

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



**Winding wires – Test methods –
Part 3: Mechanical properties**

**Fils de bobinage – Méthodes d'essai –
Partie 3: Propriétés mécaniques**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Liens utiles:

Recherche de publications CEI - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



**Winding wires – Test methods –
Part 3: Mechanical properties**

**Fils de bobinage – Méthodes d'essai –
Partie 3: Propriétés mécaniques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 29.060.10

ISBN 978-2-8322-0939-4

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.
--

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



**Winding wires – Test methods –
Part 3: Mechanical properties**

**Fils de bobinage – Méthodes d'essai –
Partie 3: Propriétés mécaniques**

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Test 6: Elongation	7
3.1 Elongation at fracture	7
3.2 Tensile strength	7
4 Test 7: Springiness.....	8
4.1 Round wire with a nominal conductor diameter from 0,080 mm up to and including 1,600 mm	8
4.1.1 Principle	8
4.1.2 Equipment	8
4.1.3 Procedure.....	9
4.2 Round wire with a nominal conductor diameter over 1,600 mm and rectangular wire	10
4.2.1 Principle	10
4.2.2 Equipment	10
4.2.3 Specimen	11
4.2.4 Procedure.....	11
5 Test 8: Flexibility and adherence	12
5.1 Mandrel winding test	12
5.1.1 Round wire	12
5.1.2 Rectangular wire	13
5.1.3 Covered bunched wire	14
5.2 Stretching test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 1,600 mm).....	14
5.3 Jerk test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter up to and including 1,000 mm)	15
5.4 Peel test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 1,000 mm).....	15
5.5 Adherence test	17
5.5.1 Enamelled rectangular wire	17
5.5.2 Impregnated fibre covered round and rectangular wire	17
5.5.3 Fibre covered enamelled round and rectangular wire	17
5.5.4 Tape wrapped round and rectangular wire (for adhesive tape only)	18
6 Test 11: Resistance to abrasion (applicable to enamelled round wire)	18
6.1 Principle	18
6.2 Equipment	18
6.3 Procedure	19
7 Test 18: Heat bonding (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 0,050 mm up to and including 2 000 mm).....	20
7.1 Vertical bond retention of a helical coil	20
7.1.1 Nominal conductor diameter up to and including 0,050 mm	20
7.1.2 Nominal conductor diameter over 0,050 mm up to and including 2,000 mm	20
7.2 Bond strength of a twisted coil.....	23
7.2.1 Principle	23
7.2.2 Equipment	23

7.2.3 Specimen	23
7.2.4 Procedure.....	25
7.2.5 Result.....	25
Annex A (informative) Bond strength of heat bonding wires	27
Annex B (informative) Friction test methods.....	33
Bibliography.....	48
Figure 1 – Test equipment to determine springiness	8
Figure 2 – Construction and details of the mandrel (see Table 1).....	9
Figure 3 – Test equipment to determine springiness	11
Figure 4 – Test equipment for mandrel winding test.....	14
Figure 5 – Test equipment for jerk test.....	15
Figure 6 – Test equipment for peel test.....	16
Figure 7 – Scraper	17
Figure 8 – Cross-section of the wire after removal of the coating	17
Figure 9 – Test equipment for unidirectional scrape test	19
Figure 10 – Test equipment for bond retention of a helical coil.....	22
Figure 11 – Coil winder	24
Figure 12 – Oval shape coil	25
Figure 13 – Twisting device with a load applied to the twisted coil specimen	25
Figure 14 – Arrangement of supports	26
Figure A.1 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,300 mm with isothermic graphs	29
Figure A.2 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,315 mm with isothermic graphs	30
Figure A.3 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,355 mm with isothermic graphs	31
Figure A.4 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,500 mm with isothermic graphs	32
Figure B.1 – Static coefficient of friction test apparatus.....	40
Figure B.2 – Dynamic coefficient of friction test apparatus.....	41
Figure B.3 – Diagram of a typical dynamic coefficient of friction test apparatus.....	43
Figure B.4 – Detail drawing of friction head assembly with mechanical dynamometer Material – sapphire (synthetic).....	45
Figure B.5 – Load block with Synthetic sapphires mounted on load block	46
Figure B.6 – Load applied perpendicular to wire path.....	47
Figure B.67 – Twisted specimen	47
Table 1 – Mandrels for springiness	9
Table 2 – Magnification to detect cracks	12
Table 3 – Load for peel test	16
Table 4 – Preparation of helical coils	21
Table 5 – Bond retention at elevated temperature.....	22
Table B.1 – Load block weights for dynamic coefficient of friction testing.....	38
Table B.12 – Twisted pair method.....	39

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WINDING WIRES –
TEST METHODS –**Part 3: Mechanical properties**

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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.

This Consolidated version of IEC 60851-3 bears the edition number 3.1. It consists of the third edition (2009) [documents 55/1043/CDV and 55/1059/RVC] and its amendment 1 (2013) [documents 55/1392/FDIS and 55/1407/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions and deletions are displayed in red, with deletions being struck through. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

This publication has been prepared for user convenience.

International Standard IEC 60851-3 has been prepared by IEC technical committee 55: Winding wires.

With respect to the previous edition, significant technical changes appear in Subclause 5.3, Jerk test.

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

A list of all the parts in the IEC 60851 series, under the general title *Winding wires – Test methods*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment 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 publication using a colour printer.

INTRODUCTION

This part of IEC 60851 forms an element of a series of standards, which deals with insulated wires used for windings in electrical equipment. The series has three groups describing

- a) winding wires – Test methods (IEC 60851);
- b) specifications for particular types of winding wires (IEC 60317);
- c) packaging of winding wires (IEC 60264).

WINDING WIRES – TEST METHODS –

Part 3: Mechanical properties

1 Scope

This part of IEC 60851 specifies the following methods of test for winding wires:

- Test 6: Elongation;
- Test 7: Springiness;
- Test 8: Flexibility and adherence;
- Test 11: Resistance to abrasion;
- Test 18: Heat bonding.

For definitions, general notes on methods of test and the complete series of methods of test for winding wires, see IEC 60851-1.

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 60851-1, *Winding wires – Test methods – Part 1: General*

IEC 60851-2:1996, *Winding wires – Test methods – Part 2: Determination of dimensions*

ISO 178:2001, *Plastics – Determination of flexural properties*

Amendment 1:2004

3 Test 6: Elongation

3.1 Elongation at fracture

Elongation is the increase in length expressed as a percentage of the original length.

A straight piece of wire shall be elongated to the point of fracture of the conductor at a rate of (5 ± 1) mm/s with an elongation tester or with tensile testing equipment with a free measuring length of between 200 mm and 250 mm. The linear increase at fracture shall be calculated as a percentage of the free measuring length.

Three specimens shall be tested. The three single values shall be reported. The mean value represents elongation at fracture.

3.2 Tensile strength

Tensile strength is the ratio of the force at fracture to initial cross-section.

A straight piece of wire shall be elongated to the point of fracture of the conductor at a rate of (5 ± 1) mm/s with tensile testing equipment with a free measuring length of between 200 mm and 250 mm and which records the force at fracture.

Three specimens shall be tested. The initial cross-section and the three single values of the force at fracture shall be reported. The mean value of the ratio of the force at fracture and the initial cross-section represents the tensile strength.

4 Test 7: Springiness

Springiness is the recoil measured in degrees after the wire is wound in the form of a helical coil or bent through an angle.

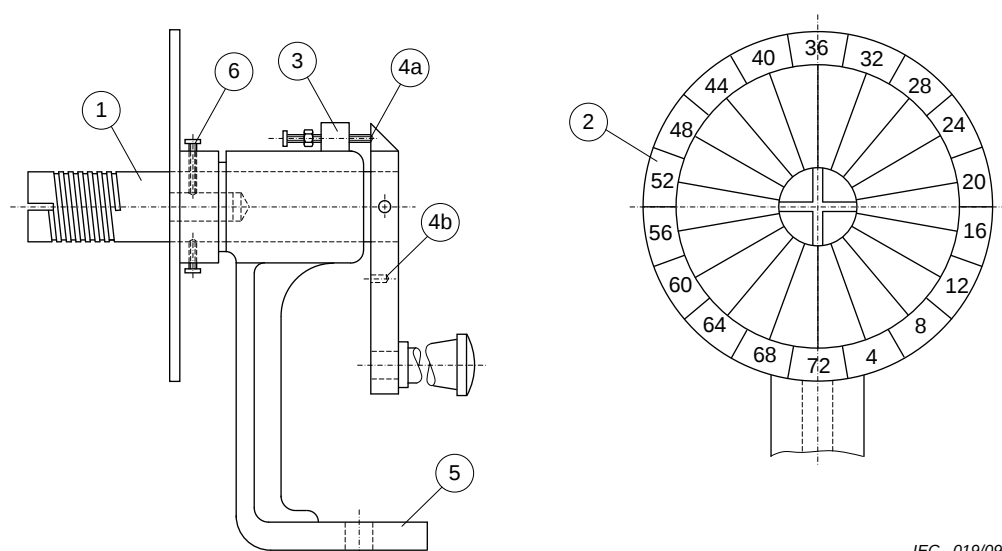
4.1 Round wire with a nominal conductor diameter from 0,080 mm up to and including 1,600 mm

4.1.1 Principle

A straight piece of wire is wound five times around a mandrel with a diameter and under a tension applied to the wire as specified in the relevant standard. The reading of the angle by which the end of the five turns recoils is the measure of springiness.

4.1.2 Equipment

Figure 1 shows an example of the test equipment with details of the mandrel given in Figure 2 and Table 1. Figure 2 indicates a helical groove, which may be used to facilitate winding. The provision of this groove, however, is not mandatory. The dial is marked with 72 equally spaced divisions so that with five turns of the wire the reading corresponds to the number of degrees that each turn springs back.

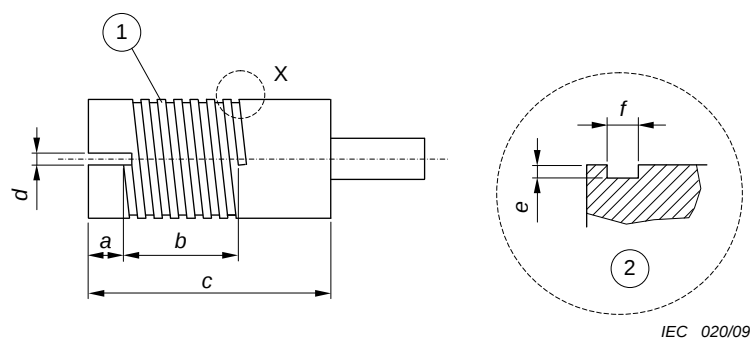


IEC 019/09

Key

- 1 mandrel
- 2 dial
- 3 locking device
- 4 locking device
- 5 base-plate
- 6 mandrel-fixing screw

Figure 1 – Test equipment to determine springiness

**Key**

- 1 7 threads
2 part X enlarged

Figure 2 – Construction and details of the mandrel (see Table 1)**Table 1 – Mandrels for springiness**

Mandrel diameter ^a mm	Dimensions ^b mm					
	a	b	c	d	e	f
5	6,0	7,5	32	0,30	0,05	0,13
7	6,0	9,0	34	0,40	0,07	0,18
10	6,0	9,0	34	0,60	0,10	0,25
12,5	6,0	9,0	40	0,80	0,14	0,35
19	10,0	11,0	45	1,20	0,20	0,50
25	12,5	12,5	45	2,00	0,28	0,70
37,5	12,5	14,5	47	2,40	0,40	1,00
50	12,5	17,5	50	3,00	0,80	2,00

^a At the bottom of the groove, if provided.
^b See Figure 2.

4.1.3 Procedure

The specified mandrel shall be mounted and locked in position with its axis horizontal and with the slot or hole for fastening the wire corresponding with the zero of the dial. The mandrel shall be dusted with powdered talc (French chalk) to prevent the wire clinging to the mandrel.

A tension shall be applied to a straight piece of wire of about 1 m in length by attaching the specified load to one end of the wire. The handle to rotate the mandrel shall be unlatched. The other end of the wire shall be inserted into the slot or hole so that sufficient wire projects on the other side of the mandrel and the wire is in firm contact with the mandrel. The weight shall be slowly lowered with the wire suspended vertically below the mandrel and with the dial zero and the slot or hole pointing downwards.

With the free end of the wire being held securely, the mandrel shall be rotated for five complete turns counter clockwise (looking at the face of the dial) and further until the zero on the dial is vertically upwards. The handle shall then be latched in this position. The load shall be removed while the wire is held in position, and the wire shall then be cut about 25 mm beyond the end of the fifth turn. This end of the wire shall be bent into a vertical position in line with the dial zero to act as a pointer.

A pencil or similar tool shall be placed to the left of this end of the wire to prevent any sudden springback. The coil shall then be allowed to unwind slowly and without jerking.

NOTE If the wire springs back suddenly, erroneous results may be obtained.

The mandrel and the dial shall then be unlatched and rotated clockwise to bring the pointer back into a vertical position. The springback angle is equal to the reading on the dial in line with the pointer. With very springy wires, the pointer may recoil more than one complete revolution. If this is the case, 72 has to be added to the dial reading for each complete revolution of recoil.

Three specimens shall be tested. The three single values shall be reported. The mean value represents springiness.

4.2 Round wire with a nominal conductor diameter over 1,600 mm and rectangular wire

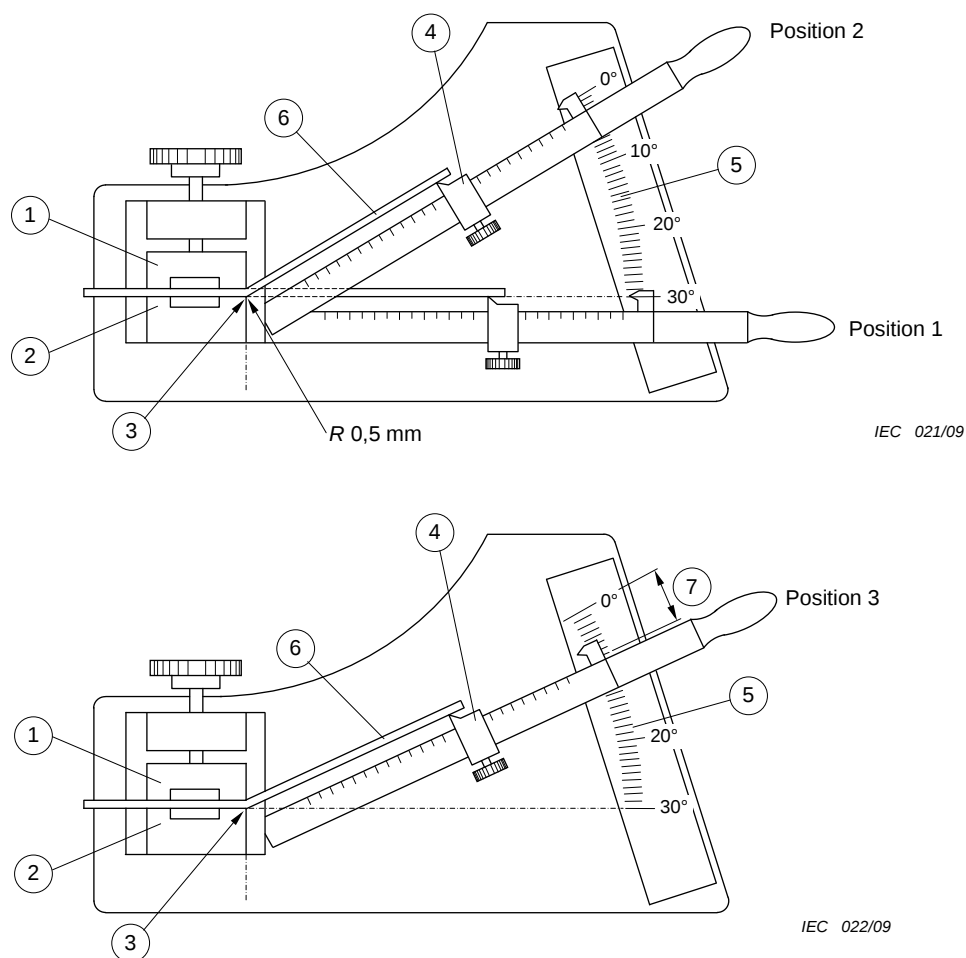
4.2.1 Principle

A straight piece of wire shall be bent through an angle of 30°. After removing the force, the reading of the angle by which the wire springs back is the measure of springiness.

4.2.2 Equipment

Figure 3 shows an example of the test equipment basically consisting of two jaws, one of which is fixed (2) and one is movable (1), and a sector graduated in degrees (5) with the 0° to 10° sector of the scale graduated in 0,5° increments. The graduated sector is an arc placed in a plane at 90° to the clamp faces. Its centre is located at the outer edge of the fixed jaw (3). The lever arm with its fulcrum placed at the centre of the arc can move over the graduated sector in the vertical plane.

The lever arm shall have a pointer or marker to provide a proper reading of the springback angle. On the lever arm with approximately 305 mm length scaled off in millimetres with the origin at the centre of the arc, is a slider (4) with a knife edge.



Key

- 1 moveable jaw
- 2 fixed jaw
- 3 centre of graduated sector
- 4 slider
- 5 graduated sector
- 6 wire specimen
- 7 sprinback

Figure 3 – Test equipment to determine springiness

4.2.3 Specimen

A wire sample of at least 1 200 mm in length shall be removed from the spool with as little bending of the wire as possible. It shall be straightened by hand and cut into three pieces each of 400 mm length. Elongation by tools shall not be used. Unnecessary bending shall be avoided to minimize work hardening.

4.2.4 Procedure

The conductor diameter or thickness, multiplied by 40, determines the position of the slider on the lever arm. The specimen shall be tightened between the jaws with a force just sufficient to

prevent slipping. The specimen shall be tightened in such a position as to allow bending the wire in the same direction as it was wound on the spool. The free end of the specimen shall exceed the slider knife edge by (12 ± 2) mm.

By means of the lever arm, starting at the initial position (the 30° scale mark, position 1), the wire shall be bent for 30° (the 0° scale mark, position 2). The total bending shall take between 2 s and 5 s. The specimen shall be held in this position for not more than 2 s and then returned in the reverse direction at the same angular rate at which it was bent, until the slider knife edge moves away from the wire specimen. The lever arm shall be raised again until the slider knife edge just contacts the wire specimen without bending it. In this position, the springback angle equals the reading on the scale of the graduated sector in line with the pointer on the lever arm (position 3).

Three specimens shall be tested. The single values shall be reported. The mean value represents springiness.

5 Test 8: Flexibility and adherence

Flexibility and adherence reflect the potential of the wire to withstand stretching, winding, bending or twisting without showing cracks or loss of adhesion of the insulation.

5.1 Mandrel winding test

5.1.1 Round wire

A straight piece of wire shall be wound for 10 continuous and adjacent turns around a polished mandrel of the diameter given in the relevant standard. The mandrel shall be rotated with a rate of 1 r/s to 3 r/s with a tension applied to the wire that is just sufficient to keep it in contact with the mandrel. Elongating or twisting the wire shall be avoided. Any suitable equipment shall be used.

5.1.1.1 Enamelled round wire with a nominal conductor diameter up to and including 1,600 mm

If the relevant standard calls for pre-stretching before winding, the wire shall be elongated according to Clause 3 to the specified percentage. After winding, the specimen shall be examined for cracks with the magnification as given in Table 2.

Table 2 – Magnification to detect cracks

Nominal conductor diameter mm		Magnification ^a
Over	Up to and including	
–	0,040	10 to 15 times
0,040	0,500	6 to 10 times
0,500	1,600	1 to 6 times
^a One time expresses normal vision.		

Three specimens shall be tested. Any cracks detected shall be reported.

5.1.1.2 Fibre covered round wire

After winding, the specimen shall be examined for exposure of the bare conductor with normal vision or with a magnification of up to six times.

Three specimens shall be tested. Exposure of the bare conductor shall be reported.

5.1.1.3 Fibre covered enamelled round wire

After winding, the specimen shall be examined for exposure of the bare conductor or underlying coating with normal vision or with a magnification of up to six times.

Three specimens shall be tested. Exposure of the bare conductor or the underlying coating shall be reported.

5.1.1.4 Tape wrapped round wire

After winding, the specimen shall be examined for exposure of the bare conductor or delamination with normal vision or with a magnification of up to six times.

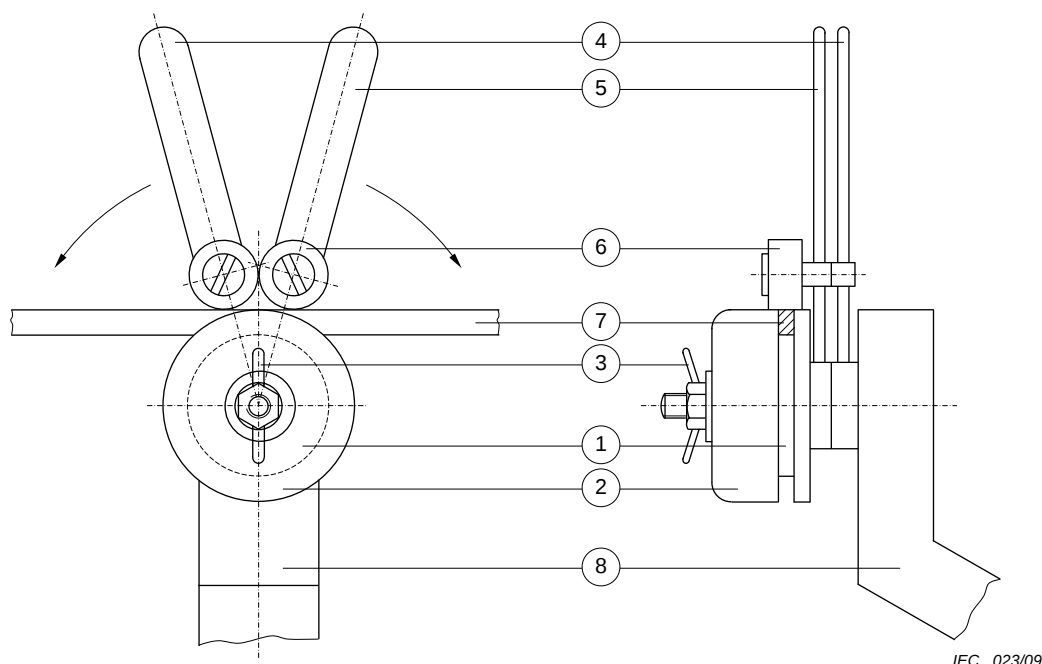
Three specimens shall be tested. Exposure of the bare conductor or any delamination shall be reported.

5.1.2 Rectangular wire

A straight piece of wire approximately 400 mm in length shall be bent through 180° round a polished mandrel of the diameter given in the relevant standard in two directions to form an elongated S-shape. The straight part between the U-shape bends shall be at least 150 mm. Care should be taken to ensure that the specimen does not buckle or depart from a uniform bend. A suitable apparatus is shown in Figure 4.

After bending, the insulation shall be examined for cracks in case of enamelled wire, for exposure of the bare conductor or underlying coating in case of fibre covered wire and for exposure of the bare conductor and delamination in case of tape wrapped wire under a magnification of six to ten times.

Six specimens shall be bent, three flatwise (on the thickness) and three edgewise (on the width). It shall be reported, if the wire shows cracks or delamination, exposure of the bare conductor or underlying coating, whichever is applicable.



Key

- 1 mandrel
- 2 mandrel clamping collar
- 3 winding nut
- 4 lever
- 5 lever
- 6 ball bearing
- 7 specimen
- 8 support

Figure 4 – Test equipment for mandrel winding test

5.1.3 Covered bunched wire

A straight piece of wire shall be wound for ten continuous turns around a polished mandrel of the diameter given in the relevant standard and under a tension given in 3.2.5.3 of IEC 60851-2. Care should be taken not to twist the specimen for each revolution.

After winding, the specimen shall be examined by normal vision for openings in the covering.

One specimen shall be tested. It shall be reported, if the wire does not show the required degree of closeness of the covering.

