

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Superconductivity –

Part 18: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2223 and Bi-2212 composite superconductors

Supraconductivité –

Partie 18: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites Bi-2223 et Bi-2212 avec gaine Ag et/ou en alliage d'Ag

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

W

ICS 29.050

ISBN 978-2-8322-1051-2

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

1	Scope.....	7
2	Normative references	7
3	Terms and definitions	7
4	Principle	9
5	Apparatus.....	9
5.1	General	9
5.2	Testing machine	9
5.3	Extensometer	9
6	Specimen preparation.....	9
6.1	General	9
6.2	Length of specimen	10
6.3	Removing insulation	10
6.4	Determination of cross-sectional area (S_0).....	10
7	Testing conditions	10
7.1	Specimen gripping.....	10
7.2	Setting of extensometer.....	10
7.3	Testing speed.....	10
7.4	Test.....	10
8	Calculation of results	12
8.1	Modulus of elasticity (E)	12
8.2	0,2 % proof strength ($R_{p0,2}$)	13
8.3	Tensile stress at specified strains (R_A).....	13
8.4	Fracture strength (R_f).....	14
9	Uncertainty of measurement.....	14
10	Test report.....	14
10.1	Specimen	14
10.2	Results.....	15
10.3	Test conditions	15
	Annex A (informative) Additional information relating to Clauses 1 to 14	16
	Annex B (informative) Uncertainty considerations	26
	Annex C (informative) Specific examples related to evaluation of uncertainties for Ag/Bi-2223 and Ag/Bi-2212 wires	30
	Figure 1 – Typical stress-strain curve and definition of modulus of elasticity and 0,2 % proof strengths of an externally laminated Ag/Bi-2223 wire by brass foil	11
	Figure 2 – Typical stress-strain curve of an Ag/Bi-2223 wire where the 0,2 % proof strengths could not be determined and definition of tensile stresses at specified strains	12
	Figure A.1 – Low mass Siam twin type extensometer with a gauge length of ~ 12,3 mm (total mass ~ 0,5 g).....	16
	Figure A.2 – Low mass double extensometer with a gauge length of ~ 25,6 mm (total mass ~ 3 g).....	17
	Figure A.3 – An example of the extensometer provided with balance weight and vertical specimen axis.....	18
	Figure A.4 – Original raw data of an Ag/Bi-2223 wire measurement in form of load and displacement graph.....	19

Figure A.5 – Typical stress versus strain of an Ag/Bi-2223 wire up to the elastic limit corresponding to the transition region from elastic to plastic deformation (point G)	20
Figure C.1 – Measured stress versus strain curve for Bi-2223 wire	31
Table A.1 – Results of relative standard uncertainty values achieved on different Ag/Bi-2223 wires during the international round robin tests	23
Table A.2 – Selected data for F test for E_0 of Sample E bare wire	24
Table A.3 – Results of F-test for the variations of E_0 of four kinds of Bi-2223 wires	24
Table B.1 – Output signals from two nominally identical extensometers	27
Table B.2 – Mean values of two output signals	27
Table B.3 – Experimental standard deviations of two output signals.....	27
Table B.4 – Standard uncertainties of two output signals	27
Table B.5 – Coefficient of variations of two output signals.....	28
Table C.1. – Load cell specifications according to manufacturer's data sheet.....	32
Table C.2 – Uncertainties from various factors for stress measurement	33
Table C.3 – Uncertainties with respect to measurement of strain measurement	35
Table C.4 – Summary of evaluated uncertainties caused by various factors	35
Table C.5 – Results of uncertainty evaluation for the modulus of elasticity ($E_0 = 86,1$ GPa) as a function of initial cross head rate.....	36
Table C.6 – Uncertainties from various factors for stress measurement	37
Table C.7 – Results of uncertainty evaluation for the stress ($R = 42,5$ MPa) as a function of initial strain rate	37

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SUPERCONDUCTIVITY –

**Part 18: Mechanical properties measurement –
Room temperature tensile test of Ag- and/or Ag alloy-sheathed
Bi-2223 and Bi-2212 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 61788-18 has been prepared by IEC technical committee 90: Superconductivity.

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

FDIS	Report on voting
90/326/FDIS	90/327/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.

INTRODUCTION

Several types of composite superconductors have now been commercialised. Especially, high temperature superconductors such as Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2223 (Ag/Bi-2223) and Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2212 (Ag/Bi-2212) wires are now manufactured in industrial scale. Commercial composite superconductors have a high current density and a small cross-sectional area. The major applications of composite superconductors are to build electrical power devices and superconducting magnets. While the magnet is being manufactured, complicated stresses/strains 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 from which the windings are made.

