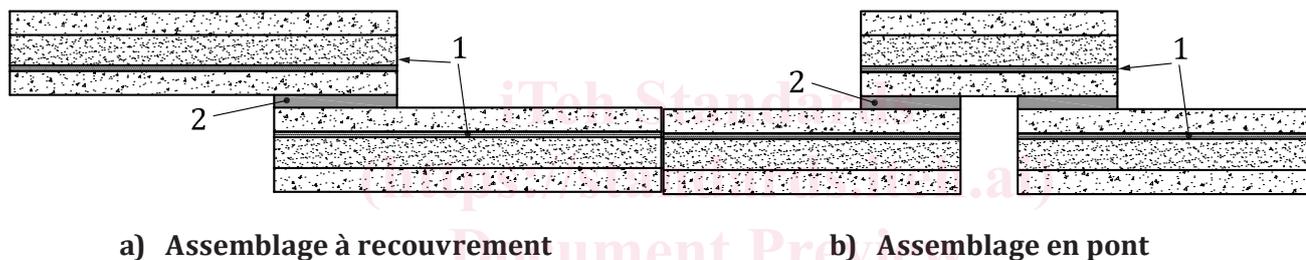
Pour l'heure, l'industrie des supraconducteurs recourt aux techniques de brasage fort ou tendre, ainsi qu'à tout procédé d'apport de métal comme l'indique la [Figure 2](#), qui montre la haute résistance électrique au niveau de l'assemblage, source de défaillance fatale dans le supraconducteur.



Key
 1 Couche supraconductrice
 2 produit d'apport de brasage tendre

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

Néanmoins, le présent document s'intéresse plus particulièrement à l'assemblage autogène direct des couches supraconductrices de 1 µm à 2 µm d'épaisseur des 2G HTS, comme l'indique la [Figure 3](#), sans métal d'apport et avec récupération des propriétés supraconductrices par procédé de recuit d'oxygénation, qui montre quasiment aucune résistance électrique au niveau de l'assemblage.



Légende
 1 couche supraconductrice

ISO 17279-2:2018

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/3825f487-5521-4237-a3c1-a41992dcd0a/iso-17279-2-2018>

Figure 3 — Assemblage autogène direct de deux couches supraconductrices d'épaisseur des 2G HTS pour l'assemblage supraconducteur

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

Partie 2: Qualification du personnel en soudage et d'essai

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences de qualification pour le personnel réalisant le micro-assemblage et le recuit d'oxygénation, et les essais des supraconducteurs à haute température de deuxième génération (2G HTS).

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils 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 15607:2003, *Descriptif et qualification d'un mode opératoire de soudage pour les matériaux métalliques — Règles générales*

ISO 17279-1, *Soudage — Micro-assemblages des supraconducteurs à haute température de deuxième génération — Partie 1: Exigences générales pour la procédure*

3 Terms and definitions

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/3825f487-5521-4237-a3c1-a41992dcdb0a/iso-17279-2-2018>

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO 17279-1 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 Symboles et termes abrégés

Pour les besoins du présent document, les abréviations répertoriées dans l'ISO 15607:2003, Tableau 1, pertinentes pour la procédure d'assemblage du 2G HTS doivent s'appliquer.

5 Qualification du personnel réalisant le micro-assemblage et le recuit d'oxygénation

5.1 Généralités

Le fabricant doit avoir à sa disposition du personnel suffisamment formé aux opérations de micro-assemblage de 2G HTS conformément aux exigences spécifiées. Le fabricant est responsable de l'élaboration du programme de formation, des pratiques écrites, des examens et des démonstrations pratiques destinés au personnel qui réalise le micro-assemblage conformément au présent document.

Ces éléments doivent établir l'aptitude du personnel qui réalise les opérations requises de micro-assemblage et de recuit d'oxygénation. Les procès-verbaux et certificats de qualification doivent être tenus à jour. Des modes opératoires pour le micro-assemblage et le recuit d'oxygénation sont donnés dans l'ISO 17279-1:2018, 5.4 à 5.6.

Les variables essentielles, les domaines de validité et les exigences de qualification pour la qualification du personnel sont spécifiés en 5.1 à 5.5 et la validité en 5.6. Si une opération de micro-assemblage et/ou de recuit d'oxygénation est requise en dehors du domaine de validité, une nouvelle épreuve de qualification est requise. Le personnel qui réalise le micro-assemblage et le recuit d'oxygénation doit être qualifié pour cette technique spécifique. La qualification n'est valide que pour cette technique.

5.2 Variables essentielles et domaine de validité

Les variables incluent la conception de l'assemblage, la largeur d'assemblage, les matériaux d'assemblage, les appareils et les paramètres de micro-assemblage et de recuit d'oxygénation.