5.2 Stretching test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 1,600 mm)

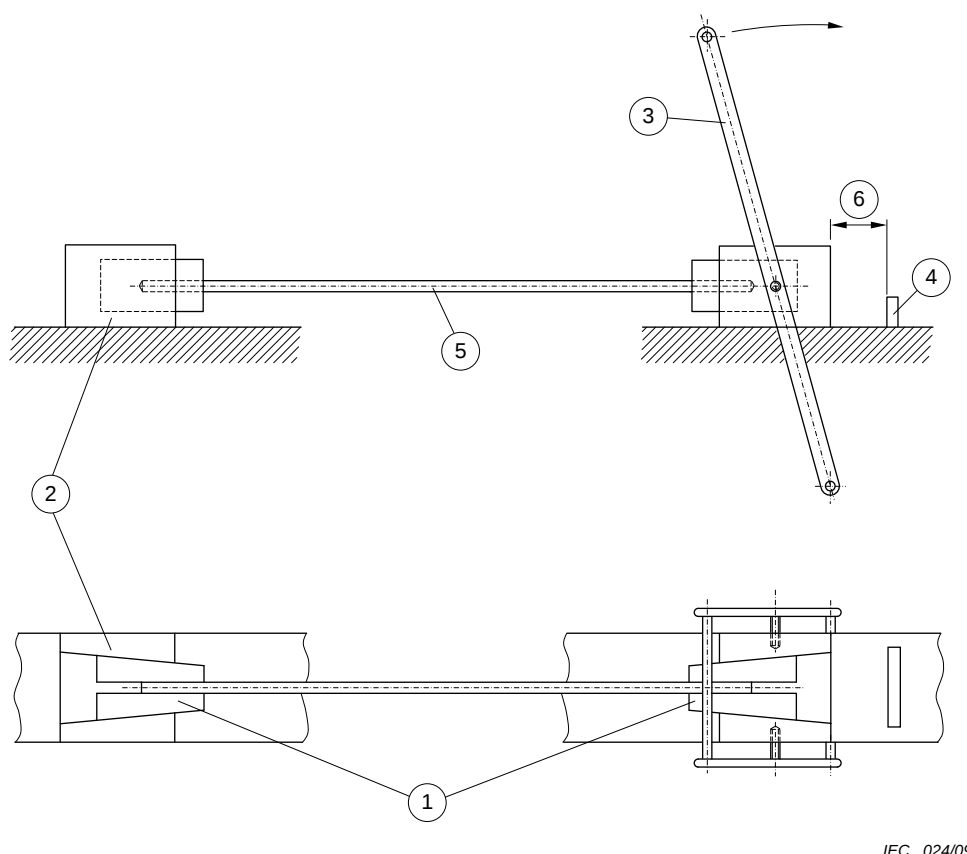
A straight piece of wire shall be elongated according to Clause 3 to the percentage specified in the relevant standard. After elongation, the specimen shall be examined for cracks or loss of adhesion with normal vision or with a magnification of up to six times.

Three specimens shall be tested. It shall be reported, if the wire shows cracks and/or loss of adhesion.

5.3 Jerk test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter up to and including 1,000 mm)

A straight piece of wire shall be rapidly stretched to the breaking point with test equipment as shown in Figure 5. A free measuring length of between 200 mm and 250 mm shall be provided. After stretching, the specimen shall be examined for cracks or loss of adhesion under a magnification as given in Table 2. A distance of 2 mm from the broken ends shall be disregarded.

Three specimens shall be tested. It shall be reported, if the wire shows cracks and/or loss of adhesion.



IEC 024/09

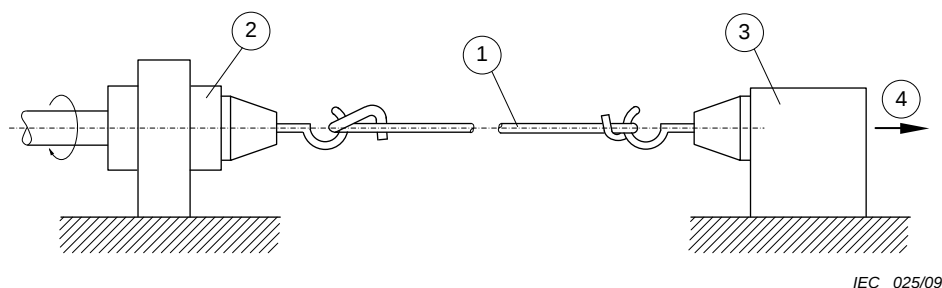
Key

- 1 wedge grips (clamps)
- 2 fixed jaw set
- 3 lever arm
- 4 adjustable stop
- 5 specimen
- 6 specified elongation

Figure 5 – Test equipment for jerk test

5.4 Peel test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 1,000 mm)

A straight piece of wire shall be placed in the test equipment shown in Figure 6 consisting of two fixing devices 500 mm apart on the same axis. One of these is free to rotate. The other is not but can be displaced axially and is loaded according to Table 3 to apply a tension to the rotating wire.



Key

- 1 specimen
- 2 rotary clamp
- 3 fixed clamp
- 4 load

Figure 6 – Test equipment for peel test

Table 3 – Load for peel test

Nominal conductor diameter mm		Load N
Over	Up to and included	
1,000	1,400	25
1,400	1,800	40
1,800	2,240	60
2,240	2,800	100
2,800	3,550	160
3,550	4,500	250
4,500	5,000	400

By means of a scraper as shown in Figure 7, the coating shall be removed on opposite sides of the wire and along the wire axis down to the bare conductor as shown in Figure 8. The pressure on the scraper shall be sufficient to remove the coating and leave a clean smooth surface at the coating/conductor interface without scraping off a significant quantity of conductor material. The removal of the coating shall commence about 10 mm from the fixing devices. The rotating device shall be driven at a speed of between 60 r/min and 100 r/min until the number of revolutions *R* as specified in the relevant standard has been reached.

After peeling and rotating, the specimen shall be examined for loss of adhesion. If the coating can be removed from the wire without difficulty (for example with the thumbnail), it shall be considered to have lost its adhesion even if it has not become completely detached from the wire.

One specimen shall be tested. It shall be reported, if loss of adhesion is observed.

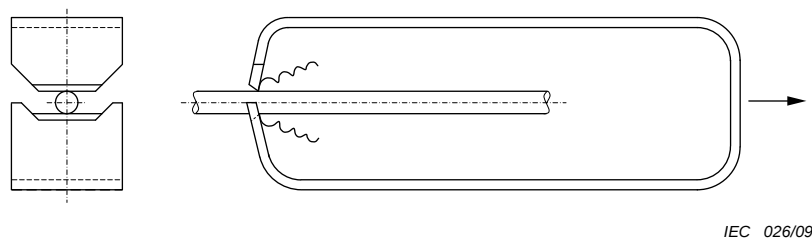


Figure 7 – Scraper

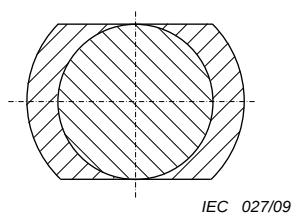


Figure 8 – Cross-section of the wire after removal of the coating

5.5 Adherence test

A straight piece of wire of about 300 mm length shall be elongated in accordance with Clause 3 to the percentage specified in the relevant standard.

5.5.1 Enamelled rectangular wire

Before elongation, the coating shall be cut circumferentially through to the conductor at a point approximately in the centre of the measured length. After elongation, the specimen shall be examined for loss of adhesion.

One specimen shall be tested. It shall be reported, if loss of adhesion is observed, measured longitudinally from the cut. If so, the length of loss of adhesion shall be measured in one direction from the cut. The maximum value observed shall be reported after examining all sides of the specimen.

5.5.2 Impregnated fibre covered round and rectangular wire

Before elongation, the insulation shall be removed from all but the central 100 mm of the wire piece. After elongation, the specimen shall be examined for loss of adhesion.

One specimen shall be tested. It shall be reported, if loss of adhesion is observed with the insulation sliding along the conductor in case of round wire or being detached in case of rectangular wire.

5.5.3 Fibre covered enamelled round and rectangular wire

Before elongation, the insulation shall be cut circumferentially at two places 100 mm apart in the centre of the wire piece through to the conductor. After elongation, the specimen shall be examined for loss of adhesion.

One specimen shall be tested. It shall be reported, if loss of adhesion is observed.

5.5.4 Tape wrapped round and rectangular wire (for adhesive tape only)

Before elongation, the insulation shall be cut circumferentially through to the conductor at a point approximately in the centre of the measured length. After elongation, the specimen shall be examined for loss of adhesion.

6 Test 11: Resistance to abrasion (applicable to enamelled round wire)

Resistance to abrasion is determined as the maximum force, which can be sustained when a needle scrapes along the wire under a progressively increasing force.

6.1 Principle

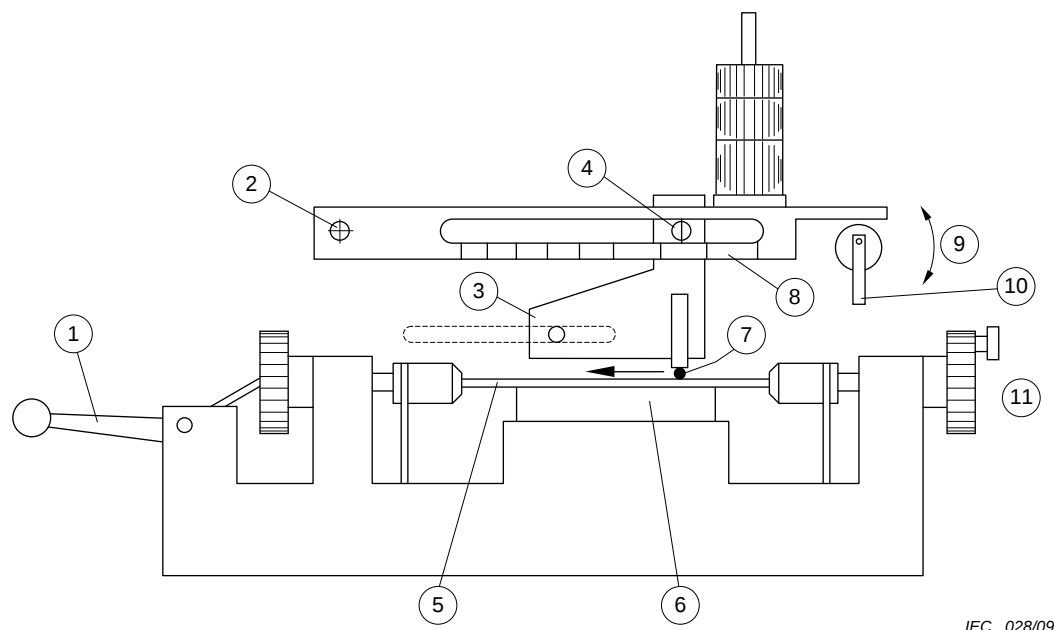
A straight piece of wire is subjected to a unidirectional scrape test, by a needle to which a progressively increasing load is applied and which scrapes along the wire surface. The load that causes an electrical contact of the needle with the conductor is called the load-to-failure.

6.2 Equipment

Test equipment as shown in Figure 9 shall be used. It shall be provided with a mechanism to produce scraping action in one direction at a rate of (400 ± 40) mm/min. The scraping device shall contain a polished piano wire or a needle of $(0,23 \pm 0,01)$ mm diameter, located between two jaws which hold the piano wire or needle rigidly, without sagging or curvature and at right angles to the direction of stroke which shall be in the direction of the axis of the wire under test. For placing the specimen, the test equipment shall be provided with two clamping jaws over a supporting anvil, which can be lowered while a wire is inserted into the jaws and straightened.

The test equipment shall provide a d.c. voltage of $(6,5 \pm 0,5)$ V to be applied between the conductor and the piano wire or the needle scraper. The short-circuit current shall be limited to 20 mA, for example by means of a series resistor or a relay. The circuit shall be designed to detect a short circuit and stop the equipment after the scraper is in contact with the conductor of the wire for about 3 mm.

The test equipment shall be provided with a graduated scale over the lower edge of the lever, which indicates the factor by which the initial load applied to the piano wire or to the needle has to be multiplied to determine the force-to-failure.



IEC 028/09

Weighted scraping device moves from right to left with increasing load on wire

Key

- 1 capstan for straightening specimen
- 2 fixed pivot point
- 3 weighted scraping device
- 4 indexer
- 5 specimen
- 6 anvil with adjustable height for wires with different diameters
- 7 piano wire
- 8 scale, indicating multiplying factor
- 9 reset/operate
- 10 reset lever
- 11 chucks index at 120° increments

Figure 9 – Test equipment for unidirectional scrape test

6.3 Procedure

A straight piece of wire shall be wiped clean, placed in the apparatus and straightened by a maximum of 1 % elongation. The specimen shall then be secured in the clamping jaws and the supporting anvil adjusted to contact the specimen. The initial force applied to the scraping device shall not exceed 90 % of the minimum force to failure specified in the relevant standard and shall lead to short circuit between scraper and conductor at a point between 200 mm and 150 mm from the fixed pivot point. The weighted scraping device shall be lowered slowly to the surface of the wire and the scraping action started.

The value at which the scraper stops shall be read on the graduated scale on the lower edge of the lever. The product of this value and the initial load applied shall be recorded.

The procedure shall be repeated twice on the same specimen, indexing around the periphery of the wire, once at 120° and once at 240° from the original position and the same information recorded.

One specimen shall be tested. The three single values shall be reported. The mean value represents the average force-to-failure.

7 Test 18: Heat bonding (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 0,050 mm up to and including 2 000 mm)

Heat bonding is the potential of the windings of a coil to bond together under the influence of heat.

7.1 Vertical bond retention of a helical coil

Vertical bond retention of a helical coil is the potential of the bonded coil to maintain its coherence when a load is applied to its lower end.

7.1.1 Nominal conductor diameter up to and including 0,050 mm

The method of test is to be agreed upon between purchaser and supplier.

7.1.2 Nominal conductor diameter over 0,050 mm up to and including 2,000 mm

7.1.2.1 Principle

The turns of a helical coil of the wire wound on a mandrel are pressed together by applying a load and then bonded by means of heat or solvent. After bonding, the specimen is removed from the mandrel and suspended in a vertical position with a load applied at the lower end to determine whether the specimen withstands a specified load or not. This procedure is repeated at an elevated temperature.

7.1.2.2 Specimen

A straight piece of wire shall be wound on a polished mandrel¹ of a diameter according to Table 4. The coil shall have a minimum length of 20 mm. The winding rate shall be between 1 r/s and 3 r/s with an applied winding force not exceeding the values in Table 4. In order to allow the coil to relax freely, the ends of the wire shall not be fastened. The coil on the mandrel shall be positioned vertically as shown in Figure 10a with a load applied as specified in Table 4. The weight shall not stick to the mandrel, and there shall be a clearance between the weight and the mandrel. This arrangement shall then be placed in an oven with forced air circulation at a temperature specified in the relevant standard for a period of

- 30 min for wires with a nominal conductor diameter up to and including 0,710 mm;
- 1 h for wires with a nominal conductor diameter over 0,710 mm up to and including 2,000 mm, unless otherwise agreed upon between purchaser and supplier.

After cooling to room temperature, the coil shall be removed from the mandrel.

7.1.2.3 Procedure at room temperature

A specimen shall be suspended by one of its ends (see Figure 10b) and loaded as required in the relevant standard. The load shall be applied in a way that avoids any additional shock.

Three specimens shall be tested. It shall be reported, if turns other than the first and the last are separated. The temperature for bonding the specimen shall be reported.

¹ A steel mandrel is satisfactory for larger diameter wires. For smaller wires, copper mandrels may assist in the removal of the coil from the mandrel by stretching the mandrel to reduce its diameter.

7.1.2.4 Procedure at elevated temperature

A specimen shall be suspended by one of its ends (see Figure 10b) and loaded as specified in Table 5. The load shall be applied in a way that avoids any additional shock. The specimen with its load shall be placed in an oven with forced air circulation for 15 min at a temperature as specified in the relevant standard.

Three specimens shall be tested. It shall be reported, if turns other than the first and the last are separated. The temperature for bonding the specimen shall be reported.

Table 4 – Preparation of helical coils

Nominal conductor diameter mm		Diameter of the mandrel mm	Maximum winding force N	Load on the coil during bonding N
Over	Up to and including			
0,050	0,071	1	0,05	0,05
0,071	0,100	1	0,05	0,05
0,100	0,160	1	0,12	0,15
0,160	0,200	1	0,30	0,25
0,200	0,315	2	0,80	0,35
0,315	0,400	3	0,80	0,50
0,400	0,500	4	2,00	0,75
0,500	0,630	5	2,00	1,25
0,630	0,710	6	5,00	1,75
0,710	0,800	7	5,00	2,00
0,800	0,900	8	5,00	2,50
0,900	1,000	9	5,00	3,25
1,000	1,120	10	12,00	4,00
1,120	1,250	11	12,00	4,50
1,250	1,400	12	12,00	5,50
1,400	1,600	14	12,00	6,50
1,600	1,800	16	30,00	8,00
1,800	2,000	18	30,00	10,00

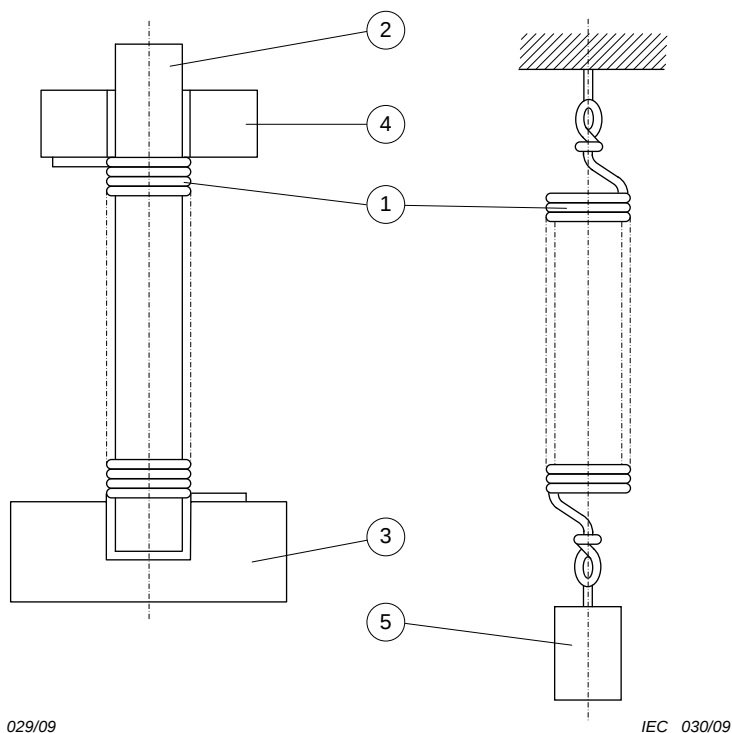


Figure 10a

Figure 10b

Key

- 1 coil
- 2 mandrel
- 3 mandrel-holder
- 4 weight
- 5 separating load

Figure 10 – Test equipment for bond retention of a helical coil

Table 5 – Bond retention at elevated temperature

Nominal conductor diameter mm		Load N		Nominal conductor diameter mm		Load N
Over	Up to and including			Over	Up to and including	
0,050	0,071	0,04		0,800	0,900	2,60
0,071	0,100	0,06		0,900	1,000	3,20
0,100	0,160	0,09		1,000	1,120	3,80
0,160	0,200	0,19		1,120	1,250	4,40
0,200	0,315	0,25		1,250	1,400	4,90
0,315	0,400	0,55		1,400	1,600	6,40
0,400	0,500	0,80		1,600	1,800	7,90
0,500	0,630	1,20		1,800	2,000	7,90
0,630	0,710	1,70				
0,710	0,800	2,10				

7.2 Bond strength of a twisted coil

Bond strength is the maximum force required to break the twisted coil.

7.2.1 Principle

A random wound coil prepared from the wire is formed to an oval shape, twisted and then bonded by applying a d.c. current. This specimen produces a rod, which is tested in tensile testing equipment in a horizontal position to obtain the maximum deflection force to break this rod. The test shall be repeated at elevated temperature.

NOTE This test is similar to method A, twisted coil test, given in 2.1 of IEC 61033, and is based on the same principle. It differs from method A of IEC 61033 with respect to twisting and bonding the specimen and with respect to wire sizes. It permits the testing of different wire sizes, whereas method A of IEC 61033 specifies that a wire of a nominal conductor diameter of 0,315 mm shall be used.

7.2.2 Equipment

The following equipment shall be used:

- coil winder in accordance with Figures 11a and 11b;
- coil twister in accordance with Figure 13;
- tensile test equipment in accordance with ISO 178 with a support complying with Figure 13;
- d.c. supply unit providing a constant current output with a capacity of minimum 50 V and 15 A;
- attached to the tensile test equipment, an oven with forced air circulation, which shall maintain the test temperature within a tolerance of ± 2 °C and which shall allow heating at least five specimens simultaneously within 5 min to 10 min to the test temperature.

7.2.3 Specimen

A random wound coil shall be prepared from the wire using winding equipment according to Figures 11a and 11b. The number of windings shall be calculated as

$$N = \frac{100 \times 0,315^2}{d^2}$$

where d is the nominal conductor diameter of the wire under test.

NOTE For a nominal conductor diameter of $d = 0,315$ mm, N represents 100 turns. For other values of d , the above equation will lead to a number N , which gives the same total conductor cross-section as $N = 100$ and $d = 0,315$ mm.

To prevent opening of the coil after removal from the winding equipment, each end of the wire (or short pieces of enamelled wire) shall be wrapped around the coil two or three times at opposite positions. For this purpose, the winding equipment is provided with appropriate notches (see Figure 11b).

For winding the coil, the following dimensions shall apply:

- winding diameter: $(57 \pm 0,1)$ mm;
- width of slot: $(5 \pm 0,5)$ mm.

After removal from the winding equipment, the coil shall be formed to an oval shape (see Figure 12) and then twisted in a twisting device around its longitudinal axis according to Figure 13. This device allows application of a mechanical load to be applied to the coil while it is twisted and subsequently bonded. This load shall be 100 N. The coil shall be twisted for

two and a half turns and then half a turn in the reverse direction. While held under a mechanical load in the twisting device, the specimen shall be bonded by applying a constant d.c. current to the wire. A current shall be chosen that bonds the specimen within a period of 30 s to 60 s.

NOTE Since d.c. current is used, it allows an easy approach to determine the average temperature of the specimen at the end of the heating period (see Annex A).

The specimen is a rod of about 7 mm in diameter and 85 mm to 90 mm in length.

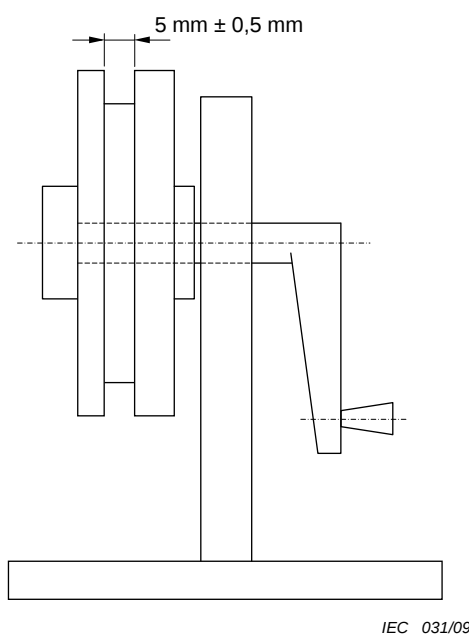


Figure 11a – Coil winder

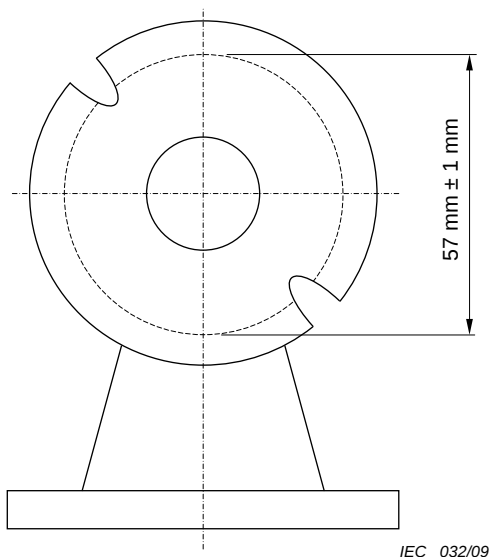


Figure 11b – Coil winder, front view

Figure 11 – Coil winder

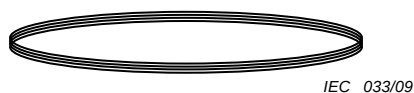
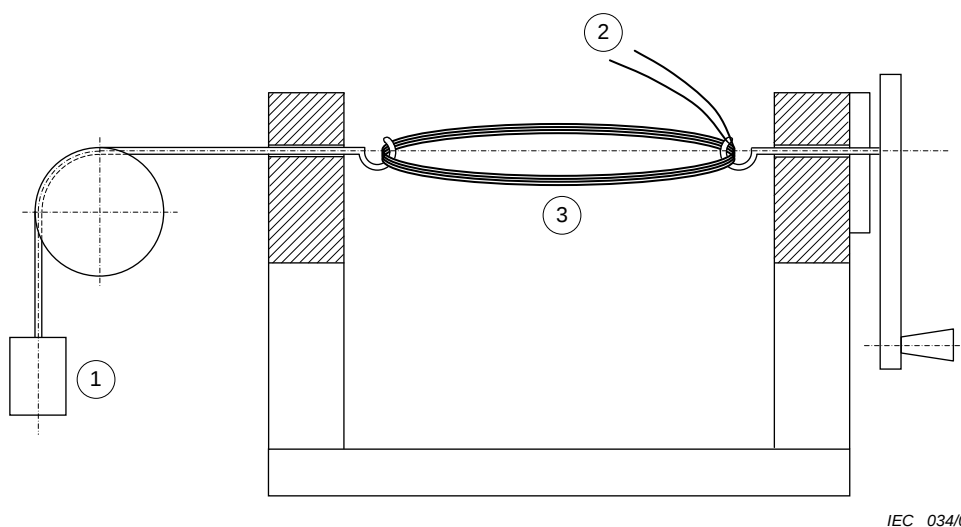


Figure 12 – Oval shape coil

**Key**

- 1 load 100 N
- 2 d.c. current
- 3 twisted coil

Figure 13 – Twisting device with a load applied to the twisted coil specimen

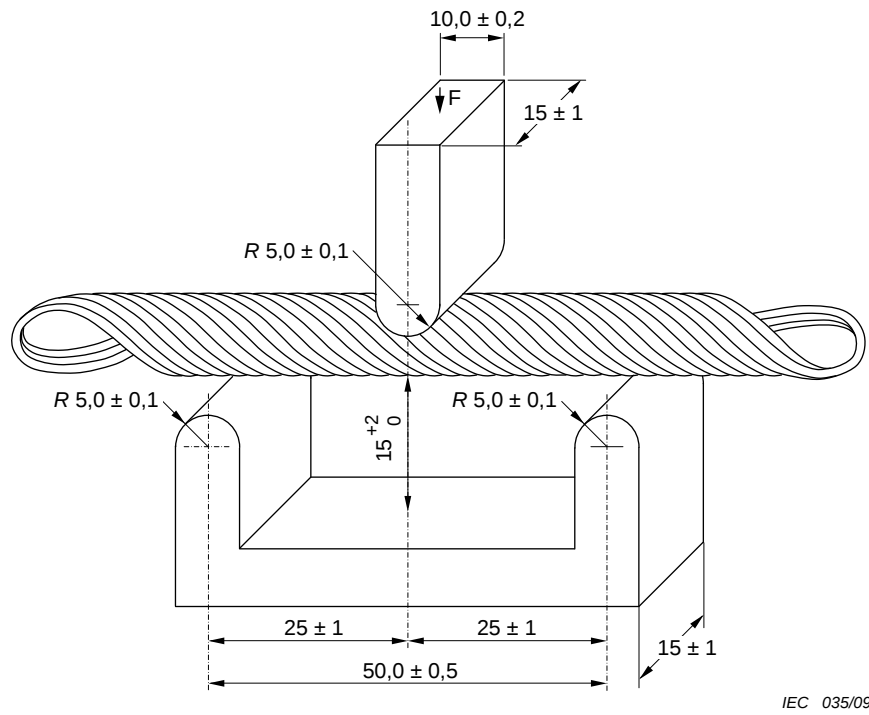
7.2.4 Procedure

With the specimen properly positioned on a support according to Figure 14, the bond strength of the specimen shall be determined by adjusting the crosshead speed so that the maximum deflection force is reached in about 1 min.

