IEC 61788-6

Edition 3.0 2011-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Superconductivity – Part 6: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Cu/Nb-Ti composite superconductors

Supraconductivité – Partie 6: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Cu/Nb-Ti

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

V

ICS 29.050; 77.040.10

ISBN 978-2-88912-580-7

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 4
INTRODUCTION 6
1 Scope 7
2 Normative references 7
3 Terms and definitions 7
4 Principle 8
5 Apparatus 8
5.1 Conformity 8
5.2 Testing machine 8
5.3 Extensometer 9
6 Specimen preparation 9
6.1 Straightening the specimen 9
6.2 Length of specimen 9
6.3 Removing insulation 9
6.4 Determination of cross-sectional area (S_o) 9
7 Testing conditions 9
7.1 Specimen gripping 9
7.2 Pre-loading and setting of extensometer 9
7.3 Testing speed 9
7.4 Test 10
8 Calculation of results 12
8.1 Tensile strength (R_m) 12
8.2 0,2 % proof strength ($R_{p0,2A}$ and $R_{p0,2B}$) 12
8.3 Modulus of elasticity (E_o and E_a) 12
9 Uncertainty 12
10 Test report 13
10.1 Specimen 13
10.2 Results 13
10.3 Test conditions 13
Annex A (informative) Additional information relating to Clauses 1 to 10 14
Annex B (informative) Uncertainty considerations 19
Annex C (informative) Specific examples related to mechanical tests 23
Bibliography 32

Figure 1 – Stress-strain curve and definition of modulus of elasticity and 0,2 % proof strengths 11
Figure A.1 – An example of the light extensometer, where R1 and R3 indicate the corner radius 15
Figure A.2 – An example of the extensometer provided with balance weight and vertical specimen axis 16
Figure C.1 – Measured stress versus strain curve of the rectangular cross section NbTi wire and the initial part of the curve 23
Figure C.2 – 0,2 % offset shifted regression line, the raw stress versus strain curve and the original raw data of stress versus strain 29

Table B.1 – Output signals from two nominally identical extensometers 20
Table B.2 – Mean values of two output signals 20
Table B.3 – Experimental standard deviations of two output signals 20
Table B.4 – Standard uncertainties of two output signals 21
Table B.5 – Coefficient of variations of two output signals 21
Table C.1 – Load cell specifications according to manufacturer's data sheet 26
Table C.2 – Uncertainties of displacement measurement 26
Table C.3 – Uncertainties of wire width measurement 27
Table C.4 – Uncertainties of wire thickness measurement 27
Table C.5 – Uncertainties of gauge length measurement 27
Table C.6 – Calculation of stress at 0 % and at 0,1 % strain using the zero offset regression line as determined in Figure C.1b). 28
Table C.7 – Linear regression equations computed for the three shifted lines and for the stress versus strain curve in the region where the lines intersect 29
Table C.8 – Calculation of strain and stress at the intersections of the three shifted lines with the stress strain curve 30
Table C.9 – Measured stress versus strain data and the computed stress based on a linear fit to the data in the region of interest 31

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 6: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Cu/Nb-Ti composite superconductors

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). 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. 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 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 IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61788-6 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2008. It constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

– specific example of uncertainty estimation related to mechanical tests was supplemented as Annex C.

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

FDIS	Report on voting
90/267/FDIS	90/278/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.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 61788 series, published under the general title *Superconductivity,* can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "http://webstore.iec.ch" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

The Cu/Nb-Ti superconductive composite wires currently in use are multifilamentary composite material with a matrix that functions as a stabilizer and supporter, in which ultrafine superconductor filaments are embedded. A Nb-40~55 mass % Ti alloy is used as the superconductive material, while oxygen-free copper and aluminium of high purity are employed as the matrix material. Commercial composite superconductors have a high current density and a small cross-sectional area. The major application of the composite superconductors is to build superconducting magnets. While the magnet is being manufactured, complicated stresses are applied to its windings and, while it is being energized, a large electromagnetic force is applied to the superconducting wires because of its high current density. It is therefore indispensable to determine the mechanical properties of the superconductive wires, of which the windings are made.