Un assemblage d'essai qualifié avec succès pour une conception particulière ne qualifie le personnel que pour cette conception d'assemblage en particulier. Tout changement de type d'assemblage par un autre nécessite une qualification supplémentaire.

Toute dimension d'assemblage qualifiée avec succès dans un matériau particulier ne qualifie le personnel que pour cette dimension de matériau en particulier. Tout changement de dimensions d'assemblage par d'autres nécessite une qualification supplémentaire.

Un assemblage d'essai qualifié avec succès dans un matériau spécifique ne qualifie le personnel que pour ce matériau supraconducteur en particulier. Tout changement de matériau supraconducteur par un autre nécessite une qualification supplémentaire.

Les appareils doivent être régulièrement étalonnés conformément aux spécifications du fabricant. Seuls les appareils de micro-assemblage et de recuit d'oxygénation dont l'étalonnage et la qualification sont valides doivent être utilisés pour qualifier le personnel. Le [Tableau 1](#) indique les variables essentielles pour le modèle d'assemblage, les largeurs d'assemblage, les matériaux supraconducteurs et les appareils. Le [Tableau 2](#) recense les paramètres des variables essentielles pour le micro-assemblage et le recuit d'oxygénation. Ces paramètres fournissent des informations sensibles pour la qualité de l'assemblage et déterminent la qualité de l'assemblage final. Tout changement de variables essentielles qualifiées exige une requalification.

Tableau 1 — Variables essentielles requises pour la qualification de l'assemblage, des matériaux et des appareils

Conception de l'assemblage	Largeur de l'assemblage (mm)	Matériaux supraconducteurs	Appareils de micro-assemblage et de recuit d'oxygénation
À recouvrement ou en pont	3 mm, 4 mm, 6 mm, 12 mm, ou selon spécifications	YBCO, GdBCO, SmBCO, ou selon spécifications	Changements de modèle ou de type particuliers, retrait, ajout ou changement de systèmes de commande

Tableau 2 — Variables essentielles requises pour la qualification du micro-assemblage et du recuit d'oxygénation

Micro-assemblage	Recuit d'oxygénation
Retrait de la couche de stabilisant en Cu et de la couche protectrice en Ag	Vitesse de chauffe
Niveau de vide interne de la chambre (four)	Température de recuit
Vitesse de chauffe	Temps de maintien
Température maximale d'assemblage	Débit d'oxygène

Tableau 2 (suite)

Micro-assemblage	Recuit d'oxygénation
Pression mécanique dans l'assemblage	Pression interne de la chambre (four)
Temps de maintien à température maximale d'assemblage	Vitesse de refroidissement jusqu'à température ambiante
Vitesse de refroidissement jusqu'à température ambiante ou température de recuit d'oxygénation	

Le domaine de validité d'autres variables, hormis celles énumérées dans les [Tableaux 1](#) et [2](#), doit être spécifié dans les spécifications du fabricant.

5.3 Méthodes de qualification

5.3.1 Qualification sur la base d'une éprouvette d'essai d'assemblage normalisée

Les éprouvettes d'assemblage d'essai doivent être réalisés conformément à un DMOS. Le micro-assemblage et le recuit d'oxygénation des éprouvettes d'essai doit être effectué en présence d'un inspecteur ou de tout autre personnel désigné. Le retrait de la couche de stabilisant en Cu et/ou de la couche protectrice en Ag doit également relever de la responsabilité du personnel chargé du micro-assemblage et du recuit d'oxygénation, étant donné que l'état de surface de la couche supraconductrice influence considérablement la qualité de l'assemblage. Trois éprouvettes par type d'assemblage doivent être testées.

Les éprouvettes d'essai doivent être marquées pour identification par le personnel réalisant le micro-assemblage et le recuit d'oxygénation ou par le personnel désigné avant de débiter l'assemblage. L'inspecteur peut arrêter à tout moment l'épreuve de micro-assemblage et/ou de recuit d'oxygénation s'il s'avère que le personnel chargé du micro-assemblage et du recuit d'oxygénation n'a pas l'habileté pour satisfaire aux exigences du présent document.

Les éprouvettes d'essai indiquées dans l'ISO 17279-1:2018, Figure 4 et Figure 5, doivent être utilisées pour l'assemblage d'essai normalisé. Tout personnel réalisant le micro-assemblage et le recuit d'oxygénation ayant passé avec succès les prescriptions du [5.3.2](#) doit être considéré comme étant qualifié pour la méthode (diffusion par micro-fusion partielle sous pression ou diffusion à l'état solide sous pression), le type d'assemblage (à recouvrement ou en pont), la largeur d'assemblage, le matériau supraconducteur et le type d'appareil de micro-assemblage et de recuit d'oxygénation utilisés pendant l'épreuve.