The Ag/Bi-2223 and Ag/Bi-2212 superconductive composite wires fabricated by the powder-in-tube method are composed of a number of oxide filaments with silver and silver alloy as a stabilizer and supporter. In the case that the external reinforcement of Ag/Bi-2223 and Ag/Bi-2212 wires by using thin stainless or Cu alloy foils has been adopted in order to resist the large electromagnet force, this standard shall be also applied.

SUPERCONDUCTIVITY –

Part 18: Mechanical properties measurement – Room temperature tensile test of Ag- and/or Ag alloy-sheathed Bi-2223 and Bi-2212 composite superconductors

1 Scope

This International Standard specifies a test method detailing the tensile test procedures to be carried out on Ag/Bi-2223 and Ag/Bi-2212 superconductive composite wires at room temperature.

This test is used to measure the modulus of elasticity and to determine the 0,2 % proof strength.

When the 0,2 % proof strength could not be determined due to earlier failure, the stress level at apparent strains of 0,05 %, 0,1 %, 0,15 %, 0,2 %, 0,25 % with increment of 0,05 % is measured.

The values for elastic limit, fracture strength, percentage elongation after fracture and the fitted type of 0,2 % proof strength serve only as a reference (see Clauses A.4, A.5, A.6 and A.10).

The sample covered by this test procedure should have a round or rectangular cross-section with an area of 0,3 mm² to 2,0 mm² (corresponding to the tape-shaped wires with width of 2,0 mm to 5,0 mm and thickness of 0,16 mm to 0,4 mm).

2 Normative references

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

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <<http://www.electropedia.org>>)

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 extensometer systems used in uniaxial testing*

SOMMAIRE

1	Domaine d'application	45
2	Références normatives	45
3	Termes et définitions	46
4	Principe	47
5	Appareillage	47
5.1	Généralités	47
5.2	Machine d'essai	47
5.3	Extensomètre	47
6	Préparation de l'éprouvette	48
6.1	Généralités	48
6.2	Longueur de l'éprouvette	48
6.3	Retrait de l'isolation	48
6.4	Détermination de la surface de section (S_0)	48
7	Conditions d'essai	48
7.1	Serrage de l'éprouvette	48
7.2	Mise en place de l'extensomètre	48
7.3	Vitesse d'essai	49
7.4	Essai	49
8	Calcul des résultats	51
8.1	Module d'élasticité (E)	51
8.2	Charge d'épreuve à 0,2 % ($R_{p0,2}$)	52
8.3	Contrainte de traction pour des déformations spécifiées (R_A)	53
8.4	Résistance à la rupture (R_f)	53
9	Incertitude de mesure	53
10	Rapport d'essai	53
10.1	Eprouvette	53
10.2	Résultats	54
10.3	Conditions d'essai	54
	Annexe A (informative) Informations complémentaires relatives aux Articles 1 à 14	55
	Annexe B (informative) Considérations relatives à l'incertitude	66
	Annexe C (informative) Exemples spécifiques concernant l'évaluation des incertitudes pour les fils d'Ag/Bi-2223 et d'Ag/Bi-2212	71
	Figure 1 – Courbe contrainte-déformation type et définition du module d'élasticité et des charges d'épreuve à 0,2 % d'un fil d'Ag/Bi-2223 recouvert extérieurement d'une feuille de laiton	50
	Figure 2 – Courbe contrainte-déformation type d'un fil d'Ag/Bi-2223 lorsqu'il n'a pas été possible de déterminer les charges d'épreuve à 0,2 % et définition des contraintes de traction pour des déformations spécifiées	51
	Figure A.1 – Extensomètre de type jumeau de Siam avec une longueur entre repères d'environ 12,3 mm (masse totale d'environ 0,5 g)	55
	Figure A.2 – Extensomètre double à faible masse avec une longueur entre repères d'environ 25,6 mm (masse totale d'environ 3 g)	56
	Figure A.3 – Exemple d'extensomètre muni d'une masse d'équilibrage et d'un axe d'éprouvette vertical	57
	Figure A.4 – Données brutes originales d'une mesure de fil d'Ag/Bi-2223 se présentant sous la forme d'une courbe de charge et de déplacement	58