For tests at elevated temperature, the specimen shall be placed in the oven preheated to the specified temperature. The specimen shall be tested after it has reached the oven temperature but not later than 15 min after being placed in the oven.

7.2.5 Result

For each temperature, five specimens shall be tested. The five single values shall be reported for each test temperature. The mean value represents the bond strength. The nominal conductor diameter, the number of turns of the coil and the bonding conditions of specimens shall also be reported.



Dimensions are in millimetres

Figure 14 – Arrangement of supports

Annex A (informative)

Bond strength of heat bonding wires

A.1 Calculation of the temperature of the twisted coil specimen

Method

While heating the twisted coil by means of d.c. current, the average temperature of the specimen may be derived from its d.c. resistance, which is the ratio of the voltage and the constant current applied. Such ratios can be determined at the beginning and at the end of any heating period and allow the calculation of the temperature at the end of the heating period.

Temperature coefficient

For the following calculations, a temperature coefficient of copper of $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$ is used.

Calculation

With this temperature coefficient, the resistance of the test specimen at the end of a heating period is calculated from the equation

$$R_{T_t} = R_{T_0} + \alpha R_{T_0} \times (T_t - T_0)$$

where

R_{T_0} is the resistance in the beginning (at room temperature);

T_t is the temperature at the end of the heating period;

T_0 is the temperature in the beginning of the heating period (T_0 normally is identical with room temperature, i.e. 23 °C).

The index t stands for the end of the heating period.

If the current is constant, the following equation applies:

$$\frac{R_{T_t}}{R_{T_0}} = \frac{U_t}{U_0}$$

where

U_t is the voltage at the end of the heating period;

U_0 is the voltage in the beginning of the heating period.

This results in the temperature at the end of the heating period:

$$T_t = T_0 + \left[250 \times \left(\frac{U_t}{U_0} - 1 \right) \right] \text{ in } ^\circ\text{C}$$

A.2 Determination of the heating period

Voltage-time graphs

While heating the twisted coil with a constant current, the electrical resistance increases with the temperature. To maintain the current, the voltage output of the constant current transformer increases accordingly. This allows plotting of d.c. voltage output against time. This provides information about the time t of the heating period. Different graphs may be taken for different currents all plotted on one and the same diagram.

Voltage at maximum temperature

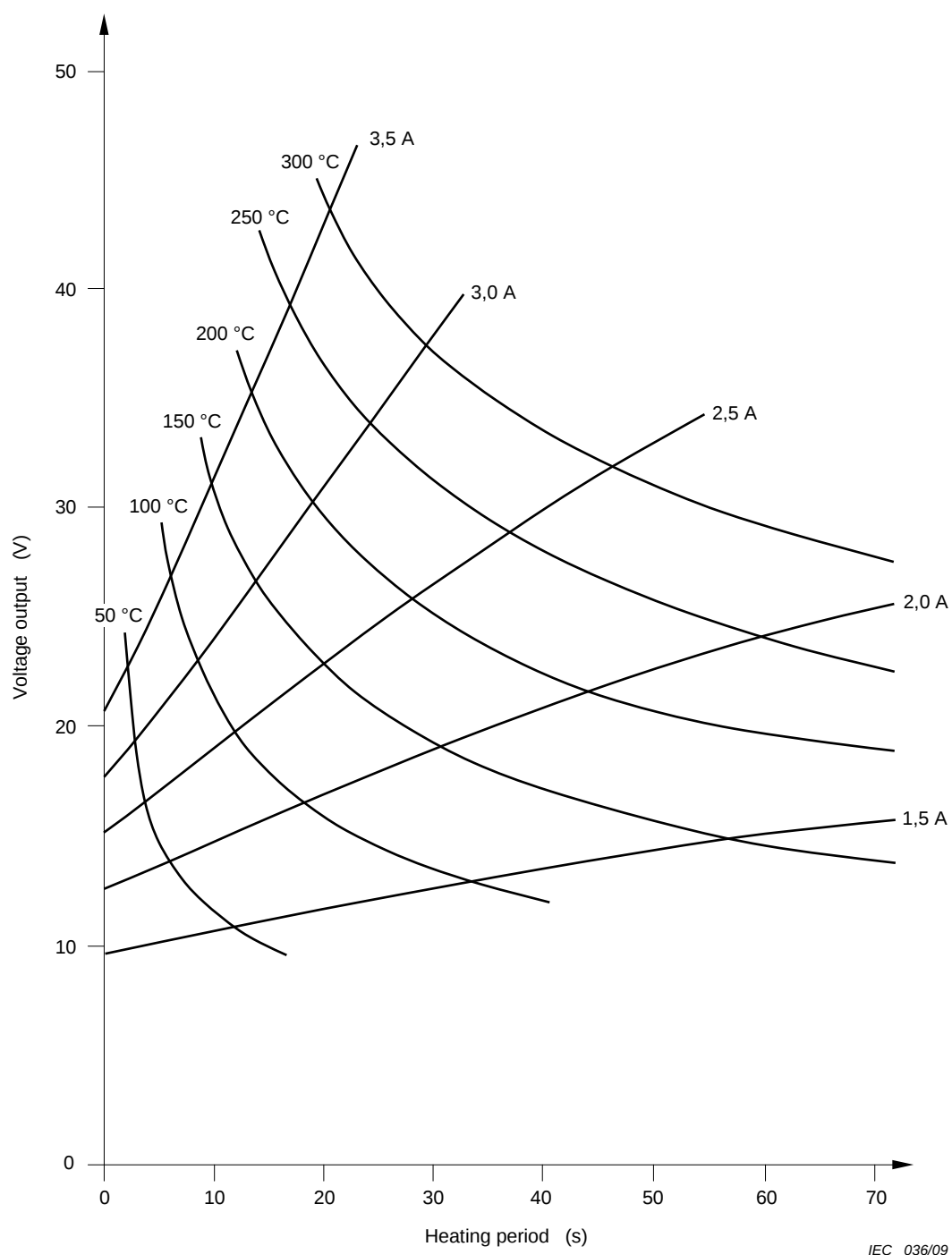
In a specific case one may wish to bond the specimen up to a certain temperature, but not to exceed this temperature. If this maximum temperature is defined, the last equation as shown in A.1 allows the calculation of the voltage required to reach that temperature with a particular heating current:

$$U_t = U_0 + 0,004 \times (T_t - T_0) U_0$$

The point of intersection of the voltage-time graph with the Y-axis corresponds to the value of U_0 . With this reading, the last equation allows the calculation of the voltage to arrive at the temperature of the specimen at the end of the heating period. The corresponding value of the X-axis gives the time length of the heating period required to reach the temperature T_t .

If the same calculation is done with all voltage-time graphs for one and the same temperature T_t , the corresponding entries may be used to produce an isothermic graph that intersects the voltage-time graphs. If this is repeated with different temperatures, it results in a final diagram, which is very helpful in selecting a suitable pair of values for the heating current in amperes and the time in seconds of the heating period to heat the test specimen up to the chosen temperature T_t .

Figures A.1 through A.4 show examples of such complete diagrams for easy reference, based on wire sizes 0,300 mm, 0,315 mm, 0,355 mm and 0,500 mm respectively.



IEC 036/09

Figure A.1 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,300 mm with isothermic graphs

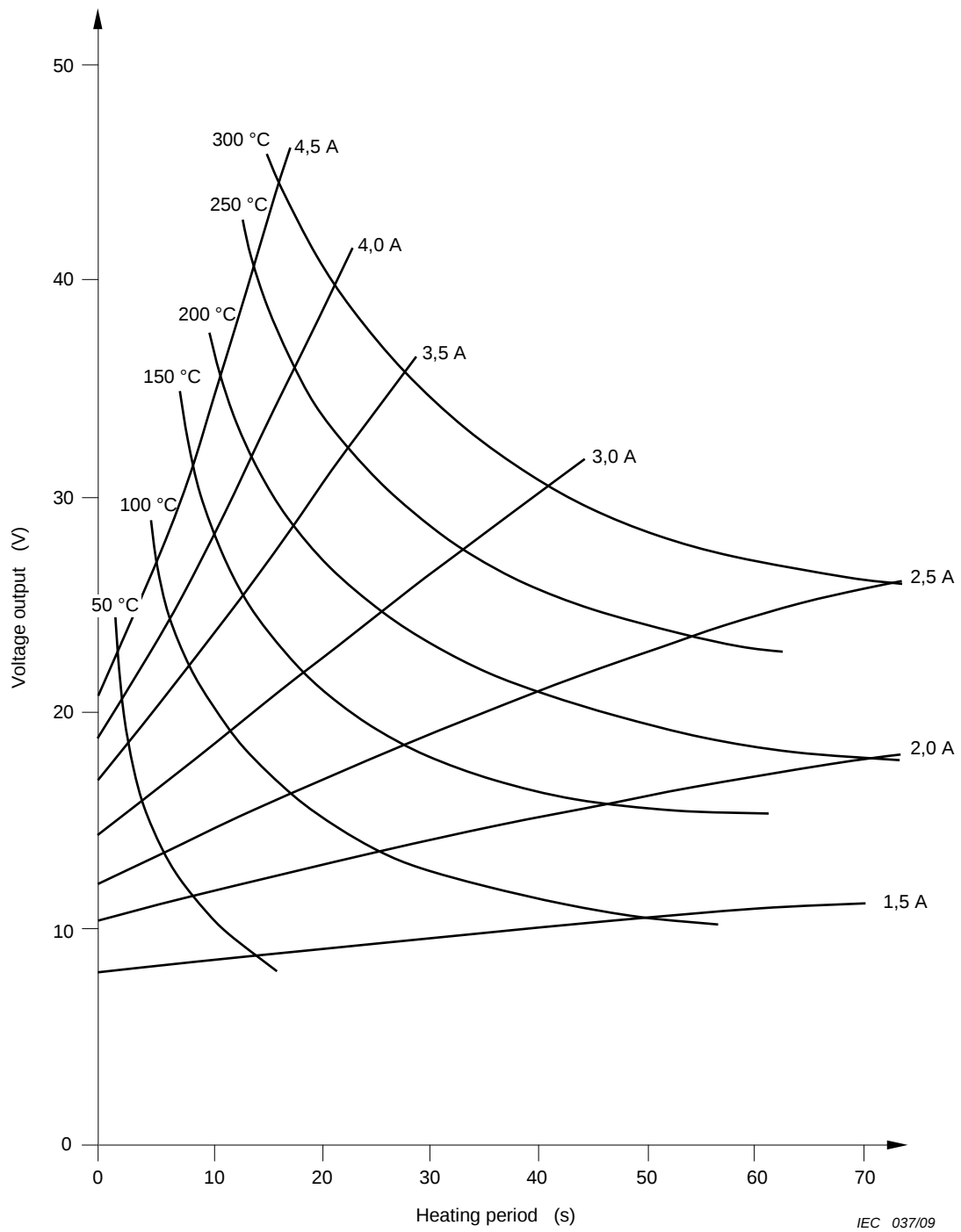


Figure A.2 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,315 mm with isothermic graphs

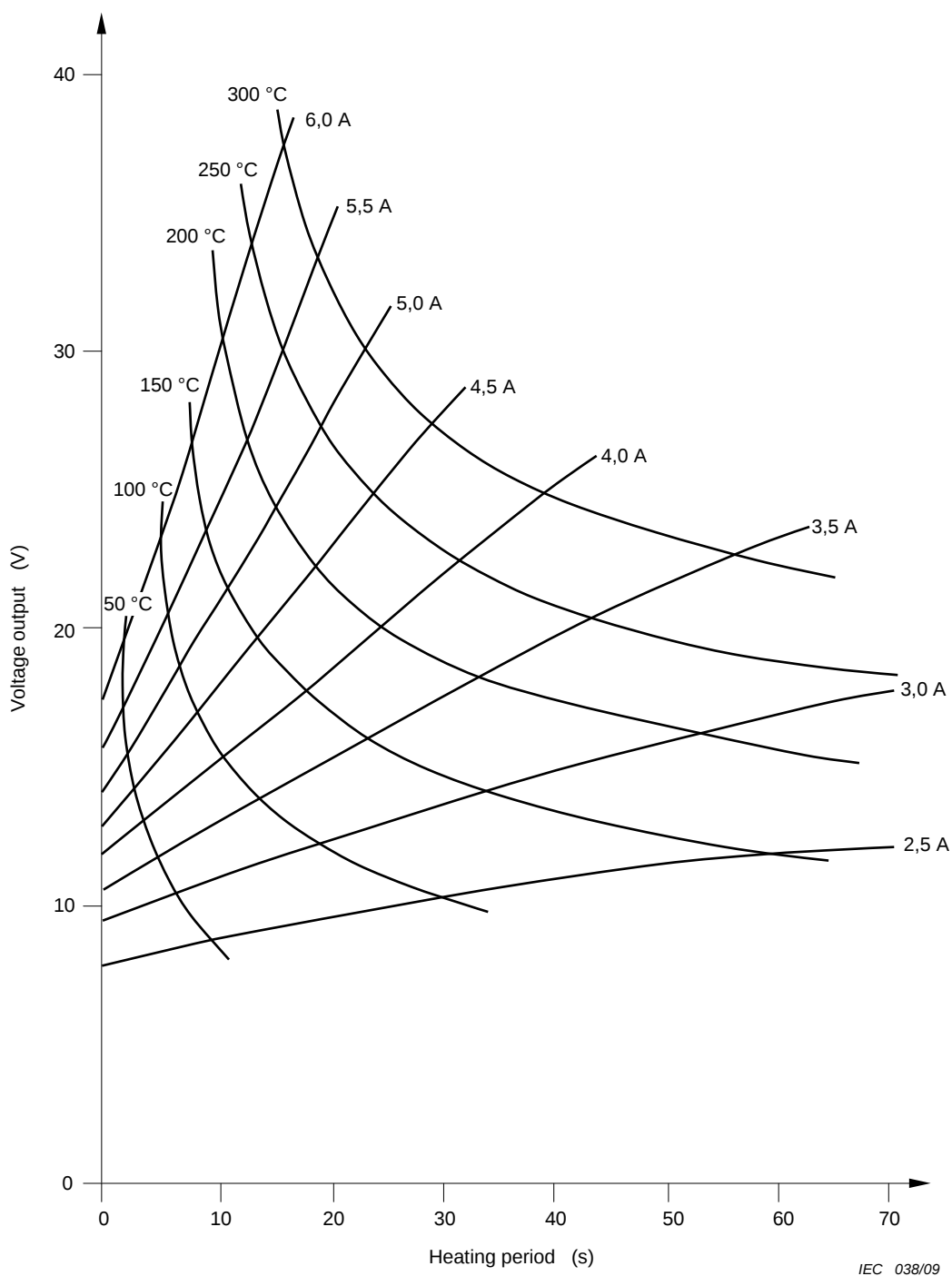


Figure A.3 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,355 mm with isothermic graphs

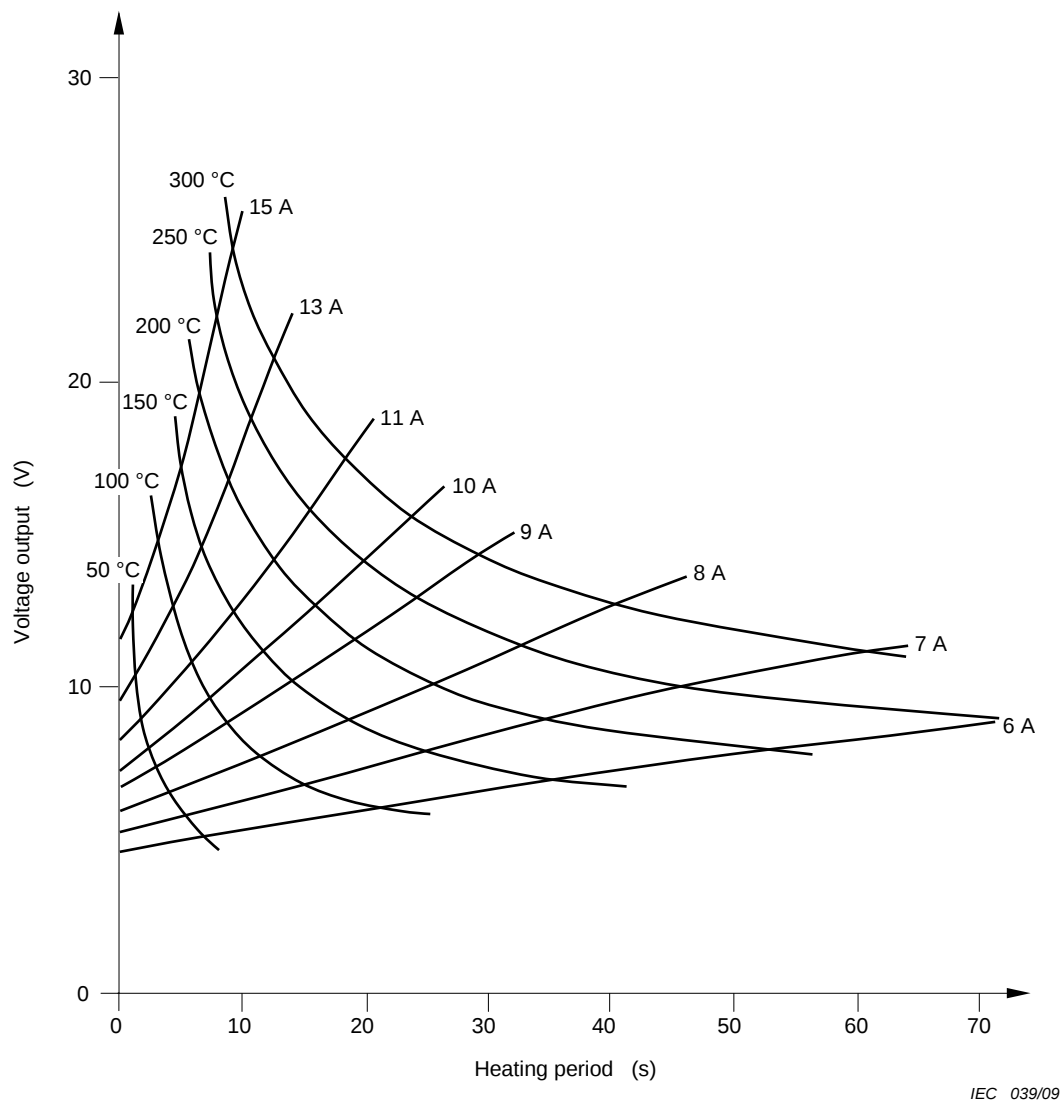


Figure A.4 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,500 mm with isothermic graphs

Annex B (informative)

Friction test methods

B.1 General

This annex provides recommendations to the purchaser and supplier of winding wires with respect to friction test methods to be used for winding wires. **The use of additional methods can be agreed upon between purchaser and supplier.**

B.2 Test A: Static coefficient of friction test method

B.2.1 Method of test (applicable to enamelled round wires with a nominal conductor diameter from 0,050 mm up to and including 1,600 mm).

The static coefficient of friction (μ_s) is determined by measuring the inclining angle (α) of a plane at the moment when a block begins to slip on the track made from the wire specimen. The wire test specimen shall be removed from the delivery spools by de-reeling over the end flange. The top layers of the spool shall be removed before testing when the wire surface is contaminated by dirt or dust. One part of the wire specimen is straightened and then fixed on the inclining plane by means of the two posts and the two clamps constituting the sliding track. The other part of the wire specimen is mounted in a similar way on the sliding block.

The sliding block with the wire specimen is then placed on the track of the plane to be inclined in such a way that the wire on the block and the wire on the plane are crossed at right angles at the point of contact.

The plane is then slowly inclined (approximately $1^\circ/\text{s}$) until the block starts to slide down the track. At that moment, the angle of inclination (α) is read from the scale.

The static coefficient of friction is calculated as follows:

$$\mu_s = \tan \alpha$$

B.2.2 Test apparatus

The general arrangement of the test apparatus is shown in Figure B.1.

The apparatus consists of a plane (1), which can be inclined to an angle (α) by turning the plane around the axis (8). The support (9) carries a scale (7) marked with the inclination angle (α) or the coefficient of friction ($\tan \alpha$).

The plane has means for fixing the wire specimen (3), for example the two posts (5) and the two clamps (6). The parallel parts of the wire shall be 110 mm apart. They form a sliding track running from the scale end to the axis on the plane.

On the block (2) clamps and posts are provided to fix the second wire specimen (4). The parallel parts of the specimen shall be 60 mm apart. The size of the block must allow the clamps and posts to stay clear of the plane (1) to avoid additional friction forces. The block shall have

- a mass of about 50 g for a wire with a nominal conductor diameter up to and including 0,150 mm;
- a mass of about 500 g for a wire with a nominal conductor diameter over 0,150 mm.

The mass is not critical as it is anyway changed by the mass of the second wire specimen.

The angle of inclination shall be changed slowly by means of a motor-operated block and tackle.

B.3 Test B: First dynamic coefficient of friction test method

B.3.1 Principle

The coefficient of friction, μ_d , is determined by measuring the frictional force, C , applied on the wire when moving under the pressure of a known mass, E :

$$\mu_d = \frac{C}{9,81 \times E}$$

B.3.2 Method of test

The general arrangement of the test apparatus is shown in Figure B.2.

The enamelled wire runs via a guide wheel and a brake (D) over a metal plate (B). Via another guide wheel, the wire is lead below this plate (B) and runs back, parallel with the first passage, over this plate again (see Figure B.2). By means of a capstan (A), the wire is drawn with a speed of 0,25 m/s. A mass (E) is placed on the running wire over the plate (B), which is coupled to a force indication meter (C).

The force indication meter can be coupled to a linear recorder (measuring range 1 mV - 250 mV). This linear recorder shows the spread of the smoothness and the level of the wire smoothness over a long distance.

