

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
61788-2

Première édition
First edition
1999-03

Supraconductivité –

Partie 2:

**Mesure du courant critique –
Courant critique continu des supraconducteurs
composites Nb₃Sn**

Superconductivity –

Part 2:

**Critical current measurement –
DC critical current of Nb₃Sn composite
superconductors**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 61788-2:1999

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC

61788-2

Première édition
First edition
1999-03

Supraconductivité –

Partie 2:

**Mesure du courant critique –
Courant critique continu des supraconducteurs
composites Nb₃Sn**

Superconductivity –

Part 2:

**Critical current measurement –
DC critical current of Nb₃Sn composite
superconductors**

© IEC 1999 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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 photo-copie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
Articles	
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives.....	8
3 Terminologie	10
4 Prescriptions	10
5 Appareillage.....	12
6 Préparation du spécimen.....	14
7 Procédure de mesure	16
8 Justesse et précision de la méthode d'essai	18
9 Calcul des résultats.....	20
10 Compte rendu d'essai.....	22
Annexe A (informative) Informations supplémentaires relatives aux articles 1 à 9.....	26
Annexe B (informative) Effet de déformation des conducteurs Nb ₃ Sn	50
Annexe C (informative) Effet du champ induit.....	54
Figures	
1 Caractéristique V-I intrinsèque.....	24
2 Caractéristique V-I avec une composante de transfert de courant.....	24
A.1 Instrumentation du spécimen avec une paire de prises de tension nulle	48
B.1 Variabilité du courant critique avec la déformation uniaxiale (de tension) pour un fil composite Nb ₃ Sn typique représentée avec différents champs magnétiques.....	52

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 Scope	9
2 Normative references	9
3 Terminology	11
4 Requirements	11
5 Apparatus	13
6 Specimen preparation	15
7 Measurement procedure	17
8 Precision and accuracy of the test method	19
9 Calculation of results	21
10 Test report	23
Annex A (informative) Additional information relating to clauses 1 to 9	27
Annex B (informative) Strain effect of Nb ₃ Sn conductors	51
Annex C (informative) Self-field effect	55
Figures	
1 Intrinsic V-I characteristic	25
2 V-I characteristic with a current transfer component	25
A.1 Instrumentation of specimen with a null voltage tap pair	49
B.1 Uniaxial (tensile) strain dependence of critical current for a typical Nb ₃ Sn composite wire shown at various magnetic fields	53

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 2: Mesure du courant critique – Courant critique continu des supraconducteurs composites Nb₃Sn

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61788-2 a été établie par le comité d'études 90 de la CEI: Supraconductivité.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
90/55/FDIS	90/57/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERCONDUCTIVITY –

**Part 2: Critical current measurement –
DC critical current of Nb₃Sn composite superconductors**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61788-2 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
90/55/FDIS	90/57/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

Annexes A, B and C are for information only.

INTRODUCTION

Les courants critiques des supraconducteurs composites sont utilisés pour établir les limites de conception des applications des fils supraconducteurs. Les conditions de fonctionnement des supraconducteurs dans ces applications déterminent en grande partie leur comportement et il est permis d'utiliser les essais effectués selon la méthode donnée dans la présente norme afin d'obtenir une partie des informations nécessaires pour déterminer si un supraconducteur spécifique est adapté ou non.

Il est également permis d'utiliser les résultats obtenus grâce à la présente méthode pour détecter, dans les propriétés supraconductrices d'un supraconducteur composite, des modifications résultant de variables de traitement, de la manipulation, du vieillissement, d'autres applications ou de conditions ambiantes. La présente méthode est utile dans le contrôle de la qualité, les essais de réception ou de recherche si les précautions données dans la présente norme sont observées.

Les courants critiques des supraconducteurs composites dépendent d'un grand nombre de variables. Il est nécessaire de considérer ces variables aussi bien lors des essais que lors de l'application de ces matériaux. Les conditions d'essai telles que le champ magnétique, la température et l'orientation relative du spécimen, le courant et le champ magnétique sont déterminés en fonction de l'application considérée. Il est permis de déterminer la configuration d'essai en fonction du conducteur considéré avec certaines tolérances. Il est permis de déterminer le critère spécifique de courant critique en fonction de l'application considérée. En cas d'irrégularités lors des essais, il peut être approprié de mesurer un certain nombre de spécimens d'essai.