Figure A.5 – Contrainte type en fonction de la déformation d'un fil d'Ag/Bi-2223 jusqu'à la limite élastique correspondant à la région de transition entre déformation élastique et plastique (point G)	59
Figure C.1 – Courbe de contrainte mesurée en fonction de la déformation pour un fil de Bi-2223	72
Tableau A.1 – Résultats des valeurs d'incertitude type relative obtenus sur différents fils d'Ag/Bi-2223 lors des essais interlaboratoires internationaux	62
Tableau A.2 – Données sélectionnées pour l'essai F pour E_0 de l'échantillon E de fil nu	64
Tableau A.3 – Résultats de l'essai F pour les variations de E_0 de quatre types de fils de Bi-2223	64
Tableau B.1 – Signaux de sortie de deux extensomètres nominalement identiques.....	67
Tableau B.2 – Valeurs moyennes de deux signaux de sortie	67
Tableau B.3 – Écarts types expérimentaux de deux signaux de sortie.....	67
Tableau B.4 – Incertitudes-types de deux signaux de sortie.....	68
Tableau B.5 – Coefficient de variation de deux signaux de sortie.....	68
Tableau C.1 – Caractéristiques du dynamomètre en fonction des fiches de caractéristiques du fabricant	73
Tableau C.2 – Incertitudes de divers facteurs de mesure de contrainte	75
Tableau C.3 – Incertitudes concernant la mesure de déformation	76
Tableau C.4 – Résumé des incertitudes évaluées provoquées par divers facteurs.	77
Tableau C.5 – Résultats de l'évaluation d'incertitude pour le module d'élasticité ($E_0=86,1$ GPa) en fonction de la vitesse de déplacement initiale	77
Tableau C.6 – Incertitudes de divers facteurs de mesure de contrainte.	78
Tableau C.7 – Résultats d'évaluation d'incertitude pour la contrainte ($R = 42,5$ MPa) en fonction du taux de déformation initial.....	79

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 18: Mesure des propriétés mécaniques –
Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs
composites Bi-2223 et Bi-2212 avec gaine Ag et/ou en alliage d'Ag

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 61788-18 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
90/326/FDIS	90/327/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.

INTRODUCTION

Plusieurs types de supraconducteurs composites sont maintenant commercialisés. En particulier, des supraconducteurs à haute température, tels que des fils de Bi-2223 (Ag/Bi-2223) avec gaine Ag et/ou en alliage d'Ag et des fils de Bi-2212 (Ag/Bi-2212) avec gaine Ag et/ou en alliage d'Ag sont maintenant fabriqués à une échelle industrielle. Les composites supraconducteurs du commerce ont une forte densité de courant et une faible surface de section. Les principales applications des composites supraconducteurs sont la construction de dispositifs d'alimentation électrique et d'aimants supraconducteurs. Pendant la fabrication de l'aimant, des contraintes/déformations 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.

Les fils composites supraconducteurs d'Ag/Bi-2223 et d'Ag/Bi-2212 fabriqués par la méthode de poudre en tube sont constitués d'un certain nombre de filaments d'oxyde avec de l'argent et un alliage d'argent en tant que stabilisateur et support. Dans le cas où le renfort externe des fils d'Ag/Bi-2223 et d'Ag/Bi-2212 utilisant des feuilles minces d'alliage inoxydable ou de Cu a été adopté pour résister à la force électromagnétique importante, la présente norme doit également être appliquée.

SUPRACONDUCTIVITÉ –

Partie 18: Mesure des propriétés mécaniques – Essai de traction à température ambiante des supraconducteurs composites Bi-2223 et Bi-2212 avec gaine Ag et/ou en alliage d'Ag

1 Domaine d'application

La présente norme internationale spécifie une méthode d'essai détaillant les modes opératoires d'essai de traction à exécuter sur des fils composites supraconducteurs d'Ag/Bi-2223 et d'Ag/Bi-2212 à température ambiante.

Cet essai est utilisé pour mesurer le module d'élasticité et pour déterminer la charge d'épreuve à 0,2 %.

Lorsqu'on ne peut pas déterminer la charge d'épreuve à 0,2 % en raison d'une défaillance antérieure, on mesure le niveau de contrainte pour des déformations apparentes de 0,05 %, 0,1 %, 0,15 %, 0,2 %, 0,25 % avec un incrément de 0,05 %.

Les valeurs de la limite élastique, de la résistance à la rupture, du pourcentage d'allongement après fracture et du type ajusté de charge d'épreuve à 0,2 % ne servent que de référence (voir Articles A.4, A.5, A.6 et A.10).

Il convient que l'échantillon couvert par ce mode opératoire d'essai ait une section circulaire ou rectangulaire d'une surface de 0,3 mm² à 2,0 mm² (correspondant aux fils en forme de bande d'une largeur de 2,0 mm à 5,0 mm et d'une épaisseur de 0,16 mm à 0,4 mm).

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International* (disponible sur <<http://www.electropedia.org>>)

ISO 376, *Matériaux métalliques – Etalonnage 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 – Etalonnage des chaînes extensométriques utilisées lors d'essais uniaxiaux*