B.4 Test C: Second dynamic coefficient of friction test method (applicable to enamelled round wires with a nominal conductor diameter from 0,050 mm up to and including 1,600 mm)

~~B.4.1 Method of test (applicable to enamelled round wires with a nominal conductor diameter from 0,050 mm up to and including 1,600 mm)~~

~~The wire specimen is pulled under a test load. The force is developed between the wire surface and the load contact surface and transferred to an appropriate measuring device. The reading in Newtons is divided by the load in Newtons for determination of the dynamic coefficient of friction (μ_d).~~

~~The wire test specimen shall be removed from the delivery spools by de-reeling over the end flange or from the pail or drum. The top wire specimen layer of the spool shall be removed before testing if the wire specimen has been contaminated by dirt or dust.~~

~~Referring to Figure B.4, level the smooth surface (6) using the levelling leg screws (2) and float level (8).~~

~~Adjust the electronic force transducer (5) (Figure B.4) sensitivity to the appropriate range, and set chart recorder to full-scale setting for the wire size being tested using a calibrating weight (9) (Figure B.3). The calibrating weight should be removed after the transducer and chart recorder are adjusted.~~

~~If a mechanical dynamometer (5) (Figure B.4) is used, adjust the correct range for the wire size being tested.~~

~~— Nominal conductor diameters from 0,050 mm up to and including 0,125 mm: 0 N — 0,49 N.~~

~~— Nominal conductor diameters over 0,125 mm up to and including 1,600 mm: 0 N — 1,96 N.~~

~~Clean the sapphire surfaces located on the load block (3) (Figure B.4) in contact with the wire with an appropriate cleaning solvent and allow time to dry thoroughly.~~

~~Lower the dampening paddle (4) (Figure B.4) into the oil.~~

~~— Completely immerse for sizes over 0,224 mm up to and including 1,600 mm.~~

~~— Immerse one-half paddle for sizes from 0,050 mm up to and including 0,224 mm.~~

~~Thread the wire over appropriate guide pulleys (Figures B.3 (4) and B.4 (9)) so that the wire is in contact with the two sapphires.~~

~~Apply the appropriate test load (7) (Figure B.4):~~

~~— for sizes over 0,050 mm up to and including 0,071 mm: 0,98 N;~~

~~— for sizes over 0,071 mm up to and including 0,125 mm: 1,96 N;~~

~~— for sizes over 0,125 mm up to and including 0,450 mm: 5,88 N;~~

~~— for sizes over 0,450 mm up to and including 1,600 mm: 9,87 N.~~

~~The test load (7) (Figure B.4) should be positioned on the test bed (6) (Figure B.4) where no reading is indicated on the force transducer or dynamometer. If the mechanical dynamometer is used, it should be zeroed.~~

~~Adjust the calibrated dial (1) (Figure B.4) to make the test load parallel with the test bed surface. Turn tester on and start the test wire moving.~~

~~Slight tension (1) (Figure B.3) should be applied to keep the wire travelling smoothly.~~

~~To allow time for the start-up variations to cease, the average dynamometer reading to the nearest Newton should be recorded at least 15 s after start-up.~~

~~Calculate the average coefficient of friction (μ_d) as follows:~~

$$\mu_d = \frac{F}{L}$$

~~where~~

~~F is the average dynamometer force reading, in Newtons;~~

~~L is the test load, in Newtons.~~

~~B.4.2 Test apparatus~~

~~The general arrangement of the test apparatus is shown in Figures B.3, B.4 and B.5.~~

~~A motor (3) (Figure B.3) shall pull the wire specimen at 15 m/min across a smooth surface (10) (Figure B.3) using a motor take-up (6) (Figure B.3).~~

~~Various load weights (7) (Figure B.4) should be available which will provide 0,98 N — 9,81 N force. The load surface shall be synthetic sapphire and have a surface roughness of not more than 0,5 μ m. The sapphires are described and shall be mounted as shown in Figure B.5.~~

~~There shall be a means to guide the wire (Figure B.3 (4) and Figure B.4 (9)) and a means to maintain a slight tension (Figure B.3, (1) (5)) if needed.~~

~~B.4.3 Measuring device~~

~~The measuring device consists of~~

- ~~— electronic force measuring devices or transducers (2) (Figure B.3) incorporated with a chart recorder for measuring the force due to friction. The electronic force measuring device will provide a record indicating the peak variation along the surface of the wire. A force transducer with a range of 0 N — 4,9 N, and a chart recorder with a 0 V — 5 V range and a 0,5 s full-scale response time are satisfactory;~~
- ~~— Figure B.4 illustrates the use of a mechanical dynamometer (5) in place of an electronic force transducer and chart recorder. Two dynamometer ranges, 0 N — 0,49 N and 0 N — 1,96 N, are satisfactory;~~
- ~~— a dampening system (4) (Figure B.4) consisting of a paddle and a container filled to a depth of 5 mm with oil, having a viscosity of approximately 10–200 mPa × s at 25 °C;~~
- ~~— an appropriate cleaning solvent for the lubricant being tested.~~

~~B.4.1 Test equipment~~

~~The design of typical test equipment is illustrated in Figure B.3. Figure B.4 contains detailed drawings of synthetic sapphires and Figure B.5 is a photograph of the load block. The tester is supplied with a wire guiding system and a take-up which pulls the wire over the test bed at 15 m/min as shown in Figure B.6. The test block is aligned parallel with the test bed and the test weights are perpendicular to the wire specimen.~~

~~As the wire is pulled under the test block (synthetic sapphires), the friction between the wire surface and the sapphire surface develops a longitudinal force, which is transferred to the measuring system by a shaft supported by two sets of linear ball bearings in contact with the measuring system. The force indicated by the measuring system is divided by the load on the test surface to obtain the dynamic coefficient of friction.~~

~~The measuring system in Figure B.3 shows the dynamic coefficient of friction tester with a load cell in place to measure the force. An LVDT may also be used to measure the force instead of a load cell. The electrical output from the force measurement device is fed into a computer or into a microprocessor that collects data measurements, usually 1 000 points. Statistics are performed on this data set so that proper interpretation of the results can be made.~~

~~NOTE 1 Values for the dynamic coefficient of friction are characteristic of the type of lubrication and the magnet wire specimen surface. The dynamic coefficient of friction values are generally not dependent on wire size.~~

~~NOTE 2 Wire lubricated with a mineral oil typically will have a mean dynamic coefficient of friction in the range of 0,9 to 0,16. Wire lubricated with a paraffin wax will typically have a mean dynamic coefficient of friction ranging from 0,03 to 0,06 and will be more consistent in value as evidenced by a lower standard deviation. The mean value, maximum value and standard deviation value can be used to evaluate the application of the lubricant to the wire and smoothness of the wire surface.~~

~~The test procedure is designed to provide a measure of the lubrication and the film surface smoothness as a combined value. It is assumed that the wire will be de-reeled from its packaging with minimal contact with surfaces other than those associated with the tester and packaging.~~

~~If there is suspicion that the presence of dust or dirt may have an effect on the coefficient of friction, one or two outer layers of wire should be removed from the package and the sample retested.~~

Test surfaces in contact with the wire shall be clean and dry at the start of each separate test. The solvent used to clean the test load surface should remove the various types of lubricants used and should dry without leaving a film residue.

B.4.2 Test specimen

The surface of the wire should be examined for damage, tangles, or excessive dust or dirt. If any of these conditions are present, the top wire specimen layer of the spool should be surfaced off before testing. The wire test specimen should be removed from the shipping package by de-reeling over the end flange or pulling the wire from a pail or drum.

B.4.3 Specimen preparation

The wire specimen is pulled over a test bed surface under a test load (L). A frictional force (Fd) is developed between the wire surfaces and transferred to an appropriate measuring device. The reading (Fd) in grams-force is divided by the test load (L) in grams-force to obtain the dynamic coefficient of friction μ_d .

$$\mu_d = \frac{F_d}{L}$$

A motor should pull the wire specimen at $15 \pm 1,5$ m/min across a smooth surface using a motor driven take-up.

Various load weights should be available that will provide 100 – 1 000 grams-force.

The test block should be comprised of two mounted synthetic sapphires that have a surface roughness of not more than 2,4 microns. The sapphires are described in Figure B.4 and are mounted in accordance with Figure B.5.

There should be a means to guide the wire and a means to maintain a slight tension if needed.

An electrical force measuring device or transducer measures the force due to friction. A force transducer with a range of 0 – 500 grams-force, a data storage device, and a microprocessor or computer to statistically analyse the data sets should be installed.

A mechanical dampening system consisting of a paddle and a container filled with oil may be used. The electrical signals from the load cell or LVDT can also be dampened electronically.

A cleaning solvent appropriate for dissolving the lubricant being tested should be used for cleaning the sapphires and metal surfaces between tests.

B.4.4 Procedure

The coefficient of friction tester should be level so that the only force being measured by the pressure transducer is that which is perpendicular to the load being applied and that gravity is not a factor.

Calibrate the pressure transducer by setting the zero without any load, and setting the span by hanging a 100 or 200 gram weight. Remove the weight and the display should again read zero.

Enter the parameters of the test into the microprocessor or personal computer.

De-reel the wire from its packaging by pulling the wire over the flange, through the tensioning device, through the guides, and onto the take-up spindle.

Adjust the guide pulleys so that the wire is parallel with the test bed. Clean the test bed, any guide pulleys, and the sapphire surfaces with a suitable solvent.

Place the appropriate weight from Table B.1 onto the load block:

Table B.1 – Load block weights for dynamic coefficient of friction testing

Conductor diameter mm	Weight g
0,050 – 0,071	100
0,071 – 0,125	200
0,125 – 0,450	600
0,450 – 1,600	1 000

Adjust the test bed to make the test load parallel with the test surface. Turn the wire take up on and start collecting data after the setup is stable and aligned and continue until the desired number of data points has been stored.

Analyse the data for minimum reading, maximum reading, mean value, and standard deviation.

The dynamic coefficient of friction μ_d should be calculated as follows:

$$\mu_d = \frac{F_d}{L}$$

where

F_d = force reading in grams force

L = test load in grams force

B.5 Test D: Force of friction by the twisted pair method

B.5.1 Enamelled round wires with a nominal conductor diameter from 0,1 mm up to and including 1,500 mm

From an enamelled wire specimen a twist is made similar to the one used for test 13 (breakdown voltage) in 4.3 of IEC 60851-5. The end of the first twist strand is attached to a fixed jaw and a force is applied to the opposite end of the second strand that has been kept free to slide by traction and without rotating, using for example a dynamometer. The force to separate the two strands is the sliding force.

B.5.2 Method of test

A specimen approximately of 400 mm in length shall be twisted back on itself for a distance of 125 mm on an apparatus as shown in Figure B.67. The force (weight) applied to the wire pair while being twisted and the number of twists are given in Table B.12.

At the twisted end, the loop is cut in two separate places to obtain a maximum separation between these cut ends.

Any bending of the wires, at the cut end or at the other untwisted end, to ensure adequate separation between the wires, shall avoid sharp bends or damage to the insulation.

One end of one wire shall be attached firmly to a jaw, while at the opposite end of the other wire a force (weight) is applied to let that wire slide without any rotation. Three specimens shall be tested.

Table B.12 – Twisted pair method

Nominal conductor diameter mm		Force applied to wire pairs N	Number of twists per 125 mm
Over	Up to and including		
0,10	0,25	0,85	17
0,25	0,315	1,40	15
0,315	0,40	2,40	13
0,40	0,50	3,40	12
0,50	0,71	6,00	11
0,71	0,80	8,50	10
0,80	0,90	10,00	9
0,90	1,00	12,50	8
1,00	1,12	15,00	7
1,12	1,25	20,00	6
1,25	1,50	27,00	5

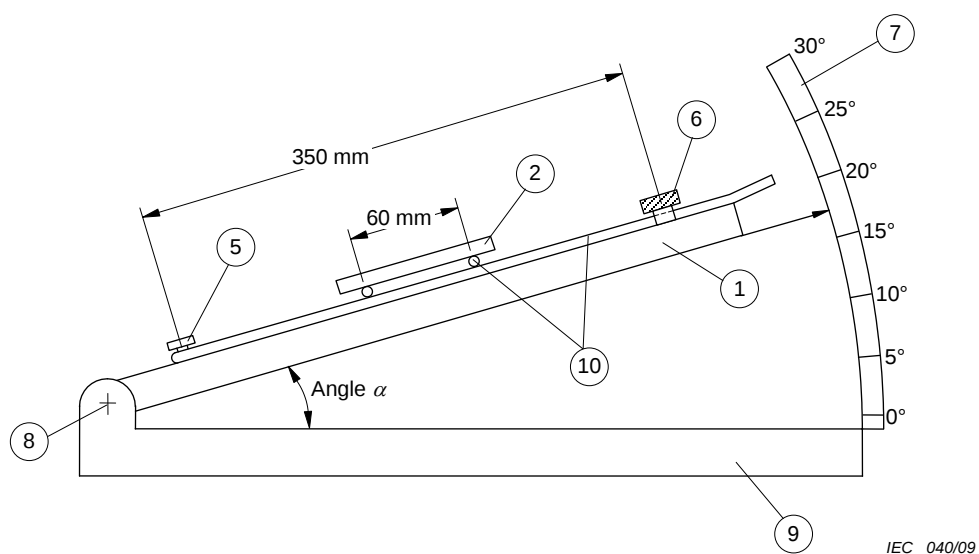


Figure B.1a – Side view

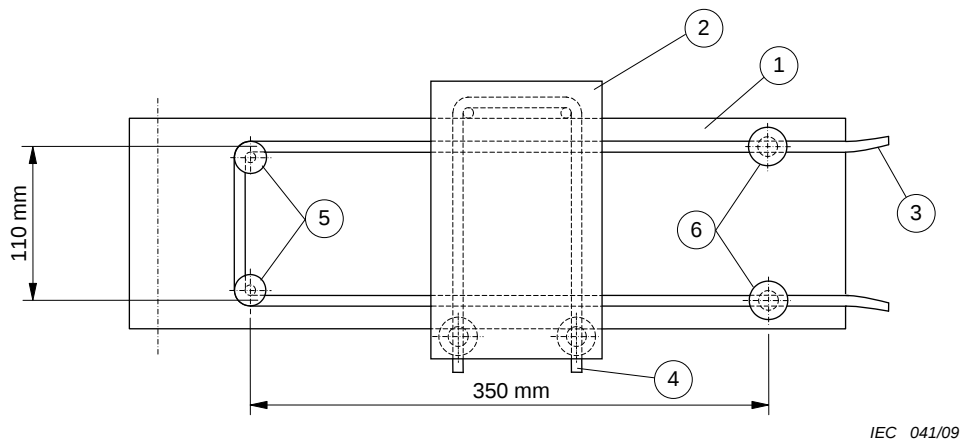


Figure B.1b – Top view

Key

- | | |
|-----------------|--------------------------|
| 1 plane | 6 clamps |
| 2 block | 7 scale |
| 3 wire specimen | 8 axis |
| 4 wire | 9 support |
| 5 posts | 10 winding wire specimen |

Figure B.1 – Static coefficient of friction test apparatus

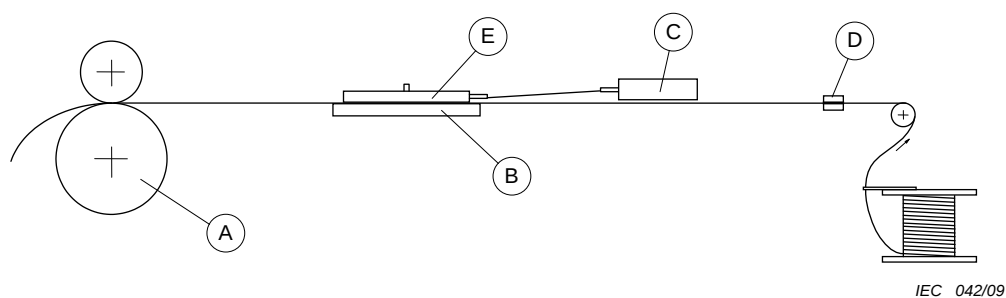


Figure B.2a – Side view

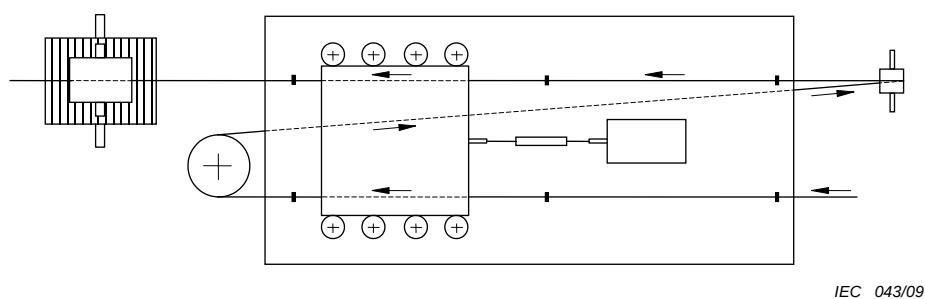


Figure B.2b – Top view

Components

- A capstan
- B plate
- C force indication meter
- D brake
- E mass

Figure B.2 – Dynamic coefficient of friction test apparatus

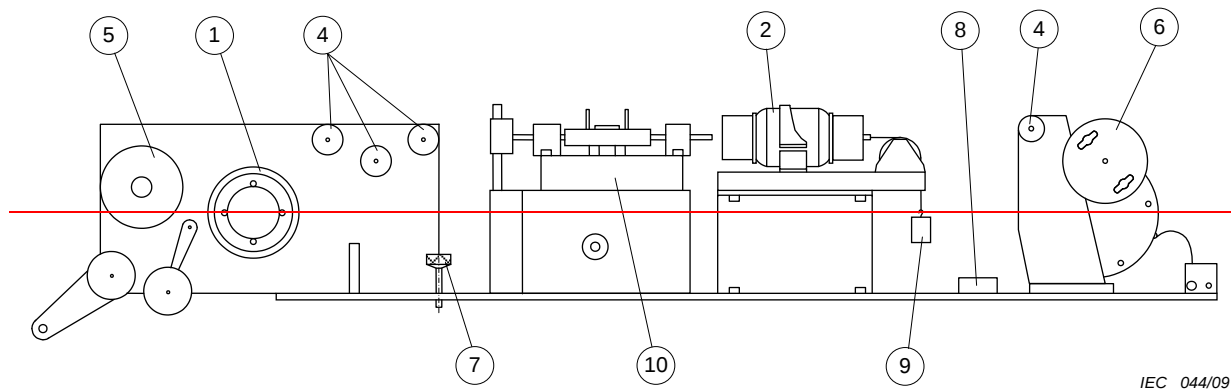


Figure B.3a — Side view

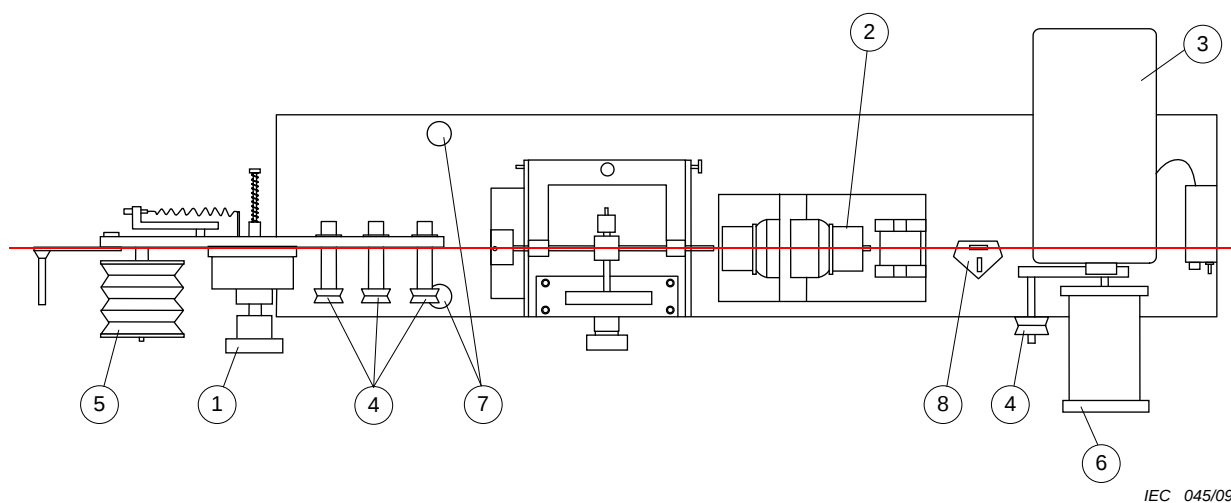
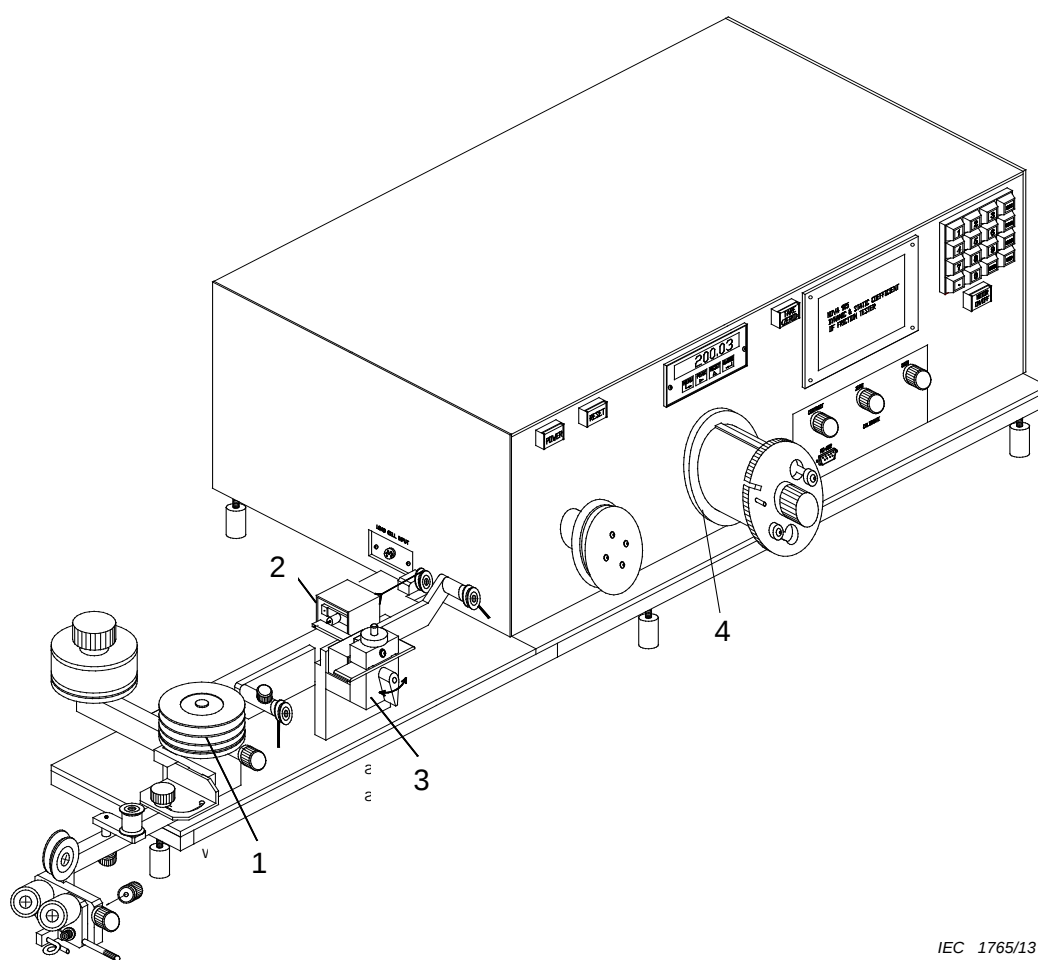


Figure B.3b — Top view

Key

- | | |
|---------------------|--|
| 1 tension capstan | 6 wire take-up |
| 2 transducer | 7 leg levellers |
| 3 motor | 8 float level |
| 4 wire guide pulley | 9 calibration weight |
| 5 pay-off pulley | 10 test bed (consisting of 2 positions depending on wire diameter) |



Key

- 1 Wire tensioner
- 2 Load cell assembly
- 3 Sapphire test head and support block assembly
- 4 Wire take-up mandrel

Figure B.3 – Diagram of a typical dynamic coefficient of friction tester apparatus