La méthode d'essai couverte par la présente norme est basée sur celle concernant la détermination du courant critique des supraconducteurs composites Cu/Nb-Ti (CEI 61788-1) et sur les travaux prénormatifs VAMAS (Projet Versailles sur les matériaux et normes avancés) concernant le courant critique des supraconducteurs composites Nb₃Sn. On sait que le courant critique des supraconducteurs Nb₃Sn est très sensible aux déformations mécaniques si on compare avec le cas des supraconducteurs Cu/Nb-Ti. C'est pourquoi certaines modifications sont effectuées dans les procédures d'essai qui peuvent affecter l'état de déformation du spécimen d'essai. Voir l'annexe B pour l'historique de ces modifications.

INTRODUCTION

The critical currents of composite superconductors are used to establish design limits for applications of superconducting wires. The operating conditions of superconductors in these applications determine much of their behaviour and tests made with the method given in the present standard may be used to provide part of the information needed to determine the suitability of a specific superconductor.

Results obtained from this method may also be used for detecting changes in the superconducting properties of a composite superconductor due to processing variables, handling, ageing or other applications or environmental conditions. This method is useful for quality control, acceptance or research testing if the precautions given in this standard are observed.

The critical current of composite superconductors depends on many variables. These variables need to be considered in both the testing and the application of these materials. Test conditions such as magnetic field, temperature and relative orientation of the specimen, current and magnetic field are determined by the particular application. The test configuration may be determined by the particular conductor through certain tolerances. The specific critical current criterion may be determined by the particular application. It may be appropriate to measure a number of test specimens if there are irregularities in testing.

The test method covered in this standard is based on that for the determination of the critical current of Cu/Nb-Ti composite superconductors (IEC 61788-1) and the VAMAS (Versailles Project on Advanced Materials and Standards) prestandardization work on the critical current of Nb₃Sn composite superconductors. The critical current of Nb₃Sn superconductors is known to be highly sensitive to mechanical strain compared to Cu/Nb-Ti superconductors. Hence, some modifications are made on the test procedures which may affect the strain state of a test specimen. See annex B for the background to these modifications.

IEC 61788-2:1999

<https://standards.iteh.ai/en/standards/iec/2/2d1998e-cd77-4184-a56b-9ee558377f09/iec-61788-2-1999>

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 2: Mesure du courant critique – Courant critique continu des supraconducteurs composites Nb₃Sn

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61788 traite d'une méthode d'essai pour la détermination du courant critique continu des supraconducteurs composites Nb₃Sn qui sont fabriqués soit par le procédé du bronze, soit par le procédé de diffusion interne de l'étain, et dont le rapport cuivre/non-cuivre est supérieur à 0,2.

La présente méthode est destinée à être utilisée avec des supraconducteurs caractérisés par des courants critiques inférieurs à 1 000 A et des valeurs n supérieures à 12 dans des conditions d'essai standards et avec des champs magnétiques inférieurs ou égaux à 0,7 fois la valeur du champ magnétique critique le plus élevé. Le spécimen d'essai est immergé dans un bain d'hélium liquide à une température mesurée pendant l'essai. Le conducteur d'essai composite Nb₃Sn a une structure monolithique avec une surface de section ronde totale inférieure à 2 mm². Le spécimen utilisé dans la présente méthode d'essai a la forme d'une bobine inductive. La présente norme indique les écarts par rapport à la méthode d'essai permis dans des essais individuels de série et d'autres restrictions spécifiques.

Les conducteurs Nb₃Sn ayant des courants critiques supérieurs à 1 000 A ou des surfaces de section supérieure à 2 mm² peuvent être mesurés avec la présente méthode avec une réduction anticipée de précision et un effet de champ induit plus significatif (voir annexe C). D'autres formes d'essai, plus spécialisées, peuvent être mieux appropriées pour des essais de conducteurs de plus grande taille qui ont été omis dans la présente norme dans un souci de simplicité et de précision.

En principe, il convient que la méthode d'essai indiquée dans la présente norme s'applique aux fils composites Nb₃Sn fabriqués selon un autre procédé comme le procédé «jelly roll» modifié. Cette méthode est également supposée adaptable à d'autres fils supraconducteurs composites après des modifications appropriées.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60050-815:—, *Supraconductivité* 1)

CEI 61788-1:1998, *Supraconductivité – Partie 1: Mesure du courant critique – Courant critique continu des supraconducteurs en composite Cu/Nb-Ti*

1) A publier.

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 2: Critical current measurement – DC critical current of Nb₃Sn composite superconductors

1 Scope

This part of IEC 61788 covers a test method for the determination of the d.c. critical current of Nb₃Sn composite superconductors which are fabricated by either the bronze process or the internal tin diffusion process and have a copper/non-copper ratio larger than 0,2.