Les connaissances techniques du personnel sur le micro-assemblage et le recuit d'oxygénation et les appareils devant être utilisés doivent être examinées pour la qualification du personnel. Voir [Annexes A](#) et [B](#).

5.3.2 Qualification par essais des assemblages d'essai

L'ISO 17279-1:2018, 5.5.4 et le [Tableau 1](#), décrivent les exigences d'essai pour la qualification du mode opératoire. Dans ISO 17279-1:2018, Tableau 1, seules les méthodes d'essai par contrôle visuel, par essai de courant critique, I_c , et par essai de traction avec armature doivent être choisies pour les assemblages d'essai (voir ISO 17279-3¹⁾ pour les méthodes d'essai) pour la qualification du personnel. Le [Tableau 3](#) indique les exigences en matière de qualification du personnel. Le courant critique commun, I_c , est extrêmement important dans les supraconducteurs. En outre, d'autres méthodes d'essai décrites dans l'ISO 17279-1:2018, 5.5.4.2 et Tableau 1, peuvent être appliquées pour la qualification si le fabricant l'exige.

1) En préparation.

Tableau 3 — Exigences de qualification du personnel réalisant le micro-assemblage et le recuit d'oxygénation

Type d'essai	Étendue de l'essai	Confirmation de l'essai
Contrôle visuel	3 éprouvettes assemblées	vérifier que l'assemblage est exempt de défaut et de décollement, etc., et contrôler également l'aspect et les alignements, etc.
Essai de courant critique, I_c , par mesure quatre pointes	3 éprouvettes assemblées	vérifier que la valeur I_c de l'assemblage est au moins de 80 % dans les matériaux vierges du 2G HTS ou que la valeur I_c de l'assemblage est conforme aux spécifications du fabricant
Essai de traction avec armature	3 éprouvettes assemblées extraites de l'éprouvette d'essai assemblée et qualifiée pour la valeur I_c	vérifier que la résistance à la traction de l'assemblage est égale dans les matériaux vierges du 2G HTS en ReBCO ou est conforme aux spécifications du fabricant, et vérifier également que la résistance de l'assemblage affiche la même valeur I_c que celle des matériaux vierges du 2G HTS en ReBCO.

5.4 Contre-essais

Si l'une des trois éprouvettes ne satisfait pas aux critères d'acceptation décrits dans l'ISO 17279-1:2018, 5.9, ou Tableau 3, l'essai doit être rejeté. Deux éprouvettes d'essai supplémentaires doivent être assemblées selon le même mode opératoire, puis soumises à essais. Si l'une de ces éprouvettes supplémentaires ne remplit pas les exigences, le personnel chargé du micro-assemblage et du recuit d'oxygénation doit être tenu de suivre une formation complémentaire avant de procéder à de nouveaux essais.

Si deux des trois éprouvettes ou les trois éprouvettes ne satisfont pas aux critères d'acceptation décrits dans l'ISO 17279-1:2018, 5.9, ou Tableau 3, le personnel chargé du micro-assemblage et du recuit d'oxygénation d'assemblage doit être tenu de suivre une formation complémentaire avant de procéder à de nouveaux essais.

5.5 Examen de qualification et rapport d'examen

Les résultats de toutes les épreuves doivent être vérifiés afin de confirmer que le personnel chargé du micro-assemblage et du recuit d'oxygénation a passé l'examen de qualification et être documentés. Le fabricant doit décider du format de la documentation. Un modèle de rapport d'épreuve est proposé dans le [Tableau 4](#) et en [Annexe C](#). La documentation peut être présentée au format papier ou sur support électronique.

Tableau 4 — Rapport d'épreuve pour le personnel

Candidat à l'examen	Conception de l'assemblage		Largeur mm	Matériau supra-conducteur	Contrôle visuel	Essai de courant critique (I_c)	Essai de traction avec armature
	À recouvrement	En pont					
A	X		4	YBCO	P	F	F
B		X	6	GdBCO	P	P	P
C	X		12	SmBCO	F	P	P

NOTE P: validé ou qualifié, F: échec

5.6 Durée de validité

5.6.1 Qualification initiale

La qualification du personnel chargé du micro-assemblage et du recuit d'oxygénation est valide à partir de la date à laquelle l'examen requis a été passé et les résultats d'obtention délivrés. La qualification est valide pour une période de 2 ans, la durée de validité expirant le dernier jour du mois.