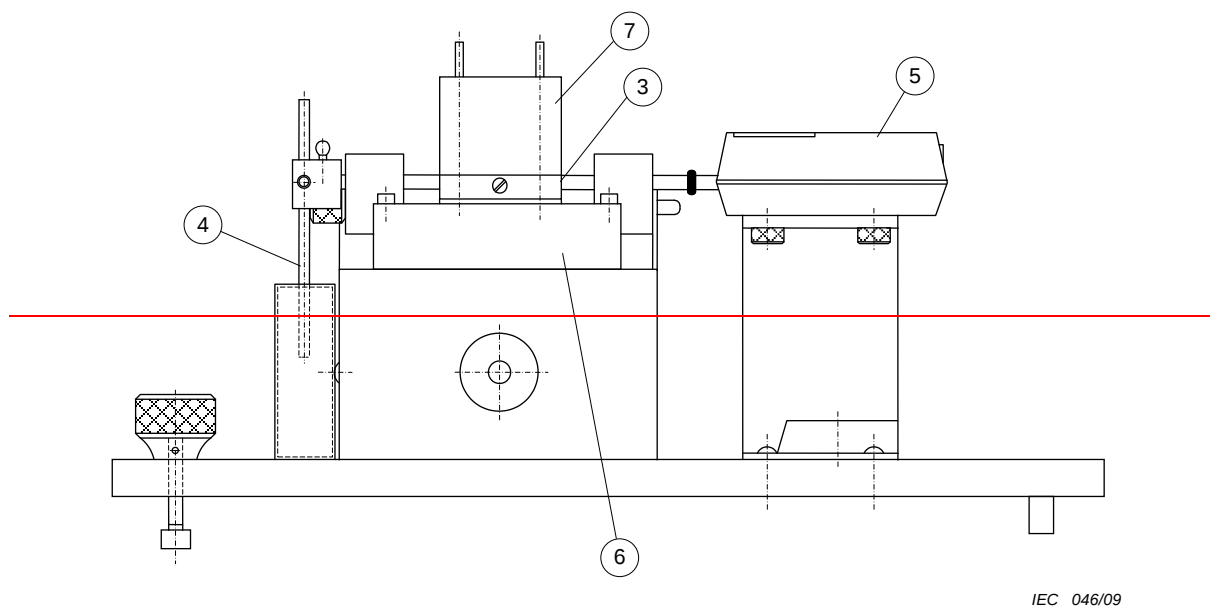


Figure B.4a—Side view

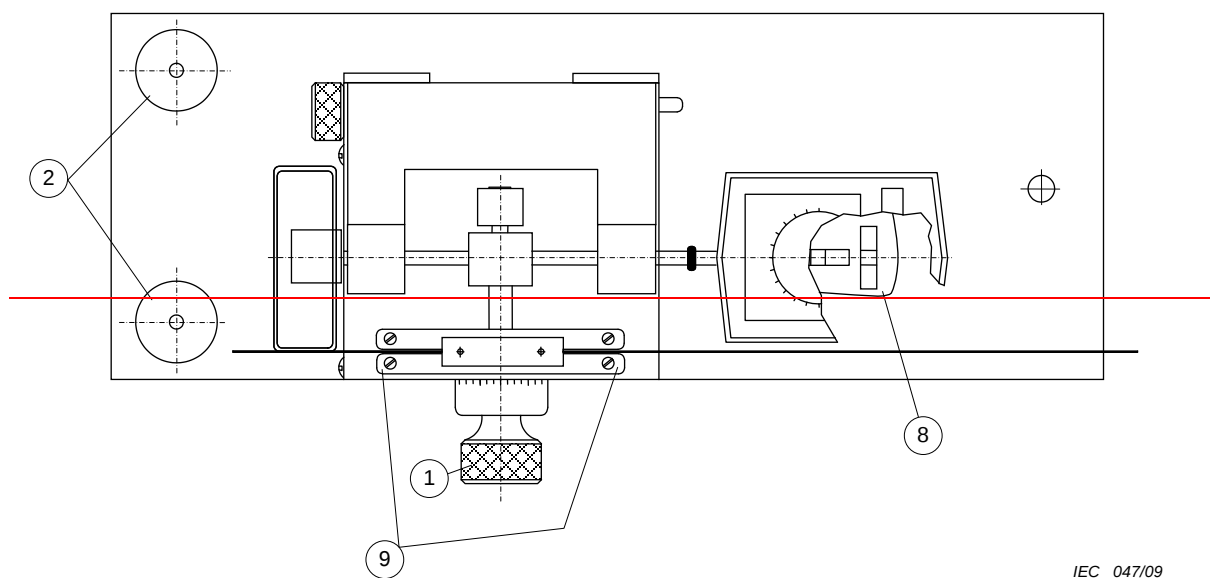
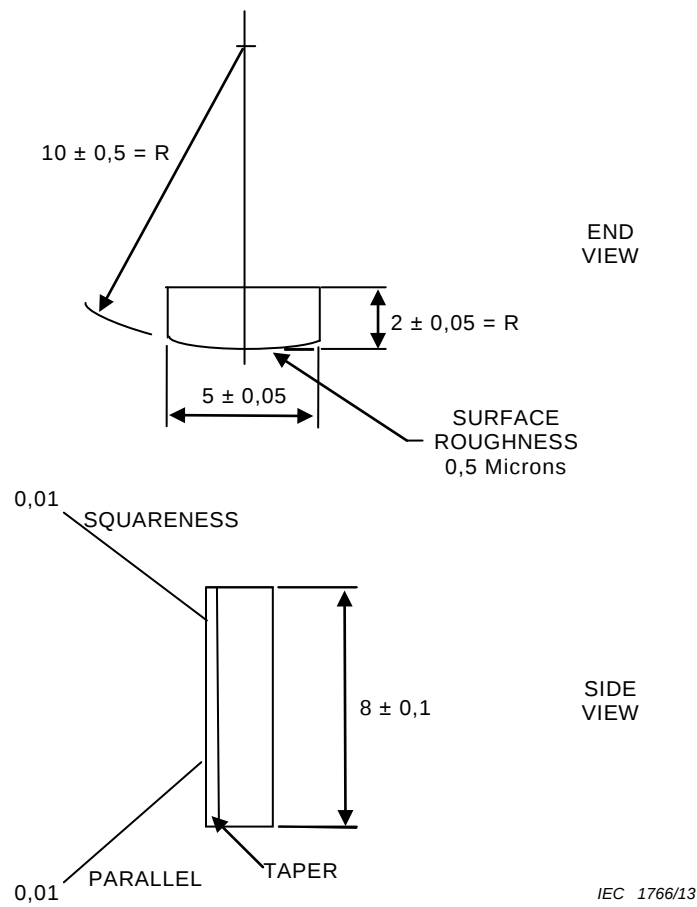


Figure B.4b—Top view

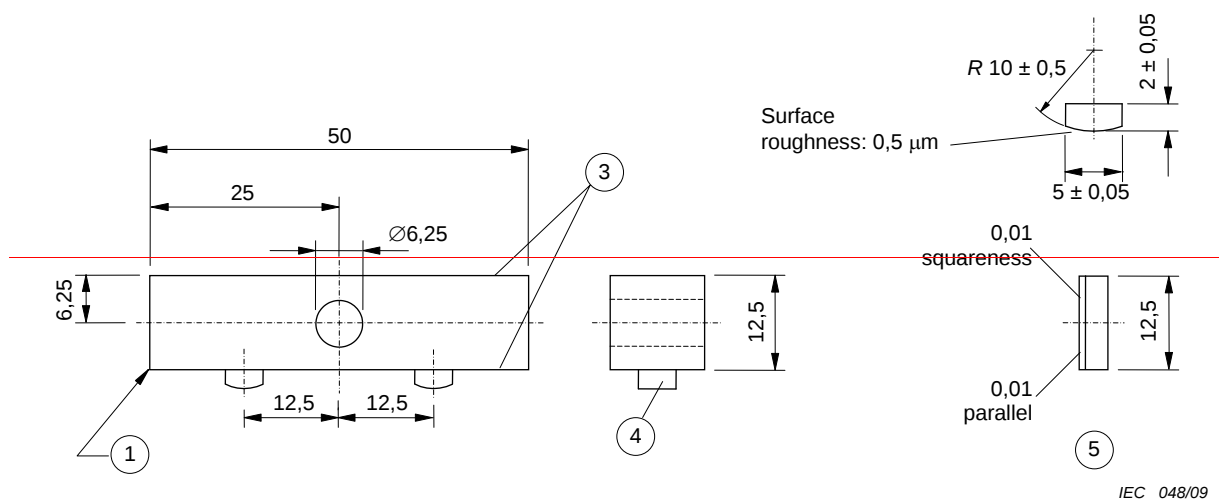
Key

- 1—calibrated adjustment for parallelism between the test load and test bed surfaces
- 2—leg levellers
- 3—load block (see Figure B.5)
- 4—dampening system
- 5—dynamometer
- 6—test bed
- 7—test weights
- 8—float level
- 9—test guides



NOTE Dimensions used in the figure are in millimetres.

Figure B.4 – ~~Detail drawing of friction head assembly with mechanical dynamometer~~Material – sapphire (synthetic)



Dimensions are in millimetres

Key

- 1 — break all corners
- 2 — diameter hole
- 3 — these surfaces to be flat/parallel
- 4 — sapphire blocks (cemented in place)
- 5 — sapphire synthetic

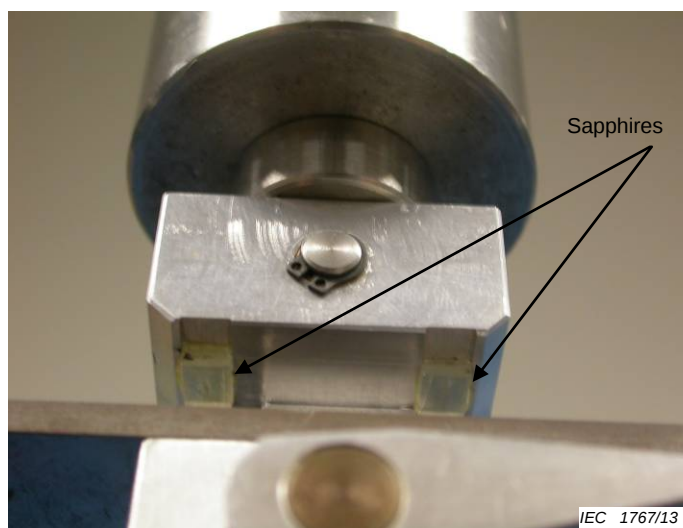
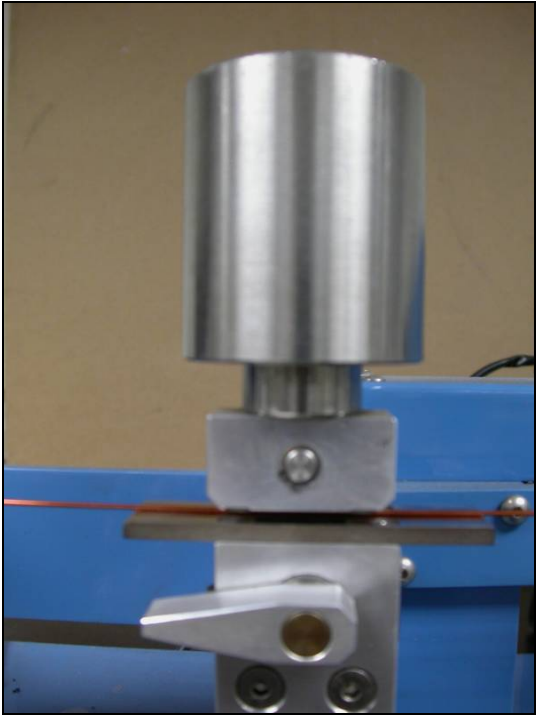
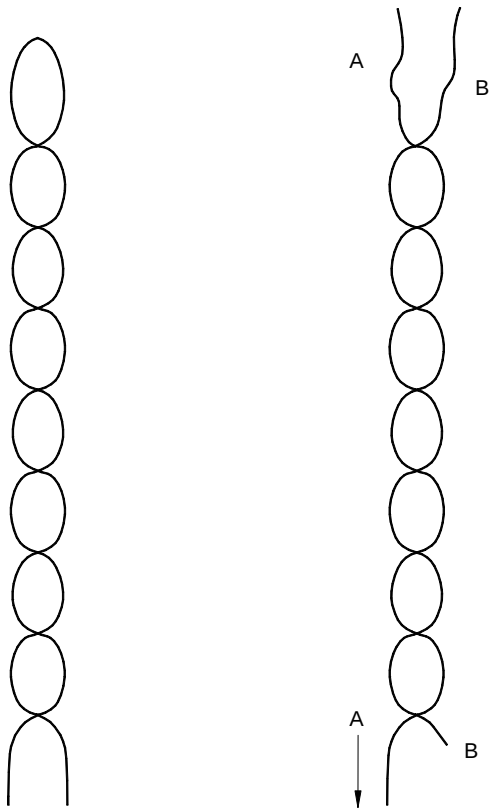


Figure B.5 – ~~Load block with~~Synthetic sapphires mounted on load block



IEC 1768/13

Figure B.6 – Load applied perpendicular to wire path



IEC 049/09

Figure B.67 – Twisted specimen

Bibliography

IEC 60851-5:2008, *Winding wires – Test methods – Part 5: Electrical properties*

IEC 61033:1991, *Test methods for the determination of bond strength of impregnating agents to an enamelled wire substrate*
Amendment 1:2006

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	53
INTRODUCTION.....	55
1 Domaine d'application.....	56
2 Références normatives	56
3 Essai 6: Allongement	56
3.1 Allongement à la rupture	56
3.2 Résistance à la traction	56
4 Essai 7: Effet de ressort.....	57
4.1 Fil de section circulaire de diamètre nominal du conducteur de 0,080 mm jusqu'à 1,600 mm inclus.....	57
4.1.1 Principe	57
4.1.2 Equipement	57
4.1.3 Procédure.....	59
4.2 Fil de section circulaire de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,600 mm et fil de section rectangulaire	60
4.2.1 Principe	60
4.2.2 Equipement	60
4.2.3 Eprouvette	61
4.2.4 Procédure.....	62
5 Essai 8: Souplesse et adhérence	62
5.1 Essai d'enroulement sur mandrin	62
5.1.1 Fil de section circulaire	62
5.1.2 Fil de section rectangulaire	63
5.1.3 Fil toronné avec enveloppe	64
5.2 Essai d'étirement (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,600 mm)	64
5.3 Essai de traction brusque (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur jusqu'à et y compris 1,000 mm)	65
5.4 Essai de pelage (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,000 mm)	66
5.5 Essai d'adhérence	67
5.5.1 Fil de section rectangulaire émaillé	67
5.5.2 Fil de section circulaire ou rectangulaire recouvert d'une enveloppe fibreuse imprégnée	67
5.5.3 Fil de section circulaire ou rectangulaire émaillé recouvert d'une enveloppe fibreuse.....	68
5.5.4 Fil de section circulaire ou rectangulaire recouvert d'un ruban (uniquement pour ruban adhésif).....	68
6 Essai 11: Résistance à l'abrasion (applicable au fil de section circulaire émaillé)	68
6.1 Principe	68
6.2 Equipement	68
6.3 Procédure.....	69
7 Essai 18: Thermo-adhérence (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal de conducteur supérieur à 0,050 mm jusqu'à 2,000 mm inclus)	70
7.1 Collage résiduel vertical d'un bobinage hélicoïdal.....	70
7.1.1 Diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,050 mm inclus	70
7.1.2 Diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,050 mm jusqu'à 2,000 mm inclus	70

7.2	Force de collage d'un bobinage torsadé	73
7.2.1	Principe	73
7.2.2	Équipement	73
7.2.3	Eprouvette	73
7.2.4	Procédure	76
7.2.5	Résultats	76
Annexe A (informative)	Force de collage des fils thermo-adhérents	78
Annexe B (informative)	Méthodes d'essai de frottement	84
Bibliographie		99
Figure 1	– Appareil pour la mesure de l'effet de ressort	58
Figure 2	– Construction et détails du mandrin (voir le Tableau 1)	58
Figure 3	– Appareil pour la mesure de l'effet de ressort	61
Figure 4	– Appareil d'essai d'enroulement sur mandrin	64
Figure 5	– Appareil pour l'essai de traction brusque	65
Figure 6	– Appareil pour l'essai de pelage	66
Figure 7	– Racloir	67
Figure 8	– Section droite du fil dont on a retiré l'émail	67
Figure 9	– Appareil pour l'essai d'abrasion unidirectionnelle	69
Figure 10	– Dispositifs pour l'essai de thermo-adhérence d'un bobinage hélicoïdal	72
Figure 11	– Dispositif de bobinage	75
Figure 12	– Bobine de forme ovale	76
Figure 13	– Dispositif de torsion avec une charge appliquée au bobinage torsadé	76
Figure 14	– Disposition des supports	77
Figure A.1	– Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,300 mm	80
Figure A.2	– Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,315 mm	81
Figure A.3	– Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,355 mm	82
Figure A.4	– Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,500 mm	83
Figure B.1	– Appareil pour l'essai statique du coefficient de frottement	91
Figure B.2	– Appareil pour l'essai dynamique du coefficient de frottement	92
Figure B.3	– Schéma d'un dispositif d'essai type du coefficient dynamique de frottement	94
Figure B.4	– Détail montrant la liaison entre le banc de friction et le dynamomètre mécanique Matériau – saphir (synthétique)	96
Figure B.5	– Charge montée sur Saphirs synthétiques montés sur un bloc de charge	97
Figure B.6	– Charge appliquée perpendiculairement au trajet du fil	97
Figure B.67	– Eprouvette torsadée	98
Tableau 1	– Mandrins pour l'effet de ressort	59
Tableau 2	– Grossissement pour détecter les craquelures	62
Tableau 3	– Charge pour l'essai de pelage	66
Tableau 4	– Préparation des bobinages hélicoïdaux	71
Tableau 5	– Collage résiduel à température élevée	73

Tableau B.1 – Poids du bloc de charge pour les essais du coefficient dynamique de frottement	89
Tableau B.12 – Méthode du fil torsadé	90

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**FILS DE BOBINAGE –
MÉTHODES D'ESSAI –****Partie 3: Propriétés mécaniques****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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 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.

Cette version consolidée de la CEI 60851-3 porte le numéro d'édition 3.1. Elle comprend la troisième édition (2009) [documents 55/1043/CDV et 55/1059/RVC] et son amendement 1 (2013) [documents 55/1392/FDIS et 55/1407/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts et les suppressions apparaissent en rouge, les suppressions étant barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

Cette publication a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

La Norme internationale CEI 60851-3 a été établie par le comité d'études 55 de la CEI: Fils de bobinage.

Par rapport à l'édition précédente, des modifications techniques majeures sont introduites au Paragraphe 5.3, Essai de traction brusque.

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

Une liste de toutes les parties de la CEI 60851, sous le titre général *Fils de bobinage – Méthodes d'essai*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement 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

La présente partie de la CEI 60851 constitue un élément d'une série de normes traitant des fils isolés utilisés dans les enroulements des appareils électriques. La série comporte trois groupes définissant respectivement ce qui suit:

- a) les fils de bobinage – Méthodes d'essai (CEI 60851);
- b) les spécifications pour types particuliers de fils de bobinage (CEI 60317);
- c) le conditionnement des fils de bobinage (CEI 60264).

FILS DE BOBINAGE – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 3: Propriétés mécaniques

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60851 donne les méthodes d'essai suivantes des fils de bobinage:

- Essai 6: Allongement;
- Essai 7: Effet de ressort;
- Essai 8: Souplesse et adhérence;
- Essai 11: Résistance à l'abrasion;
- Essai 18: Thermo-adhérence.

Pour les définitions, les généralités concernant les méthodes d'essai et les séries complètes des méthodes d'essai des fils de bobinage, voir la CEI 60851-1.

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 60851-1, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai – Partie 1: Généralités*

CEI 60851-2:1996, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai – Partie 2: Détermination des dimensions*

ISO 178:2001, *Plastiques – Détermination des propriétés en flexion*
Amendement 1:2004

3 Essai 6: Allongement

3.1 Allongement à la rupture

L'allongement est l'augmentation de longueur exprimée en pourcentage de la longueur initiale.

Une longueur de fil droit doit être allongée jusqu'à la rupture du conducteur à la vitesse de (5 ± 1) mm/s au moyen d'une machine d'essai d'allongement ou une machine d'essai de traction qui réalise la mesure sur une longueur libre comprise entre 200 mm et 250 mm. L'augmentation linéaire à la rupture doit être calculée en pourcentage de la longueur libre mesurée.

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les trois valeurs individuelles doivent être notées. La moyenne des valeurs est considérée comme l'allongement à la rupture.

3.2 Résistance à la traction

La résistance à la traction est le rapport entre la force appliquée au moment de la rupture et la section initiale.

Une longueur de fil droit doit être allongée jusqu'à la rupture du conducteur à la vitesse de (5 ± 1) mm/s au moyen d'une machine d'essai de traction qui réalise la mesure sur une longueur libre comprise entre 200 mm et 250 mm et enregistre la force au moment de la rupture.

Trois éprouvettes doivent être essayées. La section initiale et les trois valeurs individuelles de force à la rupture doivent être notées. La moyenne des rapports entre la force au moment de la rupture et la section initiale est considérée comme la résistance à la traction.

4 Essai 7: Effet de ressort

L'effet de ressort est le retour en arrière mesuré en degrés après que le fil a été soit bobiné en forme d'hélice soit courbé d'un angle.

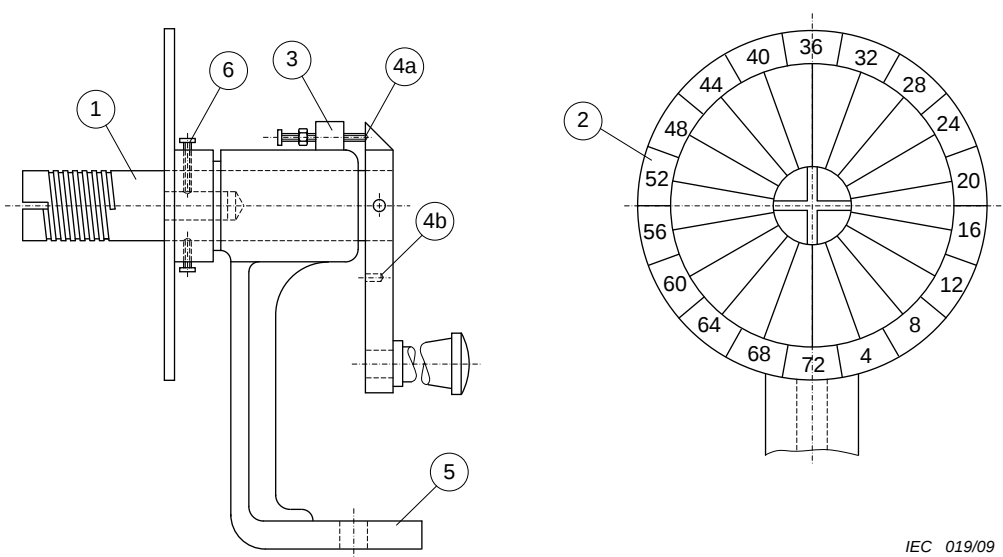
4.1 Fil de section circulaire de diamètre nominal du conducteur de 0,080 mm jusqu'à 1,600 mm inclus

4.1.1 Principe

Une longueur de fil droit est enroulée sur un mandrin de façon à former cinq spires. La norme appropriée donne le diamètre du mandrin et la traction à appliquer. La mesure de l'effet de ressort est indiquée par l'angle de retour en arrière de l'extrémité des cinq spires.

4.1.2 Equipement

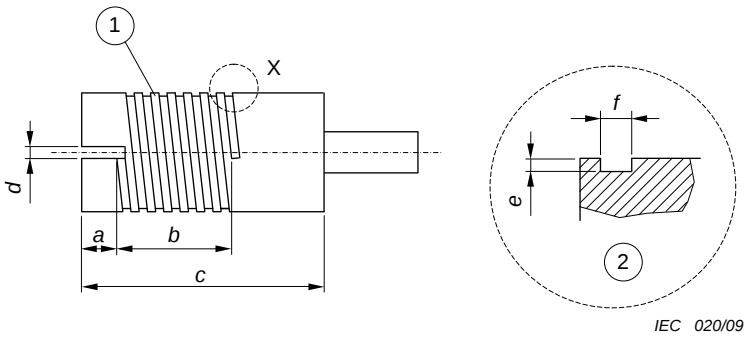
La Figure 1 décrit un exemple d'équipement d'essai. Les détails du mandrin sont donnés à la Figure 2 et dans le Tableau 1. La Figure 2 mentionne une gorge en hélice qui peut être utilisée pour faciliter le bobinage. Toutefois cette gorge n'est pas obligatoire. Le cadran porte 72 divisions équidistantes de façon qu'avec cinq tours du fil le retour en arrière pour un seul tour soit lu directement.



Légende

- 1 mandrin
- 2 cadran
- 3 dispositif de verrouillage
- 4 dispositif de verrouillage
- 5 base
- 6 vis de fixation du mandrin

Figure 1 – Appareil pour la mesure de l'effet de ressort



Légende

- 1 7 filets
- 2 agrandissement de la partie X

Figure 2 – Construction et détails du mandrin (voir le Tableau 1)

Tableau 1 – Mandrins pour l'effet de ressort

Diamètre du mandrin ^a mm	Dimensions ^b mm					
	a	b	c	d	e	f
5	6,0	7,5	32	0,30	0,05	0,13
7	6,0	9,0	34	0,40	0,07	0,18
10	6,0	9,0	34	0,60	0,10	0,25
12,5	6,0	9,0	40	0,80	0,14	0,35
19	10,0	11,0	45	1,20	0,20	0,50
25	12,5	12,5	45	2,00	0,28	0,70
37,5	12,5	14,5	47	2,40	0,40	1,00
50	12,5	17,5	50	3,00	0,80	2,00

^a Au fond de la gorge, le cas échéant.

^b Voir Figure 2.

4.1.3 Procédure

Le mandrin spécifié doit être monté et verrouillé à axe horizontal de façon que la rainure ou le trou d'attache du fil corresponde au repère zéro du cadran. Le mandrin doit être talqué pour empêcher le fil de coller à la surface du mandrin.

Une tension doit être appliquée à une longueur de fil droit d'environ 1 m en attachant la charge spécifiée à l'une des extrémités du fil. La manivelle pour faire tourner le mandrin doit être déverrouillée. L'autre extrémité du fil doit être engagée dans la rainure ou le trou de façon qu'il traverse suffisamment le mandrin pour être fixé et maintenu sur le mandrin. La charge doit être abaissée doucement pour appliquer la traction au fil qui est suspendu verticalement au-dessous du mandrin, le repère zéro du cadran et la rainure ou le trou pointant vers le bas.

L'extrémité libre du fil ayant été attachée solidement, le mandrin doit être entraîné dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (le cadran étant vu de face) de façon à former cinq spires complètes et de plus jusqu'à ce que le zéro du cadran soit tourné verticalement vers le haut. La manivelle doit alors être verrouillée dans cette position. Pendant que le fil est maintenu en place, la charge doit être enlevée. Le fil doit être coupé à environ 25 mm au-delà de l'extrémité de la cinquième spire. Ces 25 mm doivent être pliés à la verticale devant le zéro du cadran pour faire office d'aiguille.

Un crayon ou un outil similaire doit être placé à la gauche de cette extrémité de fil pour empêcher tout retour en arrière soudain. Le bobinage doit être laissé ensuite se dérouler lentement sans à-coups.

NOTE Si le fil se détend brusquement, les résultats obtenus peuvent être erronés.

Le mandrin et le cadran doivent alors être libérés et entraînés dans le sens des aiguilles d'une montre pour amener de nouveau l'aiguille en arrière en position verticale. L'angle de retour en arrière est égal à la lecture du cadran correspondant à l'aiguille. Dans le cas d'un fil très nerveux, l'aiguille peut faire plus d'un tour. Il est alors nécessaire d'ajouter 72 à la lecture du cadran pour chaque révolution complète.

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les trois valeurs individuelles doivent être notées. La moyenne des valeurs est considérée comme l'effet de ressort.