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 6: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Cu/Nb-Ti composite superconductors

1 Scope

This part of IEC 61788 covers a test method detailing the tensile test procedures to be carried out on Cu/Nb-Ti superconductive composite wires at room temperature.

This test is used to measure modulus of elasticity, 0,2 % proof strength of the composite due to yielding of the copper component, and tensile strength.

The value for percentage elongation after fracture and the second type of 0,2 % proof strength due to yielding of the Nb-Ti component serves only as a reference (see Clauses A.1 and A.2).

The sample covered by this test procedure has a round or rectangular cross-section with an area of 0,15 mm^2 to 2 mm^2 and a copper to superconductor volume ratio of 1,0 to 8,0 and without the insulating coating.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-815, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 815: Superconductivity*

ISO 376, *Metallic materials – Calibration of force-proving instruments used for the verification of uniaxial testing machines*

ISO 6892-1, *Metallic materials – Tensile testing – Part 1: Method of test at room temperature*

ISO 7500-1, *Metallic materials – Verification of static uniaxial testing machines – Part 1: Tension/compression testing machines – Verification and calibration of the force-measuring system*

ISO 9513, *Metallic materials – Calibration of extensometers used in uniaxial testing*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 36
INTRODUCTION 38
1 Domaine d'application 39
2 Références normatives 39
3 Termes et définitions 39
4 Principe 40
5 Appareillage 40
5.1 Conformité 40
5.2 Machine d'essai 40
5.3 Extensomètre 41
6 Préparation de l'éprouvette 41
6.1 Redressement de l'éprouvette 41
6.2 Longueur de l'éprouvette 41
6.3 Retrait de l'isolation 41
6.4 Détermination de la surface de section (S_o) 41
7 Conditions d'essai 41
7.1 Serrage de l'éprouvette 41
7.2 Préchargement et réglage de l'extensomètre 41
7.3 Vitesse d'essai 42
7.4 Essai 42
8 Calcul des résultats 44
8.1 Résistance à la traction (R_m) 44
8.2 Charge d'épreuve à 0,2 % ($R_{p0,2A}$ et $R_{p0,2B}$) 44
8.3 Module d'élasticité (E_o et E_a) 44
9 Incertitude 44
10 Rapport d'essai 45
10.1 Eprouvette 45
10.2 Résultats 45
10.3 Conditions d'essai 45
Annex A (informative) Informations supplémentaires concernant les Articles 1 à 10 46
Annex B (informative) Considérations relatives à l'incertitude 51
Annex C (informative) Exemples spécifiques concernant les essais mécaniques 56
Bibliographie 66

Figure 1 – Courbe contrainte-déformation et définition du module d'élasticité et des charges d'épreuve à 0,2 % 43
Figure A.1 – Exemple d'extensomètre léger, où R1 et R3 indiquent le rayon du coin 47
Figure A.2 – Exemple d'extensomètre muni d'une masse d'équilibrage et d'un axe d'éprouvette vertical 48
Figure C.1 – Courbe de contrainte mesurée en fonction de la déformation du fil supraconducteur de NbTi de section transversale rectangulaire et partie initiale de la courbe 56
Figure C.2 – Ligne de régression décalée de 0,2 %, courbe brute de contrainte en fonction de la déformation et données brutes d'origine de contrainte en fonction de la déformation 62