This method is intended for use with superconductors which have critical currents of less than 1 000 A and n -values larger than 12 under standard test conditions and at magnetic fields of less than or equal to 0,7 times the upper critical magnetic field. The test specimen is immersed in a liquid helium bath at a measured temperature during testing. The Nb₃Sn composite test conductor has a monolithic structure with a total round-cross-sectional area that is less than 2 mm². The specimen geometry used in this test method is an inductively coiled specimen. Deviations from this test method that are allowed for routine tests and other specific restrictions are given in this standard.

Nb₃Sn conductors with critical currents above 1 000 A or total cross-sectional areas greater than 2 mm² can be measured with the present method with an anticipated reduction in precision and a more significant self-field effect (see annex C). Other, more specialized, specimen test geometries may be more appropriate for larger conductor testing which have been omitted from this present standard for simplicity and to retain precision.

The test method given in this standard should in principle apply to Nb₃Sn composite wires fabricated by any other process, such as the modified jelly-roll process. This method is also expected to apply to other superconducting composite wires after some appropriate modifications.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60050-815:—, *Superconductivity* ¹⁾

IEC 61788-1:1998, *Superconductivity – Part 1: Critical current measurement – DC critical current of Cu/Nb-Ti composite superconductors*

¹⁾ To be published.

3 Terminologie

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61788, les définitions de la CEI 60050-815 s'appliquent, ainsi que la définition suivante:

Le courant critique (I_c) est défini comme le courant pour lequel un critère de champ électrique (E_c) ou un critère de résistivité (ρ_c) spécifique est atteint dans le spécimen considéré pour une valeur donnée du champ magnétique statique appliqué à une température spécifiée dans un bain d'hélium liquide et à pression constante. Pour E_c ou ρ_c , il existe un critère de tension correspondant V_c pour une longueur d'échantillon spécifiée

4 Prescriptions

Le courant critique d'un supraconducteur doit être mesuré en appliquant un courant continu (I) au spécimen supraconducteur et ensuite en mesurant la tension (V) générée le long d'une section du spécimen. Le courant doit être augmenté à partir de zéro et la caractéristique tension-courant ($V-I$) doit être générée et enregistrée.

Le spécimen doit être enroulé sur un mandrin de réaction cylindrique avec un sillon hélicoïdal et, après réaction, il doit être transféré sur un mandrin de mesurage du même diamètre sur lequel l'angle hélicoïdal est conservé.

Le spécimen doit être fixé sur le mandrin de mesurage en le serrant et/ou en le collant à l'aide d'un adhésif à basse température.

Dans la présente méthode, le champ magnétique appliqué doit être parallèle à l'axe du mandrin de mesurage.

La précision recherchée par la présente méthode est un coefficient de variation (écart type divisé par la moyenne des déterminations de courant critique), qui est inférieur à 3 % pour la mesure à 12 T et proche de 4,2 K.

L'utilisation d'une correction de transfert de courant commune est exclue de la présente méthode d'essai. De plus, si une signature de transfert de courant est déclarée lors du mesurage, ce dernier doit être déclaré non valide.

Il incombe à l'utilisateur de la présente norme de consulter et d'établir des règles d'hygiène et de sécurité appropriées et de déterminer l'applicabilité des restrictions en matière de réglementation avant utilisation. Des spécifications préventives spécifiques sont données ci-après.

Ces types de mesurages sont susceptibles de présenter des risques. La présence de courants continus élevés et de tensions très basses ne représente pas nécessairement un risque direct pour l'utilisateur, mais des courts-circuits accidentels des fils avec d'autres conducteurs, tels que des outils ou des lignes de transfert, peuvent dégager une énergie importante et produire des arcs ou des brûlures électriques. Il est impératif d'isoler les fils de courant et de les protéger des courts-circuits. L'énergie accumulée dans les aimants supraconducteurs généralement utilisés pour fournir le champ magnétique de fond est également susceptible de produire des courants élevés et/ou des impulsions de tension ou de placer de grandes quantités d'énergie thermique dans les systèmes cryogéniques, ce qui produit une évaporation rapide ou même des conditions explosives. L'utilisation de liquides cryogéniques est indispensable au refroidissement des supraconducteurs pour permettre la transition vers l'état de supraconduction. Le contact direct de la peau avec des conduits de transfert de liquides froids, des Dewars de stockage ou des composants d'appareillage peut provoquer une congélation immédiate, de même que le contact direct avec un cryogène répandu. Il est impératif d'observer des règles de sécurité lors de la manipulation des liquides cryogéniques.