4.2 Fil de section circulaire de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,600 mm et fil de section rectangulaire

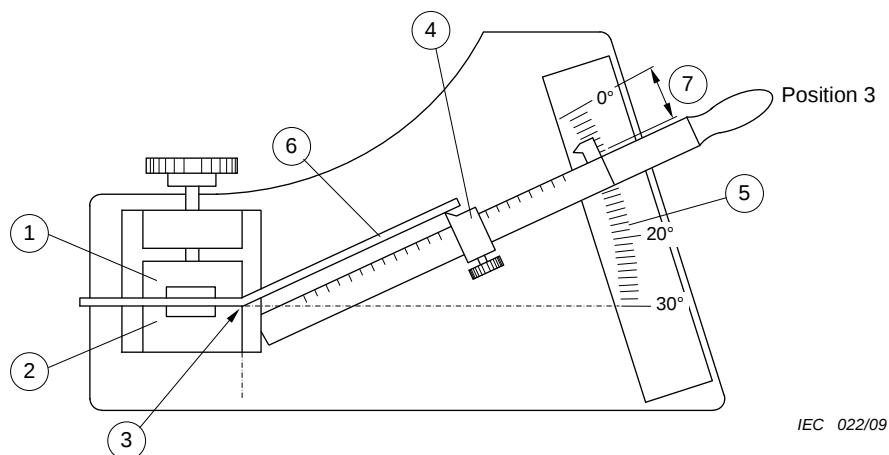
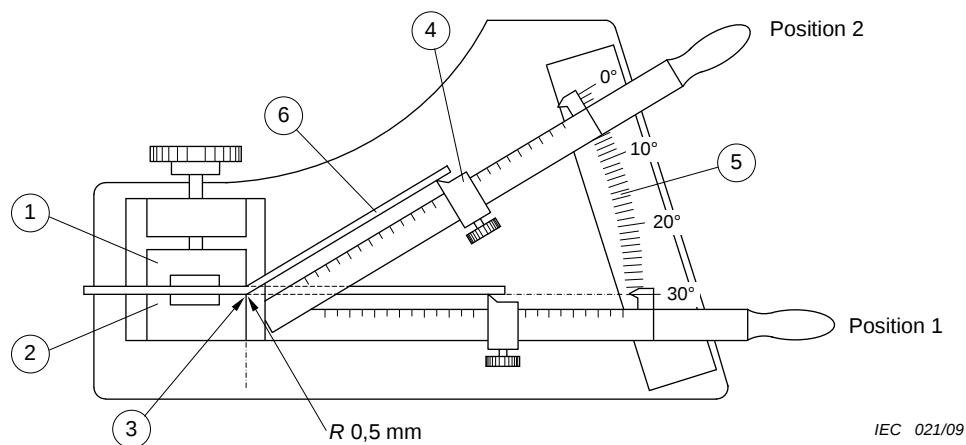
4.2.1 Principe

Une longueur de fil droit doit être courbée d'un angle de 30°. Après avoir supprimé la contrainte, la mesure de l'effet de ressort est indiquée par l'angle de retour en arrière.

4.2.2 Equipement

La Figure 3 décrit un exemple d'équipement d'essai. Il consiste fondamentalement en deux mâchoires, dont l'une est fixe (2) et l'autre mobile (1), et un secteur gradué en degrés (5) dont l'échelle de 0° à 10° est graduée par paliers de 0,5°. Le secteur gradué est un arc placé dans un plan à 90° des faces de serrage. Son centre est situé sur l'arête extérieure de la mâchoire fixe (3). Le levier avec son point d'appui placé au centre de l'arc peut se déplacer sur le secteur gradué dans le plan vertical.

Le levier doit être muni d'une aiguille ou d'un repère pour une lecture convenable de l'angle de retour en arrière. Le levier d'une longueur approximative de 305 mm est muni d'une échelle en millimètres dont l'origine est le centre de l'arc et d'un curseur (4) mobile à arête vive.



Légende

- 1 mâchoire mobile
- 2 mâchoire fixe
- 3 centre du secteur gradué
- 4 curseur
- 5 secteur gradué
- 6 éprouvette
- 7 effet de ressort

Figure 3 – Appareil pour la mesure de l'effet de ressort

4.2.3 Epreuve

Un échantillon de fil d'au moins 1 200 mm de long doit être prélevé de la bobine avec une courbure aussi petite que possible. Le fil doit être redressé à la main et coupé en trois longueurs de 400 mm chacune. Un allongement à l'aide d'un outil ne doit pas être utilisé. Une courbure inutile doit être évitée pour réduire l'écroutissage.

4.2.4 Procédure

La position du curseur sur le levier est déterminée en multipliant le diamètre du conducteur ou son épaisseur par 40. L'éprouvette doit être serrée entre les mâchoires avec une force juste suffisante pour éviter le glissement. L'éprouvette doit être serrée dans une position qui permette la courbure du fil dans la direction qu'il avait sur la bobine. L'extrémité libre de l'éprouvette doit dépasser l'arête vive du curseur de (12 ± 2) mm.

A l'aide du levier partant de la position initiale (le repère 30° en position 1), le fil doit être courbé de 30° (le repère 0° en position 2). Le temps nécessaire doit être compris entre 2 s et 5 s. L'éprouvette doit être maintenue dans cette position pendant pas plus de 2 s, puis déplacée dans l'autre sens à la même vitesse angulaire que lors de la courbure, jusqu'à ce que l'arête vive du curseur ne soit plus au contact de l'éprouvette. Le levier doit être à nouveau déplacé jusqu'à ce que l'arête vive du curseur vienne au contact de l'éprouvette sans la courber. Dans cette position, l'angle de retour en arrière est égal à celui lu sur l'échelle du secteur gradué avec l'aiguille du levier (position 3).

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les trois valeurs individuelles doivent être notées. La moyenne des valeurs est considérée comme l'effet de ressort.

5 Essai 8: Souplesse et adhérence

La souplesse et l'adhérence reflètent la capacité du fil à supporter des étirements, bobinages, courbures ou torsions sans montrer de craquelures ou de perte d'adhérence de l'isolant.

5.1 Essai d'enroulement sur mandrin

5.1.1 Fil de section circulaire

Une longueur de fil droit doit être enroulée de façon à former 10 spires jointives sur un mandrin métallique bien poli dont le diamètre est donné dans la norme appropriée. La vitesse d'enroulement du mandrin doit être de 1 r/s à 3 r/s, la traction exercée sur le fil étant telle que celui-ci soit maintenu en contact avec le mandrin. L'enroulement doit être effectué sans allongement ni torsion. Des équipements appropriés doivent être utilisés.

5.1.1.1 Fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur jusqu'à 1,600 mm inclus

Si la norme appropriée demande un préallongement avant de réaliser l'enroulement, le fil doit être allongé du pourcentage spécifié à l'Article 3. Après enroulement, l'éprouvette doit être examinée avec une loupe en vue de déceler les craquelures éventuelles avec un grossissement donné dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Grossissement pour détecter les craquelures

Diamètre nominal du conducteur mm		Grossissement ^a
A partir de	Jusqu'à et y compris	
–	0,040	10 à 15 fois
0,040	0,500	6 à 10 fois
0,500	1,600	1 à 6 fois
^a Une fois correspond à la vision normale.		

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les craquelures détectées doivent être notées.

5.1.1.2 Fil de section circulaire recouvert d'une enveloppe fibreuse

Après enroulement l'éprouvette doit être examinée en vue de déceler l'apparition du conducteur nu à l'oeil nu ou avec un grossissement maximal de six fois.

Trois éprouvettes doivent être essayées. L'apparition du conducteur nu doit être notée.

5.1.1.3 Fil de section circulaire émaillé recouvert d'une enveloppe fibreuse

Après enroulement, l'éprouvette doit être examinée en vue de déceler l'apparition du conducteur nu ou de l'émail sous-jacent à l'oeil nu ou avec un grossissement maximal de six fois.

Trois éprouvettes doivent être essayées. L'apparition du conducteur nu ou de l'émail sous-jacent doit être notée.

5.1.1.4 Fil de section circulaire recouvert d'un ruban

Après enroulement, l'éprouvette doit être examinée en vue de déceler les craquelures éventuelles ou le pelage à l'oeil nu ou avec un grossissement maximal de six fois.

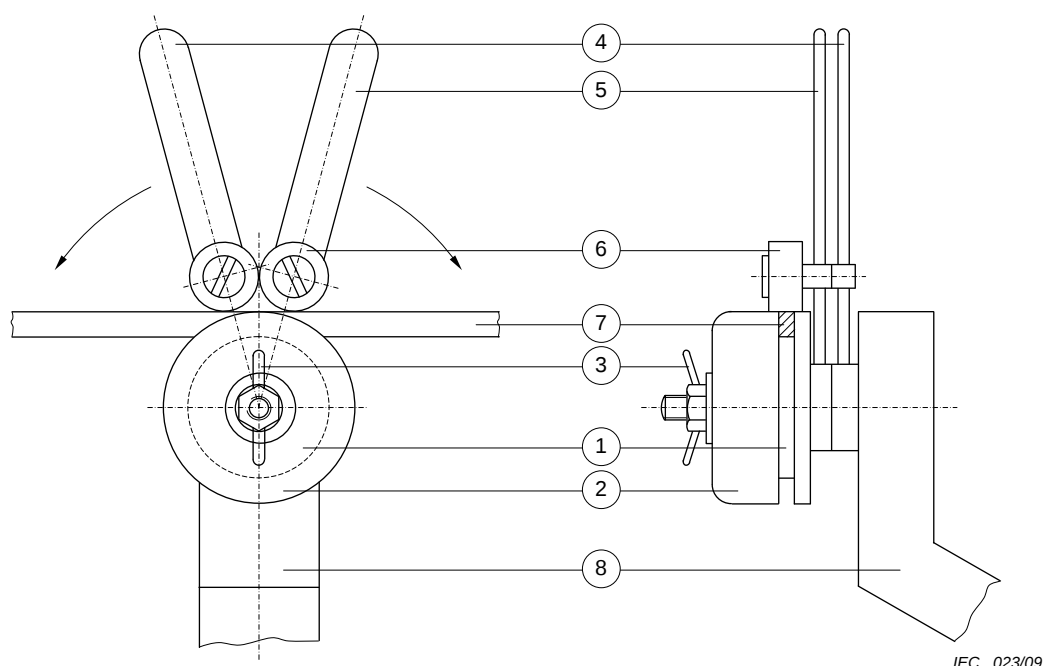
Trois éprouvettes doivent être essayées. L'apparition du conducteur nu ou le pelage doivent être notés.

5.1.2 Fil de section rectangulaire

Une longueur de fil droit de 400 mm environ doit être courbée à 180° sur un mandrin poli dont le diamètre est donné dans la norme appropriée dans deux directions en forme de S allongé. La partie droite entre les deux formes en U doit être d'au moins 150 mm. Il est recommandé d'éviter que l'éprouvette se voile ou prenne une forme irrégulière. La Figure 4 décrit un appareil approprié.

Après courbure, l'isolant doit être examiné sous un grossissement de six à dix en vue de déceler ce qui suit: les craquelures éventuelles dans le cas d'un fil émaillé, l'apparition du conducteur nu ou de l'émail sous-jacent dans le cas d'un fil à enveloppe fibreuse, les craquelures et le pelage dans le cas d'un fil recouvert d'un ruban.

Six éprouvettes doivent être courbées, trois sur plat (sur l'épaisseur), trois sur chant (sur la largeur). Les craquelures détectées, le pelage, l'apparition du conducteur nu ou de l'émail sous-jacent doivent être notés quand le critère s'applique.



Légende

- 1 mandrin
- 2 collier de serrage du mandrin
- 3 écrou
- 4 levier
- 5 levier
- 6 roulement à billes
- 7 éprouvette
- 8 support

Figure 4 – Appareil d'essai d'enroulement sur mandrin

5.1.3 Fil toronné avec enveloppe

Une longueur de fil droit doit être enroulée de façon à former 10 spires continues sur un mandrin poli ayant le diamètre indiqué dans la norme appropriée avec la traction donnée en 3.2.5.3 de la CEI 60851-2. En l'enroulant autour du mandrin, il convient de s'assurer que le fil toronné n'est pas tordu à chaque tour.

Après l'enroulement, l'éprouvette doit être examinée à l'oeil nu en vue de déceler des ouvertures dans l'enveloppe.

Une éprouvette doit être essayée. La non-conformité de la texture de l'enveloppe doit être notée.

5.2 Essai d'étirement (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,600 mm)

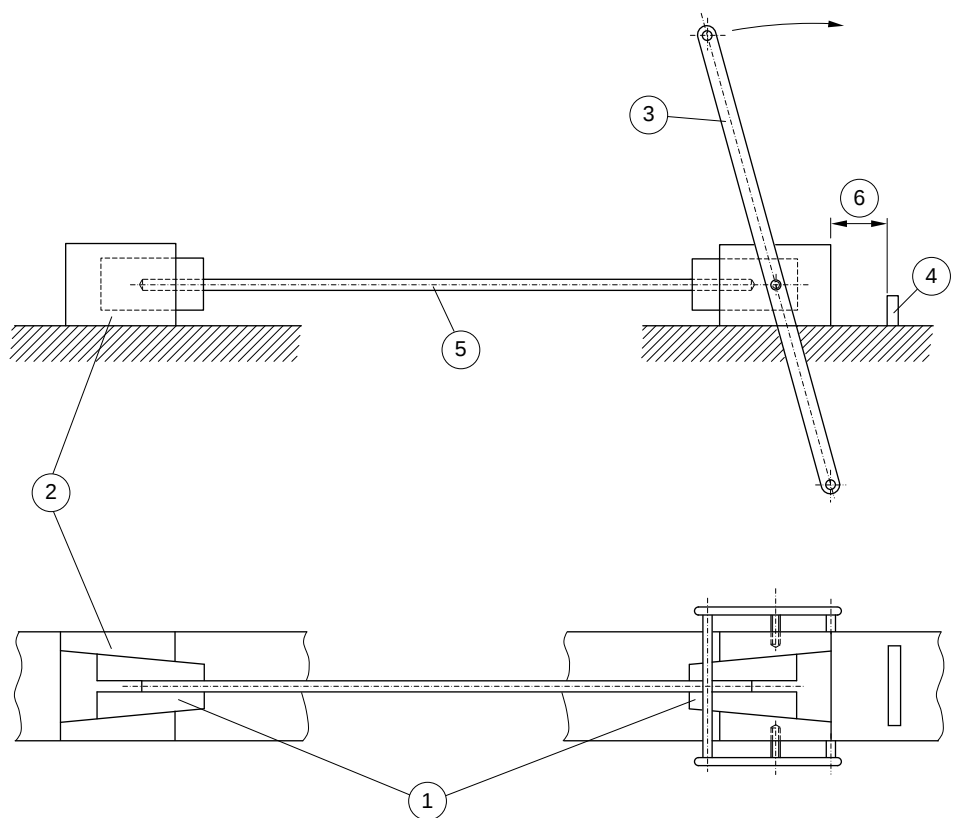
Une longueur de fil droit doit être allongée conformément à l'Article 3 au pourcentage spécifié dans la norme appropriée. Après allongement, l'éprouvette doit être examinée en vue de déceler les craquelures éventuelles ou les pertes d'adhérence à l'oeil nu ou avec un grossissement maximal de six fois.

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les craquelures détectées et/ou la perte d'adhérence doivent être notées.

5.3 Essai de traction brusque (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur jusqu'à et y compris 1,000 mm)

Une longueur de fil droit doit être étirée brusquement à rupture à l'aide de l'appareil d'essai décrit à la Figure 5. Une longueur de mesure libre comprise entre 200 mm et 250 mm doit être fournie. Après étirement, l'éprouvette doit être examinée en vue de déceler les craquelures éventuelles ou les pertes d'adhérence avec un grossissement donné dans le Tableau 2. On ne doit pas tenir compte des parties situées à moins de 2 mm du point de rupture.

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les craquelures détectées et/ou la perte d'adhérence doivent être notées.



IEC 024/09

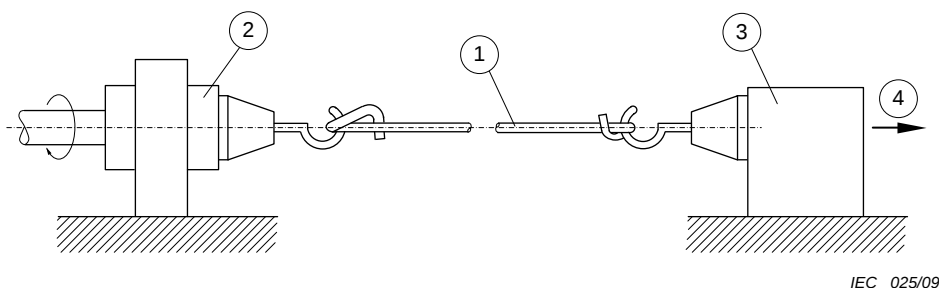
Légende

- 1 coins de serrage (mordaches)
- 2 partie fixe des mâchoires
- 3 bras de levier
- 4 arrêtoir réglable
- 5 éprouvette
- 6 allongement spécifié

Figure 5 – Appareil pour l'essai de traction brusque

5.4 Essai de pelage (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,000 mm)

Une longueur de fil droit doit être placée dans l'appareil d'essai décrit à la Figure 6 consistant en deux dispositifs de fixation distants de 500 mm sur le même axe. L'un des dispositifs peut tourner. L'autre ne peut tourner mais peut se déplacer suivant l'axe; ce deuxième dispositif est chargé selon le Tableau 3 pour appliquer une traction au fil lorsque ce dernier tourne.



Légende

- 1 éprouvette
- 2 mordache tournante
- 3 mordache fixe
- 4 charge

Figure 6 – Appareil pour l'essai de pelage

Tableau 3 – Charge pour l'essai de pelage

Diamètre nominal du conducteur mm		Charge N
A partir de	Jusqu'à et y compris	
1,000	1,400	25
1,400	1,800	40
1,800	2,240	60
2,240	2,800	100
2,800	3,550	160
3,550	4,500	250
4,500	5,000	400

Au moyen d'un racloir comme celui de la Figure 7, le revêtement doit être enlevé sur deux génératrices opposées du fil jusqu'au conducteur nu comme indiqué à la Figure 8. La pression du racloir doit être suffisante pour enlever le revêtement et donner une surface propre et lisse à la limite revêtement/conducteur sans enlever une quantité appréciable de matériau conducteur. L'enlèvement du revêtement doit commencer à environ 10 mm de chacun des dispositifs de fixation. Le dispositif de fixation tournant doit être actionné à une vitesse comprise entre 60 r/min et 100 r/min jusqu'à ce que le nombre de tours R atteigne la valeur spécifiée dans la norme appropriée.

Après pelage et rotation, l'éprouvette doit être examinée en vue de détecter une perte d'adhérence. Le revêtement qui peut être enlevé du fil sans difficulté (par exemple avec l'ongle du pouce) doit être considéré comme ayant perdu son adhérence même s'il ne s'est pas complètement détaché du fil.

Une éprouvette doit être essayée. Une perte d'adhérence doit être notée.

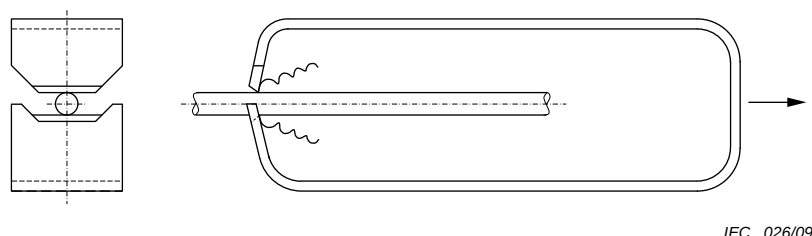


Figure 7 – Racloir

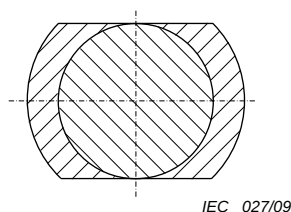


Figure 8 – Section droite du fil dont on a retiré l'émail

5.5 Essai d'adhérence

Une longueur de fil droit de 300 mm environ doit être allongée conformément à l'Article 3 du pourcentage spécifiée dans la norme appropriée.

5.5.1 Fil de section rectangulaire émaillé

Le revêtement doit être coupé selon le périmètre d'une section droite, sensiblement au milieu de la longueur mesurée qui sera soumise à l'allongement. Après allongement, l'éprouvette doit être examinée quant à la perte d'adhérence sur le conducteur.

Une éprouvette doit être essayée. Si une perte d'adhérence, mesurée longitudinalement à partir de l'incision, est observée, elle doit être notée. La longueur de la perte d'adhérence doit être mesurée dans une seule direction à partir de l'incision. La valeur maximale relevée doit être notée après l'examen de tous les côtés de l'éprouvette.

5.5.2 Fil de section circulaire ou rectangulaire recouvert d'une enveloppe fibreuse imprégnée

L'isolant doit être retiré de toute la longueur du fil qui sera soumise à l'allongement à l'exception de la partie centrale de 100 mm. Après allongement, l'éprouvette doit être examinée quant à la perte d'adhérence sur le conducteur.

Une éprouvette doit être essayée. La perte d'adhérence observée par le glissement de l'isolant le long du conducteur dans le cas des fils de section circulaire, ou par le décollement dans le cas des fils de section rectangulaire, doit être notée.

5.5.3 Fil de section circulaire ou rectangulaire émaillé recouvert d'une enveloppe fibreuse

Le revêtement doit être coupé selon le périmètre d'une section droite en deux points espacés de 100 mm dans la partie centrale du conducteur qui sera soumise à l'allongement. Après allongement, l'éprouvette doit être examinée quant à la perte d'adhérence sur le conducteur.

Une éprouvette doit être essayée. La perte d'adhérence observée doit être notée.

5.5.4 Fil de section circulaire ou rectangulaire recouvert d'un ruban (uniquement pour ruban adhésif)

Le revêtement doit être coupé selon le périmètre d'une section droite sensiblement au milieu de la longueur mesurée qui sera soumise à l'allongement. Après allongement, l'éprouvette doit être examinée quant à la perte d'adhérence sur le conducteur.

6 Essai 11: Résistance à l'abrasion (applicable au fil de section circulaire émaillé)

La résistance à l'abrasion est la force maximale que peut supporter un revêtement quand une aiguille racle le fil avec une force progressivement croissante.

6.1 Principe

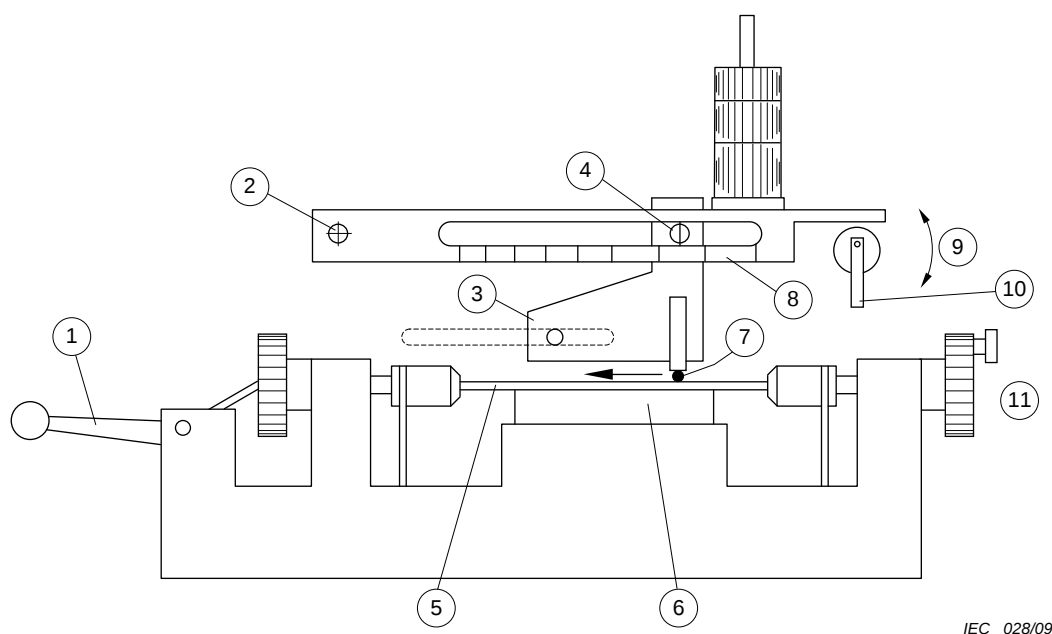
Une longueur de fil droit est soumise à un essai d'abrasion unidirectionnelle au moyen d'une aiguille sur laquelle on applique une charge progressivement croissante et qui racle la surface du fil. La charge qui provoque un court-circuit électrique entre l'aiguille et le conducteur est appelée «charge de rupture».

6.2 Equipement

La Figure 9 décrit une machine d'essai qui doit être utilisée. Cette machine doit être équipée d'un mécanisme ayant une action abrasive dans une seule direction à raison de (400 ± 40) mm/min. Le dispositif d'abrasion doit être constitué d'une corde à piano polie ou d'une aiguille de $(0,23 \pm 0,01)$ mm de diamètre placée entre deux mors qui maintiennent la corde à piano ou l'aiguille de façon rigide sans déformation ou courbure et à angle droit de la direction du mouvement. L'abrasion doit se faire dans la direction de l'axe du fil à essayer. Pour placer l'éprouvette, l'équipement doit comprendre deux mors sur l'enclume-support qui est abaissée quand un fil est mis en place dans les mors, et redressée.