Tableau B.1 – Signaux de sortie de deux extensomètres nominalement identiques 52
Tableau B.2 – Valeurs moyennes de deux signaux de sortie 52
Tableau B.3 – Ecarts-types expérimentaux de deux signaux de sortie 53
Tableau B.4 – Incertitudes-types de deux signaux de sortie 53
Tableau B.5 – Coefficient de variation de deux signaux de sortie 53
Tableau C.1 – Caractéristiques du dynamomètre en fonction des fiches de caractéristiques du fabricant 59
Tableau C.2 – Incertitudes de mesure de déplacement 60
Tableau C.3 – Incertitudes de mesure de largeur de fil 60
Tableau C.4 – Incertitudes de mesure de l'épaisseur de fil 60
Tableau C.5 – Incertitudes de mesure de longueur entre repères 61
Tableau C.6 – Calcul de la contrainte à 0 % et de la déformation à 0,1 % en utilisant la ligne de régression de décalage nul déterminée à la Figure C.1b). 62
Tableau C.7 – Equations de régression linéaire calculée d'après les trois lignes décalées et pour la courbe de contrainte en fonction de la déformation dans la région où les lignes se coupent 63
Tableau C.8 – Calcul de la déformation et de la contrainte aux intersections des trois lignes décalées avec la courbe contrainte-déformation 63
Tableau C.9 – Données mesurées de contrainte en fonction de la déformation et contrainte calculée basée sur une adaptation linéaire aux données dans la région d'intérêt 64

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 6: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Cu/Nb-Ti

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). 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 de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61788-6 a été établie par le comité d'études 90 de la CEI: Supraconductivité.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2008, dont elle constitue une révision technique.

Cette édition contient les modifications techniques significatives suivantes par rapport à l'édition précédente:

– un exemple spécifique d'estimation d'incertitude concernant les essais mécaniques a été ajouté en Annexe C.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
90/267/FDIS	90/278/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.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61788, publiées sous le titre général *Supraconductivité*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Les fils de composites supraconducteurs de Cu/Nb-Ti actuellement utilisés sont un matériau composite multifilament avec une matrice qui agit comme stabilisateur et support, dans laquelle sont incorporés des filaments supraconducteurs ultrafins. On utilise comme matériau supraconducteur un alliage de 40 % à 55 % en masse de Nb et de Ti, tandis qu'on utilise comme matériau de matrice du cuivre exempt d'oxygène et de l'aluminium de haute pureté. Les composites supraconducteurs du commerce ont une forte densité de courant et une faible section de surface. La principale application des composites supraconducteurs est la construction d'aimants supraconducteurs. Pendant la fabrication de l'aimant, des contraintes complexes sont appliquées à ses enroulements et, lorsqu'il est excité, une force électromagnétique importante est appliquée aux fils supraconducteurs en raison de sa forte densité de courant. Il est donc indispensable de déterminer les propriétés mécaniques des fils supraconducteurs dont sont constitués les enroulements.

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 6: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites de Cu/Nb-Ti

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61788 spécifie une méthode d'essai détaillant les modes opératoires d'essai de traction à exécuter sur des fils composites supraconducteurs de Cu/Nb-Ti à température ambiante.

Cet essai est utilisé pour mesurer le module d'élasticité, la charge d'épreuve à 0,2 % du composite due à la déformation du composant de cuivre et à la résistance à la traction.

La valeur du pourcentage d'allongement après fracture et le second type de charge d'épreuve à 0,2 % due à la déformation du composant en Nb-Ti ne servent que de référence (voir Articles A.1 et A.2).

L'échantillon spécifié par le présent mode opératoire d'essai a une section transversale circulaire ou rectangulaire avec une surface de 0,15 mm^2 à 2 mm^2 et un rapport volumique entre le cuivre et le supraconducteur de 1,0 à 8,0 et sans revêtement isolant.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour 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).

CEI 60050-815, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 815: Supraconductivité*

ISO 376, *Matériaux métalliques – Étalonnage des instruments de mesure de force utilisés pour la vérification des machines d'essais uniaxiaux*

ISO 6892-1, *Matériaux métalliques – Essai de traction – Partie 1: Méthode d'essai à température ambiante*

ISO 7500-1, *Matériaux métalliques – Vérification des machines pour essais statiques uniaxiaux – Partie 1: Machines d'essai de traction/compression – Vérification et étalonnage du système de mesure de force*

ISO 9513, *Matériaux métalliques – Étalonnage des extensomètres utilisés lors d'essais uniaxiaux*