3 Terminology

For the purpose of this part of IEC 61788, the definitions given in IEC 60050-815 and the following apply:

The critical current (I_c) is defined as the current at which a specific electric field strength (electric field) criterion (E_c) or resistivity criterion (ρ_c) is reached in the specimen at a certain value of a static applied magnetic field at a specific temperature in a liquid helium bath at a constant pressure. For either E_c or ρ_c , there is a corresponding voltage criterion V_c for a specified sample length

4 Requirements

The critical current of a superconductor shall be measured by applying a direct current (I) to the superconductor specimen and then measuring the voltage (V) generated along a section of the specimen. The current shall be increased from zero and the voltage-current ($V-I$) characteristic generated and recorded.

The specimen shall be wound on a cylindrical reaction mandrel with a helical groove and after reaction, transferred to a measurement mandrel of the same diameter on which the helical angle is preserved.

The specimen shall be affixed to the measurement mandrel by tightening the specimen and/or bonding with a low temperature adhesive.

In this test method, the applied magnetic field shall be parallel to the measurement mandrel axis.

The target precision of this method is a coefficient of variation (standard deviation divided by the average of the critical current determinations), that is less than 3 % for the measurement at 12 T and near 4,2 K.

The use of a common current transfer correction is excluded from this test method. Furthermore, if a current transfer signature is pronounced in the measurement, then the measurement shall be considered invalid.

It is the responsibility of the user of this standard to consult and establish appropriate safety and health practices, and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific precautionary statements are given below.

Hazards exist in this type of measurement. Very large direct currents with very low voltages do not necessarily provide a direct personal hazard, but accidental shorting of the leads with another conductor, such as tools or transfer lines, can release significant amounts of energy and cause arcs or burns. It is imperative to isolate and protect current leads from shorting. Also, the stored energy in the superconducting magnets commonly used for the background magnetic field can cause similar large current and/or voltage pulses, or deposit large amounts of thermal energy in the cryogenic systems causing rapid boil-off or even explosive conditions. The use of cryogenic liquids is essential to cool the superconductors to allow transition into the superconducting state. Direct contact of skin with cold liquid transfer lines, storage dewars or apparatus components can cause immediate freezing, as can direct contact with a spilled cryogen. It is imperative that safety precautions for handling cryogenic liquids be observed.

5 Appareillage

5.1 Matériau du mandrin de réaction

Le mandrin de réaction doit être constitué d'un matériau résistant à la chaleur traité en surface ou non. Des matériaux appropriés pour les mandrins de réaction sont recommandés à l'annexe A. Il est permis d'utiliser n'importe lequel d'entre eux.

5.2 Construction du mandrin de réaction

Il est recommandé que la forme d'ensemble du mandrin de réaction corresponde à celle du mandrin de mesure sur lequel le spécimen individuel est à transférer.

Le diamètre du mandrin de réaction doit être suffisamment grand pour que la déformation de flexion du spécimen, qui est introduite dans le spécimen pendant l'enroulage, soit inférieure à 5 %.

Le mandrin doit comporter un sillon hélicoïdal autour duquel le spécimen doit être enroulé. L'angle de pas du sillon doit être inférieur à 7°. La profondeur du sillon doit être au moins égale à la moitié du diamètre du fil.

5.3 Matériaux du mandrin de mesure

Le mandrin de mesure doit être constitué d'un matériau isolant ou d'un matériau conducteur non ferromagnétique recouvert ou non d'une couche isolante.

Il est inévitable que le courant critique puisse dépendre du matériau du mandrin de mesure en raison de la contrainte produite par la contraction thermique différentielle entre le spécimen et le mandrin de mesure.

La déformation totale produite dans le spécimen à la température de mesure doit être réduite à $\pm 0,03$ %. En cas de déformation supérieure due à la contraction thermique différentielle du spécimen et du mandrin, on doit noter le courant critique à déterminer en état de déformation excessive par identification du matériau du mandrin.

Des matériaux pour mandrins de mesure appropriés sont recommandés à l'annexe A. Il est permis d'utiliser n'importe lequel d'entre eux.

Lorsqu'un matériau conducteur utilisé ne comporte pas de couche isolante, le courant de fuite dans le mandrin doit être inférieur à 0,2 % du courant total lorsque le courant du spécimen est en courant critique I_c (voir 8.5).

5.4 Construction du mandrin de mesure

Le mandrin doit comporter un sillon hélicoïdal autour duquel le spécimen doit être enroulé.

Le diamètre du mandrin de mesure, l'angle de pas du sillon hélicoïdal, sa profondeur et sa forme doivent être proches de ceux du mandrin de réaction.

L'angle entre l'axe du spécimen (portion entre les prises de tension) et le champ magnétique doit être égal à $(90 \pm 7)^\circ$. Cet angle doit être déterminé avec une précision de $\pm 2^\circ$.

Le contact de courant et le mandrin de mesure doivent former un ensemble rigide de façon à éviter toute concentration de contrainte dans la région de transition entre le mandrin et le contact de courant.