L'équipement doit comprendre une alimentation en courant continu de $(6,5 \pm 0,5)$ V à appliquer entre le conducteur et la corde à piano ou l'aiguille. Le courant de court-circuit doit être limité à 20 mA, par exemple au moyen d'une résistance en série ou d'un relais. Le circuit doit être conçu de façon à détecter le court-circuit et à arrêter l'appareil quand la corde à piano ou l'aiguille est en contact avec le conducteur du fil sur environ 3 mm.

L'appareil doit comporter sur la partie inférieure du fléau une échelle graduée qui indique le facteur par lequel la charge initiale appliquée à la corde à piano ou à l'aiguille doit être multipliée pour donner la charge de rupture.



IEC 028/09

Le dispositif d'abrasion chargé augmente la charge sur le fil en se déplaçant de droite à gauche

Legende

- 1 manchon pour redresser l'éprouvette
- 2 point fixe du pivot
- 3 dispositif d'abrasion chargé
- 4 index
- 5 éprouvette
- 6 enclume à hauteur réglable pour des fils de diamètres différents
- 7 corde à piano
- 8 échelle indiquant le facteur de multiplication
- 9 arrêt/mise en marche
- 10 levier de mise en marche
- 11 bague indexée par palier de 120°

Figure 9 – Appareil pour l'essai d'abrasion unidirectionnelle

6.3 Procédure

Une longueur de fil droit doit être essuyée, placée dans l'appareil et redressée par un allongement maximal de 1 %. L'éprouvette doit alors être fixée par les mors, et l'enclume-support est amenée au contact de l'éprouvette. La charge initiale appliquée au dispositif d'abrasion doit être inférieure à 90 % de la charge minimale de rupture spécifiée dans la norme appropriée. La charge appliquée doit être telle que le conducteur soit mis à nu à une distance comprise entre 150 mm et 200 mm du point fixe du pivot. Le dispositif d'abrasion chargé doit être appliqué lentement sur la surface du fil puis l'action d'abrasion commence.

La valeur à laquelle l'appareil s'arrête est lue sur l'échelle graduée située à la partie inférieure du fléau. Le produit de cette valeur par la charge initiale appliquée doit être noté.

L'essai doit être répété deux fois sur la même éprouvette en faisant tourner le fil autour de son axe de 120° et 240° par rapport à la position initiale; les mêmes informations doivent être notées.

Une éprouvette doit être essayée. Les trois valeurs individuelles doivent être notées. La moyenne des valeurs est considérée comme la charge de rupture moyenne.

7 Essai 18: Thermo-adhérence (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal de conducteur supérieur à 0,050 mm jusqu'à 2,000 mm inclus)

La thermo-adhérence est l'aptitude des spires d'un bobinage à se coller ensemble sous l'influence de la chaleur.

7.1 Collage résiduel vertical d'un bobinage hélicoïdal

Le collage résiduel vertical d'un bobinage hélicoïdal est l'aptitude qu'a un bobinage collé de conserver son intégrité quand une charge est appliquée à son extrémité inférieure.

7.1.1 Diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,050 mm inclus

La méthode d'essai fera l'objet d'un accord entre acheteur et fournisseur.

7.1.2 Diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,050 mm jusqu'à 2,000 mm inclus

7.1.2.1 Principe

Les spires d'un bobinage hélicoïdal de fil bobiné sur un mandrin sont mises sous pression à l'aide d'une charge et ensuite collées sous l'influence de la chaleur ou de solvant. Après collage, l'éprouvette est retirée du mandrin et suspendue en position verticale. Une charge est appliquée à l'extrémité inférieure pour vérifier si l'éprouvette supporte ou non la charge. Cette procédure est répétée à température élevée.

7.1.2.2 Eprouvette

Une longueur de fil droit doit être bobinée sur un mandrin poli¹ de diamètre donné dans le Tableau 4. Le bobinage doit avoir au minimum une longueur de 20 mm. La vitesse d'enroulement du mandrin doit être comprise entre 1 r/s et 3 r/s; la traction du bobinage ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tableau 4. Les extrémités du fil ne doivent pas être attachées de façon à permettre au bobinage de se détendre librement. Le bobinage toujours enroulé sur le mandrin doit être placé verticalement comme indiqué à la Figure 10a et avec une charge spécifiée dans le Tableau 4. La charge ne doit pas adhérer au mandrin et on doit maintenir un espace entre la charge et le mandrin. L'ensemble doit être alors placé dans une étuve électrique à ventilation forcée à la température prescrite dans la norme appropriée pendant une durée de

- 30 min pour les fils de diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,710 mm inclus;
- 1 h pour les fils de diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,710 mm jusqu'à 2,000 mm inclus, sauf autre accord entre acheteur et fournisseur.

Après refroidissement à température ambiante, le bobinage doit être retiré du mandrin.

7.1.2.3 Procédure à température ambiante

Une éprouvette doit être suspendue par l'une de ses extrémités (voir Figure 10b) et chargée comme exigé dans la norme appropriée. Tout choc supplémentaire doit être évité lorsqu'on applique la charge.

Trois éprouvettes doivent être essayées. On doit noter si des spires, autres que la première et la dernière, sont séparées. On doit noter la température à laquelle le collage est réalisé.

¹ Un mandrin d'acier convient aux fils les plus gros. Pour les fils les plus fins, des mandrins en cuivre peuvent faciliter le retrait du bobinage sur le mandrin en étirant le mandrin pour en réduire le diamètre.

7.1.2.4 Procédure à température élevée

Une éprouvette doit être suspendue par l'une de ses extrémités (voir Figure 10b) et chargée comme spécifié dans le Tableau 5. Tout choc supplémentaire doit être évité lorsqu'on applique la charge. L'éprouvette avec sa charge doit être placée pendant 15 min dans une étuve à ventilation forcée à la température spécifiée dans la norme appropriée.

Trois éprouvettes doivent être essayées. On doit noter si des spires autres que la première et la dernière sont séparées. On doit noter la température à laquelle a été réalisé le collage.

Tableau 4 – Préparation des bobinages hélicoïdaux

Diamètre nominal du conducteur mm		Diamètre du mandrin	Traction maximale de bobinage	Charge appliquée au bobinage pendant le collage
A partir de	Jusqu'à et y compris	mm	N	N
0,050	0,071	1	0,05	0,05
0,071	0,100	1	0,05	0,05
0,100	0,160	1	0,12	0,15
0,160	0,200	1	0,30	0,25
0,200	0,315	2	0,80	0,35
0,315	0,400	3	0,80	0,50
0,400	0,500	4	2,00	0,75
0,500	0,630	5	2,00	1,25
0,630	0,710	6	5,00	1,75
0,710	0,800	7	5,00	2,00
0,800	0,900	8	5,00	2,50
0,900	1,000	9	5,00	3,25
1,000	1,120	10	12,00	4,00
1,120	1,250	11	12,00	4,50
1,250	1,400	12	12,00	5,50
1,400	1,600	14	12,00	6,50
1,600	1,800	16	30,00	8,00
1,800	2,000	18	30,00	10,00

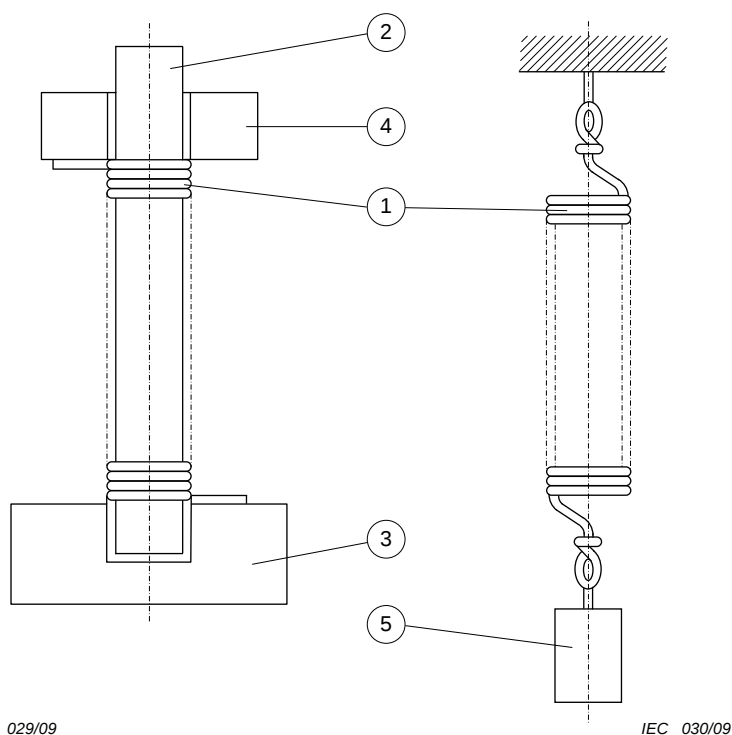


Figure 10a

Figure 10b

Légende

- 1 bobinage
- 2 mandrin
- 3 support de mandrin
- 4 poids
- 5 charge de séparation

Figure 10 – Dispositifs pour l'essai de thermo-adhérence d'un bobinage hélicoïdal

Tableau 5 – Collage résiduel à température élevée

Diamètre nominal du conducteur mm		Charge		Diamètre nominal du conducteur mm		Charge
A partir de	Jusqu'à et y compris	N		A partir de	Jusqu'à et y compris	N
0,050	0,071	0,04		0,800	0,900	2,60
0,071	0,100	0,06		0,900	1,000	3,20
0,100	0,160	0,09		1,000	1,120	3,80
0,160	0,200	0,19		1,120	1,250	4,40
0,200	0,315	0,25		1,250	1,400	4,90
0,315	0,400	0,55		1,400	1,600	6,40
0,400	0,500	0,80		1,600	1,800	7,90
0,500	0,630	1,20		1,800	2,000	7,90
0,630	0,710	1,70				
0,710	0,800	2,10				

7.2 Force de collage d'un bobinage torsadé

La force de collage est la force maximale nécessaire pour briser un bobinage torsadé.

7.2.1 Principe

Un bobinage en vrac est réalisé avec le fil. Il est de forme ovale, torsadé et collé par l'application d'un courant continu. Cette éprouvette a la forme d'une tige qui est essayée sur une machine d'essai de traction. L'essai est réalisé en position horizontale de façon à obtenir la force de déviation maximale nécessaire à la rupture de la tige. Cet essai doit être répété à température élevée.

NOTE Cet essai est semblable à la méthode A (essai de bobinage torsadé) donnée en 2.1 de la CEI 61033, et est fondé sur le même principe. Il est différent de la méthode A de la CEI 61033 par les conditions de torsion et de collage de l'éprouvette et par la dimension du fil; la méthode A de la CEI 61033 spécifie que le diamètre nominal du conducteur du fil utilisé doit être de 0,315 mm.

7.2.2 Equipement

L'équipement suivant doit être utilisé:

- un appareil à bobiner conforme aux Figures 11a et 11b;
- un appareil de torsion conforme à la Figure 13;
- un appareil d'essai de traction conforme à l'ISO 178 avec un support conforme à la Figure 13;
- un transformateur de courant continu fournissant un courant de sortie constant d'une capacité minimale de 50 V et 15 A;
- associé à l'appareil d'essai de traction, une étuve à ventilation forcée qui doit maintenir la température d'essai dans les limites de ± 2 °C et qui doit permettre le chauffage simultané d'au moins cinq éprouvettes à la température d'essai, en 5 min à 10 min.

7.2.3 Eprouvette

Un bobinage en vrac doit être réalisé avec le fil en utilisant l'appareil à bobiner conformément aux Figures 11a et 11b. Le nombre de spires doit être calculé comme suit:

$$N = \frac{100 \times 0,315^2}{d^2}$$

où d est le diamètre nominal du conducteur du fil à essayer.

NOTE Pour un diamètre nominal de conducteur de $d = 0,315$ mm, N est égal à 100 spires. Pour les autres valeurs de d , l'équation ci-dessus donne un nombre N qui donne la même section totale de conducteur que pour $N = 100$ et $d = 0,315$ mm.

Pour éviter l'ouverture du bobinage après l'avoir retiré de l'appareil à bobiner, chaque extrémité du fil (ou de petits morceaux de fil émaillé) doit être enroulé autour du bobinage deux ou trois fois en directions opposées. Dans ce but, l'appareil à bobiner possède des encoches (voir Figure 11b).

Les dimensions suivantes doivent être utilisées pour le bobinage:

- diamètre d'enroulement: $(57 \pm 0,1)$ mm;
- largeur de la rainure: $(5 \pm 0,5)$ mm.

Après avoir été retiré de l'appareil à bobiner, le bobinage doit être formé en ovale (voir Figure 12) puis torsadé sur l'appareil à torsader dans son axe longitudinal conformément à la Figure 13. Ce dispositif permet d'appliquer une charge mécanique au bobinage pendant qu'il est torsadé et ensuite collé. Cette charge doit être de 100 N. Le bobinage doit être torsadé de deux tours et demi avec retour en arrière de un demi-tour. Pendant que la charge mécanique est maintenue sur l'appareil à torsader, l'éprouvette doit être collée par l'application d'un courant continu au fil. Le courant doit être choisi de façon que le collage de l'éprouvette se fasse entre 30 s et 60 s.

NOTE L'utilisation du courant continu permet de déterminer facilement la température moyenne de l'éprouvette à la fin de la période de chauffage (voir Annexe A).

L'éprouvette est une tige d'environ 7 mm de diamètre et de 85 mm à 90 mm de long.

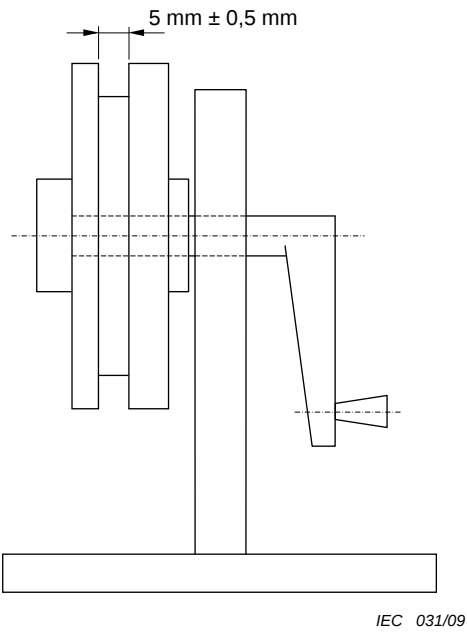


Figure 11a – Dispositif de bobinage

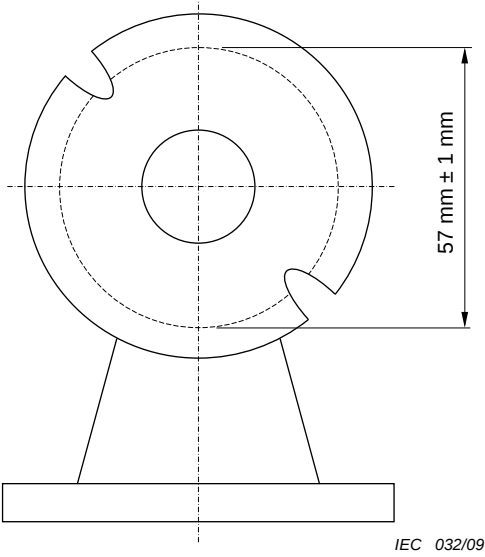
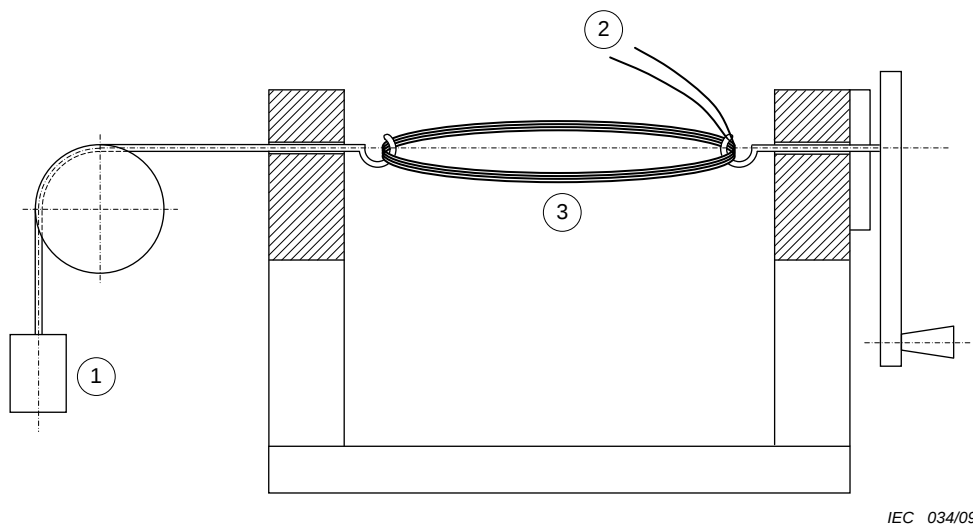


Figure 11b – Dispositif de bobinage, vue de face

Figure 11 – Dispositif de bobinage



Figure 12 – Bobine de forme ovale



Légende

- 1 charge 100 N
- 2 courant continu
- 3 bobinage torsadé

Figure 13 – Dispositif de torsion avec une charge appliquée au bobinage torsadé

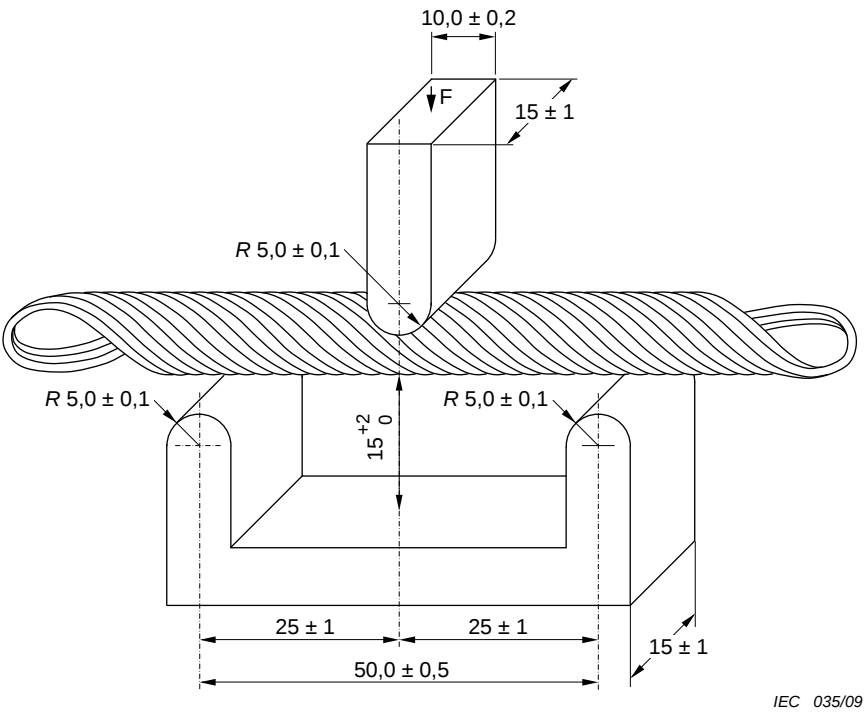
7.2.4 Procédure

Le bobinage torsadé est correctement placé sur le support conformément à la Figure 14; la force de collage de l'éprouvette doit alors être déterminée en réglant la vitesse de la tête d'appui transversal de façon que la force de déviation maximale soit obtenue après 1 min environ.

Pour les mesures à température élevée, l'éprouvette doit être placée dans une étuve préchauffée à la température spécifiée. L'éprouvette doit être contrôlée après avoir atteint la température de l'étuve sans que la durée dans l'étuve dépasse 15 min.

7.2.5 Résultats

Pour chaque température, cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles pour chaque température doivent être notées. La moyenne des valeurs représente la force de collage. Le diamètre nominal du conducteur, le nombre de spires du bobinage, les conditions de collage du bobinage torsadé doivent aussi être notées.



IEC 035/09

Dimensions en millimètres

Figure 14 – Disposition des supports

Annexe A (informative)

Force de collage des fils thermo-adhérents

A.1 Calcul de la température d'un bobinage torsadé

Méthode

Pendant le chauffage d'un bobinage torsadé à l'aide d'un courant continu, la température moyenne du bobinage peut être calculée à partir de sa résistance en courant continu, qui est le rapport de la tension sur le courant constant appliqué. Ces rapports peuvent être déterminés au début et à la fin du temps de chauffage et permettent de calculer la température à la fin de ce temps.

Coefficient de température

Pour les calculs suivants, le coefficient de température du cuivre de $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$ est utilisé.

Calcul

Avec ce coefficient de température, la résistance de l'éprouvette à la fin du temps de chauffage se calcule à partir de l'équation suivante:

$$R_{T_t} = R_{T_0} + \alpha R_{T_0} \times (T_t - T_0)$$

où

R_{T_0} est la résistance du début (à température ambiante);

T_t est la température à la fin du temps de chauffage;

T_0 est la température au début du temps de chauffage (T_0 est normalement identique à la température ambiante, c'est-à-dire 23 °C).

L'indice t représente la fin du temps de chauffage.

Si le courant est constant, l'équation suivante s'applique:

$$\frac{R_{T_t}}{R_{T_0}} = \frac{U_t}{U_0}$$

où

U_t est la tension à la fin du temps de chauffage;

U_0 est la tension au début du temps de chauffage.

Cela donne une température à la fin du temps de chauffage de

$$T_t = T_0 + \left[250 \times \left(\frac{U_t}{U_0} - 1 \right) \right] \text{ en } ^\circ\text{C}$$

A.2 Détermination du temps de chauffage

Courbes tension-temps

Pendant le chauffage du bobinage torsadé à courant constant, la résistance électrique augmente avec la température. Pour maintenir le courant, la tension de sortie du transformateur à courant constant s'accroît en conséquence. Cela permet de représenter sous forme de courbe la tension continue de sortie en fonction du temps et donne le temps t de la durée du chauffage. Des courbes différentes peuvent être établies pour les différents courants et réunies sur le même diagramme.

Tension à la température maximale

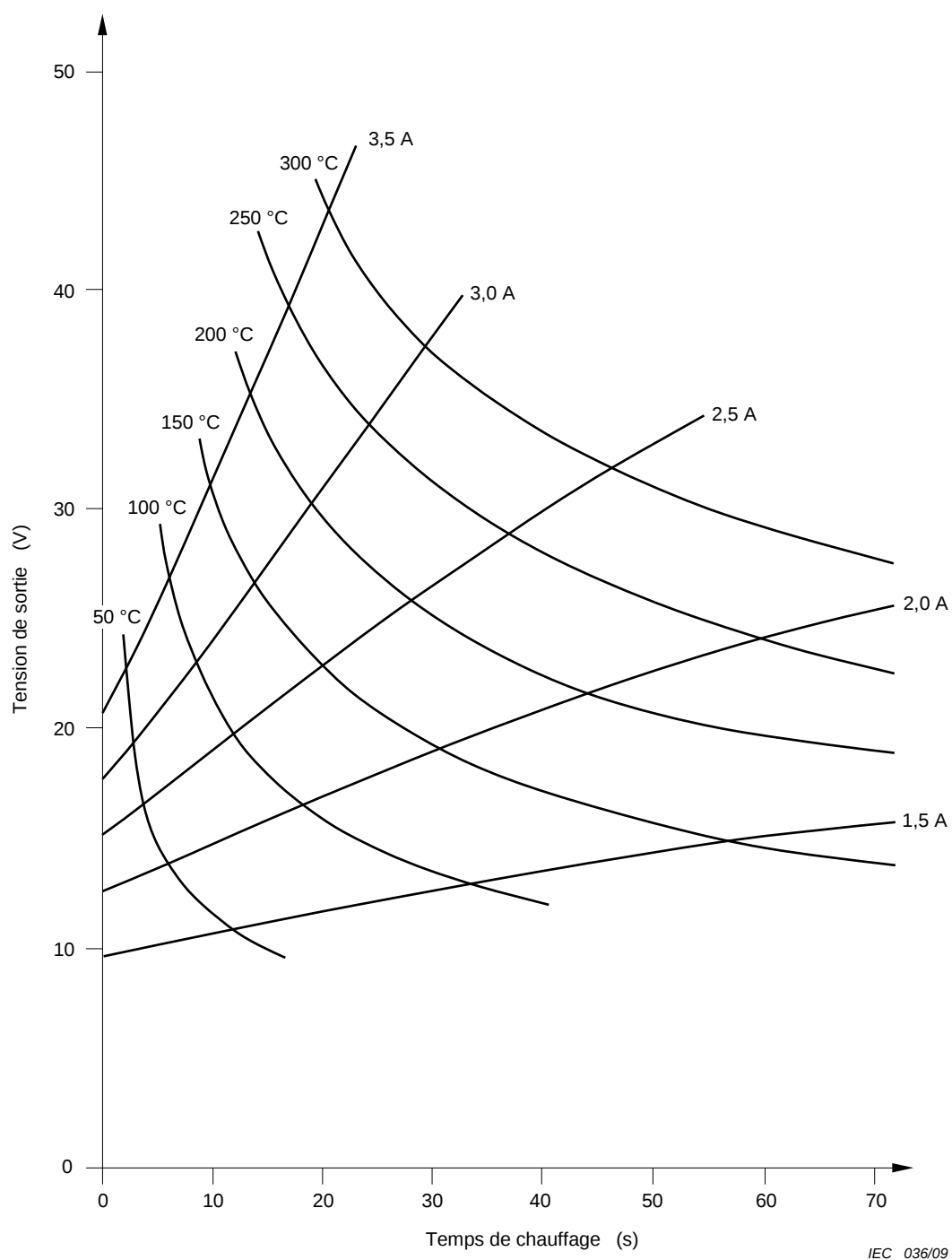
Pour un cas particulier, on peut souhaiter coller l'éprouvette à une certaine température sans la dépasser. Si cette température maximale est définie, la dernière équation donnée en A.1 permet de calculer la tension exigée pour atteindre cette température avec un courant de chauffage particulier:

$$U_t = U_0 + 0,004 \times (T_t - T_0) U_0$$

Le point d'intersection de la courbe tension-temps avec l'axe des Y correspond à la valeur de U_0 . Avec cette lecture, la dernière équation permet de calculer la tension pour atteindre la température de l'éprouvette à la fin du temps de chauffage. La valeur correspondante de l'axe des X donne la durée de la période de chauffage requise pour atteindre la température T_t .

Si le même calcul est fait avec toutes les courbes tension-temps pour une même température T_t , les valeurs correspondantes peuvent être reliées en une courbe isotherme qui coupe les courbes tension-temps. Si le calcul est répété pour différentes températures, il donne un diagramme final qui est très utile pour choisir facilement un couple de valeurs pour le courant de chauffage en Ampères et sa durée en secondes pour porter l'éprouvette à la température choisie T_t .

Les Figures A.1 à A.4 donnent des exemples de tels diagrammes qui concernent les dimensions 0,300 mm, 0,315 mm, 0,355 mm et 0,500 mm respectivement.



IEC 036/09

Figure A.1 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,300 mm

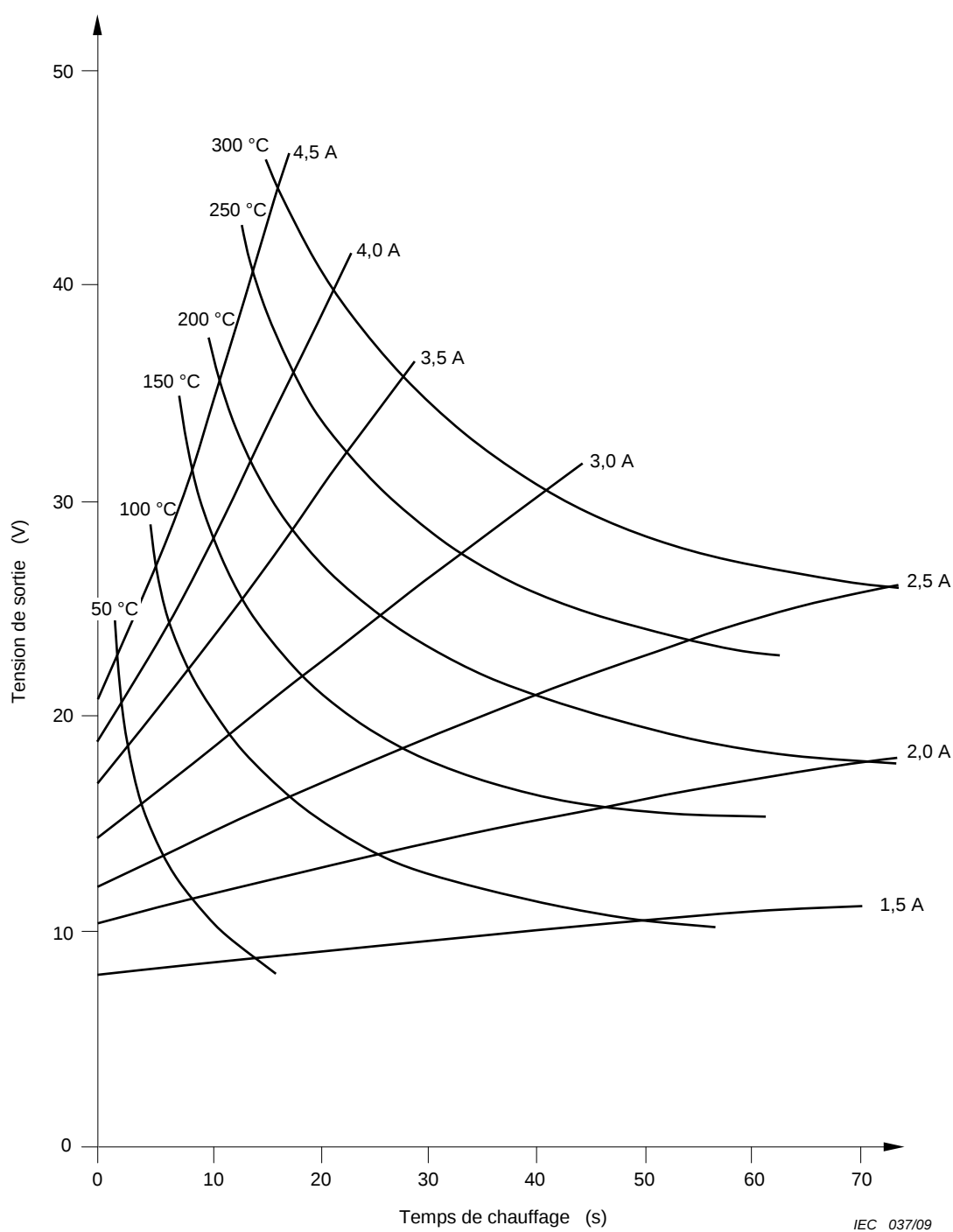


Figure A.2 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,315 mm

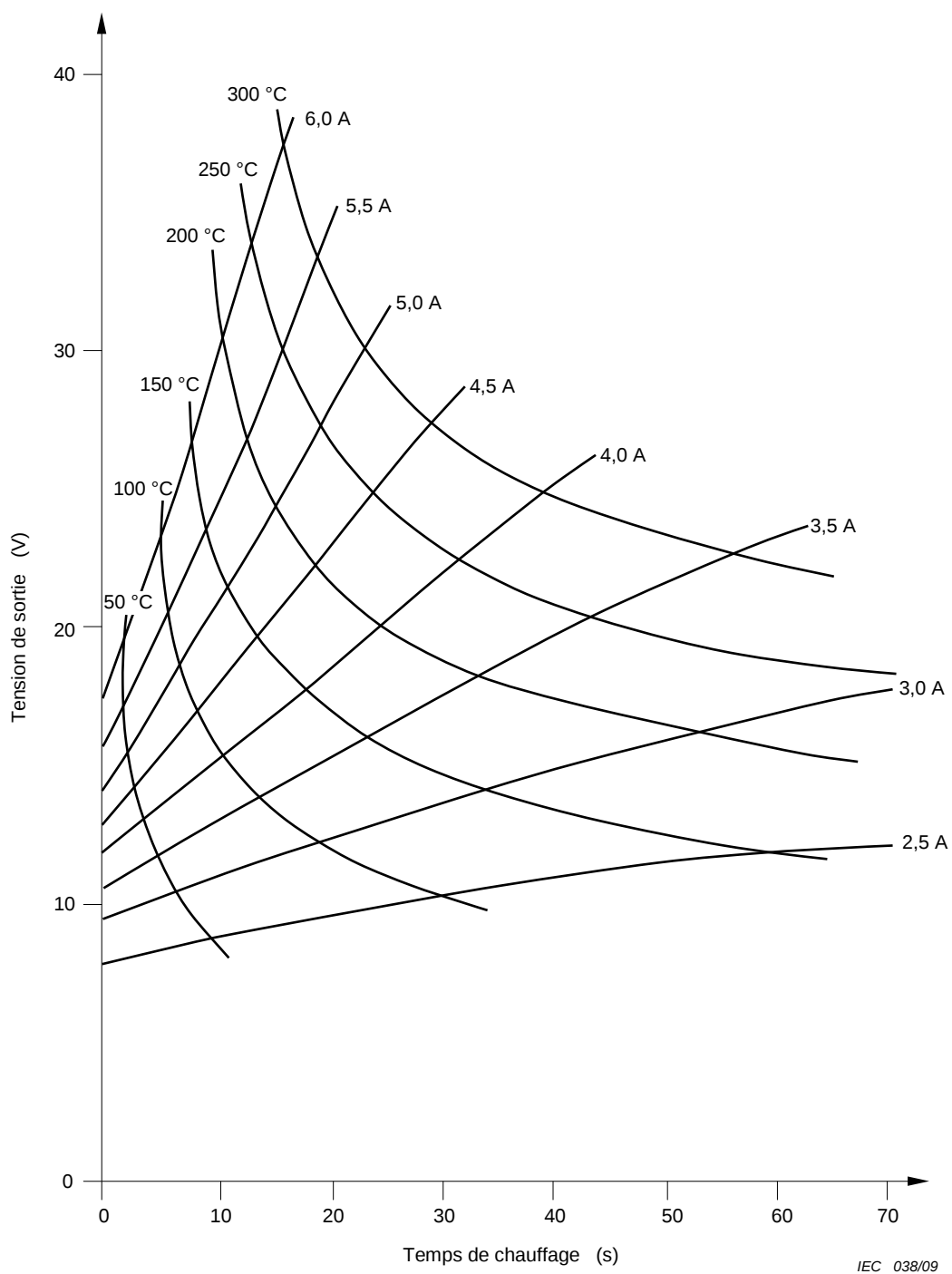
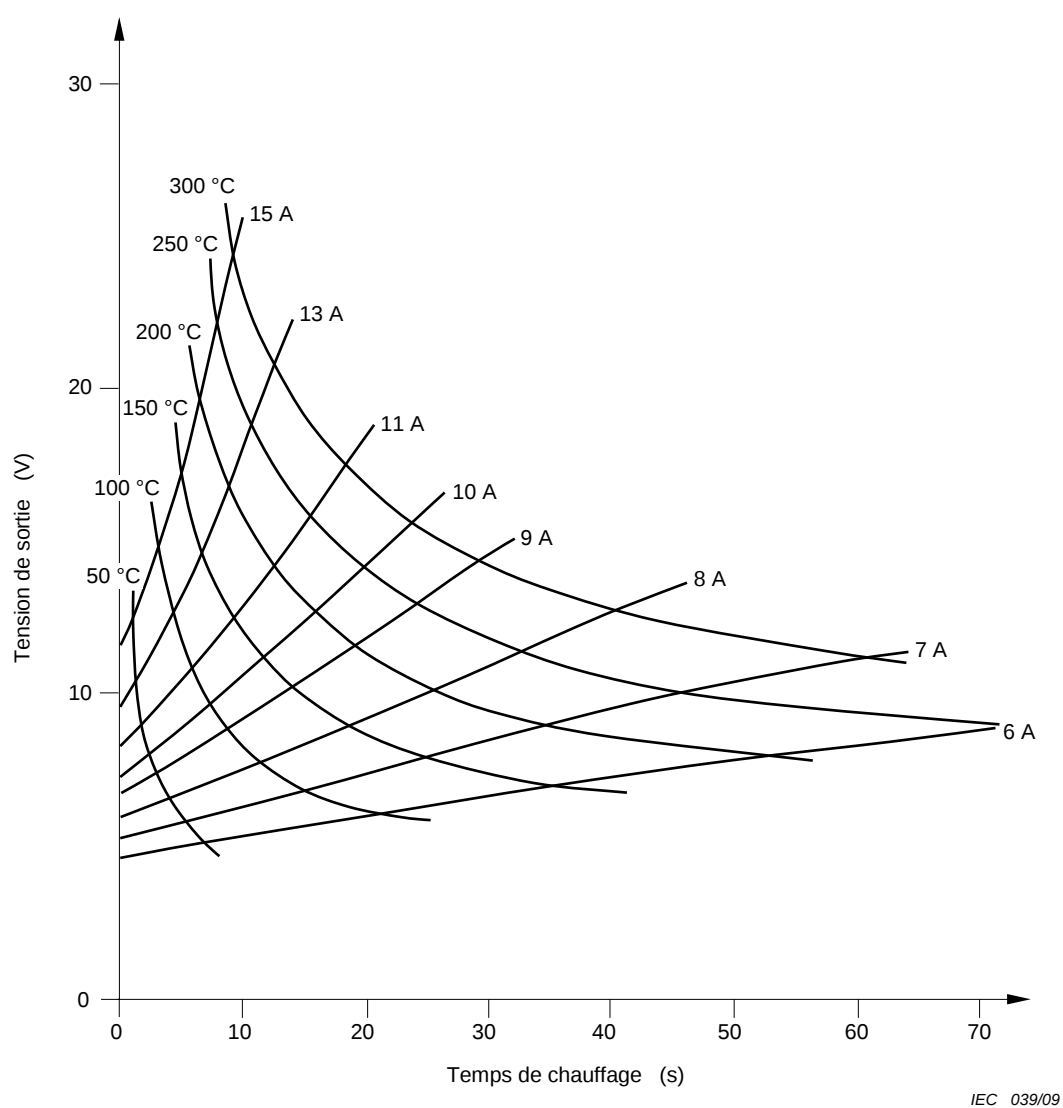


Figure A.3 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,355 mm



IEC 039/09

Figure A.4 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,500 mm

Annexe B (informative)

Méthodes d'essai de frottement

B.1 Généralités

La présente annexe donne aux utilisateurs et aux fournisseurs des recommandations relatives aux méthodes d'essai pour le frottement à utiliser pour les fils de bobinage. **L'utilisation de méthodes supplémentaires peut faire l'objet d'un accord entre acheteur et fournisseur.**

B.2 Essai A: Méthode d'essai statique du coefficient de frottement

B.2.1 Méthode d'essai (applicable aux fils émaillés de section circulaire de diamètre nominal du conducteur à partir de 0,050 mm jusqu'à 1,600 mm inclus).

Le coefficient de frottement statique (μ_s) est déterminé par la mesure de l'angle d'inclinaison (α) d'un plan au moment où un bloc commence à glisser sur une piste faite par l'éprouvette de fil. L'éprouvette de fil doit être retirée de la bobine de livraison par dévidage par le dessus de la joue. Les couches supérieures de la bobine doivent être retirées avant l'essai quand la surface du fil est sale ou poussiéreuse. Une partie de l'éprouvette de fil est redressée et fixée sur le plan incliné au moyen de deux guides et de deux attaches, elle constitue la piste de glissement. L'autre partie de l'éprouvette de fil est montée de la même façon sur le bloc glissant.

Le bloc glissant avec l'éprouvette de fil est alors placé sur la piste de glissement de façon que le fil du bloc et celui du plan se croisent à angle droit aux points de contact.

Le plan est alors incliné lentement (1 °/s environ) jusqu'à ce que le bloc commence à glisser sur la piste vers le bas. A ce moment l'angle d'inclinaison (α) est lu sur l'échelle.

Le coefficient de frottement statique est calculé comme suit:

$$\mu_s = \tan \alpha$$

B.2.2 Appareil d'essai

La Figure B.1 donne un croquis de l'appareil d'essai.

L'appareil comprend un plan (1) qui peut être incliné d'un angle (α) par rotation autour de l'axe (8). Le support (9) porte l'échelle (7) qui indique l'angle d'inclinaison (α) ou le coefficient de frottement ($\tan \alpha$).

Le plan comporte les moyens de fixation de l'éprouvette de fil (3), par exemple les deux guides (5) et les deux attaches (6). Les parties de fil parallèles doivent être séparées de 110 mm. Elles forment une piste de glissement allant de l'extrémité de l'échelle jusqu'à l'axe du plan.

Le bloc (2) est pourvu de guides et d'attaches pour fixer l'autre partie du fil (4). Les parties parallèles de l'éprouvette doivent être séparées de 60 mm. La dimension du bloc doit être telle que les guides et attaches soient loin du plan (1) pour éviter tout frottement additionnel. Le bloc doit avoir

- une masse d'environ 50 g pour un fil de diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,150 mm inclus;
- une masse d'environ 500 g pour un fil de diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,150 mm.

La masse n'est pas critique étant de toute façon modifiée par la masse de l'autre partie du fil.

L'angle d'inclinaison est commandé par un équipement motorisé et doit varier lentement.

B.3 Essai B: Première méthode d'essai dynamique du coefficient de frottement

B.3.1 Principe

Le coefficient de frottement μ_d est déterminé en mesurant la force de frottement C exercée sur le fil en cours de défilement sous l'action d'une masse connue E . Il est donné par la formule suivante:

$$\mu_d = \frac{C}{9,81 \times E}$$

B.3.2 Méthode d'essai

La Figure B.2 donne un croquis de l'appareil d'essai.

Le fil émaillé passe par une poulie de guidage et dans un frein (D) puis sur une plaque métallique (B). Au moyen d'une autre poulie de guidage, le fil revient au-dessous de la plaque (B) puis à nouveau au-dessus de la plaque parallèlement au premier passage (voir Figure B.2). Le fil est tiré à l'aide du cabestan (A) à la vitesse de 0,25 m/s. Une masse (E), reliée à un indicateur de force (C), est placée sur le fil en cours de défilement à l'aplomb de la plaque (B).

L'indicateur de force peut être relié à un enregistreur graphique (gamme de mesure 1 mV - 250 mV). Cet enregistreur montre les variations du poli et le niveau du glissement sur une grande longueur.

B.4 Essai C: Deuxième méthode d'essai dynamique du coefficient de frottement (applicable aux fils émaillés de section circulaire d'un diamètre nominal du conducteur à partir de 0,050 mm jusqu'à 1,600 mm inclus)

~~B.4.1 Méthode d'essai (applicable aux fils émaillés de section circulaire d'un diamètre nominal du conducteur à partir de 0,050 mm jusqu'à 1,600 mm inclus)~~

~~L'éprouvette de fil est tirée sous une charge d'essai. La force créée entre la surface du fil et la surface de contact de la charge d'essai est transférée sur un appareil de mesure approprié. Le coefficient de frottement dynamique (μ_d) est égal à la lecture en Newtons divisée par la charge en Newtons.~~

~~L'éprouvette de fil à essayer doit être retirée de la bobine ou du fût de livraison, par dévidage par le dessus. Les couches supérieures de la bobine doivent être retirées avant l'essai quand la surface du fil est sale ou poussiéreuse.~~

~~Selon la Figure B.4, mettre à l'horizontale la surface lisse (6) en utilisant les pieds réglables (2) et le niveau à bulle (8).~~

~~Ajuster la sensibilité du transducteur électronique de la force (5) (Figure B.4) à la gamme appropriée ainsi que l'enregistreur graphique à pleine échelle en utilisant un poids étalon (9)~~

~~(Figure B.3) correspondant à la dimension du fil à essayer. Il convient que le poids étalon soit retiré après ajustement du transducteur et de l'enregistreur graphique.~~

~~Si un dynamomètre mécanique (5) est utilisé (Figure B.4), choisir la gamme conforme à la dimension du fil à essayer.~~

- ~~— Diamètre nominal du conducteur à partir de 0,050 mm jusqu'à 0,125 mm inclus: 0 N — 0,49 N.~~
- ~~— Diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,125 mm jusqu'à 1,600 mm inclus: 0 N — 1,96 N.~~

~~Nettoyer les surfaces de saphir placées sur la charge d'essai (3) (Figure B.4) en contact avec le fil au moyen d'un solvant approprié et laisser sécher complètement.~~

~~Abaisser la palette (4) (Figure B.4) dans l'huile.~~

- ~~— L'immersion est complète pour les dimensions à partir de 0,224 mm jusqu'à 1,600 mm inclus.~~
- ~~— L'immersion est de moitié pour les dimensions à partir de 0,050 mm jusqu'à 0,224 mm inclus.~~

~~Faire passer le fil sur les poulies guides appropriées (Figures B.3 (4) et B.4 (9)); le fil est ainsi en contact avec les deux saphirs.~~

~~Appliquer la charge d'essai appropriée (7) (Figure B.4):~~

- ~~— pour les dimensions de 0,050 mm jusqu'à 0,071 mm inclus: 0,98 N;~~
- ~~— pour les dimensions de 0,071 mm jusqu'à 0,125 mm inclus: 1,96 N;~~
- ~~— pour les dimensions de 0,125 mm jusqu'à 0,450 mm inclus: 5,88 N;~~
- ~~— pour les dimensions de 0,450 mm jusqu'à 1,600 mm inclus: 9,87 N.~~

~~La charge d'essai (7) (Figure B.4) est placée sur la surface de mesure (6) (Figure B.4) où le transducteur de force ou bien le dynamomètre ne donnent aucune valeur. Si un dynamomètre mécanique est utilisé, il convient qu'il soit remis à zéro.~~

~~Ajuster le cadran étalonné (1) (Figure B.4) pour faire en parallèle l'essai avec la charge et avec la surface de mesure. Mettre en marche l'appareil et faire défiler le fil.~~

~~Il convient d'appliquer une légère tension (1) (Figure B.3) pour que le fil se déplace régulièrement.~~

~~Pour permettre aux variations dues au démarrage de cesser, la lecture moyenne du dynamomètre à un Newton près est notée au moins 15 s après le démarrage.~~

~~Calculer le coefficient de frottement moyen (μ_d) comme suit:~~

$$\mu_d = \frac{F}{L}$$

~~où~~

~~F est la force moyenne lue sur le dynamomètre, en Newtons;~~

~~L est la charge d'essai, en Newtons.~~

~~B.4.2 Appareil d'essai~~

~~Les Figures B.3, B.4 et B.5 donnent un croquis de l'appareil d'essai.~~

~~Un moteur (3) (Figure B.3) entraîne l'éprouvette de fil à 15 m/min sur une surface lisse (10) (Figure B.3) vers un enrouleur (6) (Figure B.3).~~

~~Une série de poids (7) (Figure B.4) permet d'obtenir une force comprise entre 0,98 N et 9,81 N. La surface de la charge d'essai est en saphir synthétique dont la rugosité est inférieure à 0,5 µm. Les saphirs sont décrits et montés comme indiqué à la Figure B.5.~~

~~Des moyens permettent de guider le fil (Figure B.3 (4) et Figure B.4 (9)) et de maintenir une légère traction (Figure B.3 (1) (5)) si nécessaire.~~

~~B.4.3 Dispositif de mesure~~

~~Le dispositif de mesure comprend~~

- ~~— des dispositifs électroniques de mesure de la force ou bien des transducteurs (2) (Figure B.3) avec un enregistreur graphique pour mesurer la force due au frottement. Le dispositif électronique de mesure de la force donne un enregistrement graphique qui indique les sommets des variations le long de la surface du fil. Un transducteur de force pour une étendue de 0 N à 4,9 N et un enregistreur graphique ayant une étendue de 0 V à 5 V avec un temps de réponse de 0,5 s à pleine échelle est satisfaisant;~~
- ~~— la Figure B.4 montre l'utilisation d'un dynamomètre mécanique (5) à la place d'un transducteur électronique de la force et d'un enregistreur graphique. Deux gammes de dynamomètres sont satisfaisantes: 0 N — 0,49 N et 0 N — 1,96 N;~~
- ~~— un système d'amortissement (4) (Figure B.4) comprenant une palette et un récipient rempli sur 5 mm d'huile ayant approximativement une viscosité de 10-200 mPa × s à 25 °C;~~
- ~~— un solvant de nettoyage approprié au lubrifiant à contrôler.~~

B.4.1 Équipement d'essai

La conception de l'équipement d'essai type est illustrée sur la Figure B.3. La Figure B.4 contient des dessins détaillés de saphirs synthétiques et la Figure B.5 est une photographie du bloc de charge. Le dispositif d'essai est fourni avec un système de guidage de fil et un bobinage qui entraîne le fil sur la surface d'appui à 15 m/min, tel que représenté sur la Figure B.6. La charge d'essai est alignée parallèlement à la surface d'appui, et les poids d'essai sont perpendiculaires à l'éprouvette de fil.

A mesure que le fil est tiré sous la charge d'essai (saphirs synthétiques), le frottement entre la surface du fil et la surface du saphir crée une force longitudinale, qui est transférée vers le système de mesure par un axe soutenu par deux ensembles de roulements à billes linéaires en contact avec le système de mesure. La force indiquée par le système de mesure est divisée par la charge sur la surface d'essai, afin d'obtenir le coefficient dynamique de frottement.

Le système de mesure de la Figure B.3 montre le dispositif d'essai du coefficient dynamique de frottement avec un capteur de charge en place pour mesurer la force. Un transformateur différentiel à variation linéaire (LVDT, linear variable-differential transformer) peut également être utilisé pour mesurer la force à la place d'un capteur de charge. La sortie électrique provenant du dispositif de mesure de la force est fournie à un ordinateur ou à un microprocesseur qui recueille les mesures des données, généralement 1 000 points. Les statistiques sont réalisées sur cet ensemble de données, de sorte qu'il soit possible de réaliser une interprétation correcte des résultats.

NOTE 1 Les valeurs du coefficient dynamique de frottement sont caractéristiques du type de lubrification et de la surface de l'éprouvette de fil de bobinage. Les valeurs du coefficient dynamique de frottement ne dépendent pas généralement de la taille du fil.

NOTE 2 Les fils lubrifiés avec une huile minérale auront généralement un coefficient dynamique de frottement moyen compris entre 0,09 et 0,16. Les fils lubrifiés avec de la paraffine auront généralement un coefficient dynamique de frottement moyen compris entre 0,03 et 0,06 et auront une valeur plus cohérente, mise en évidence par un écart type inférieur. La valeur moyenne, la valeur maximale et la valeur de l'écart type peuvent être utilisées pour évaluer l'application du lubrifiant sur le fil et de l'aspect de surface du fil.

La procédure d'essai est conçue pour fournir une mesure de la lubrification et de l'aspect de surface d'émaille comme une valeur combinée. On suppose que le fil sera débobiné de son emballage avec un contact minimal avec les surfaces autres que celles associées au dispositif d'essai et à l'emballage.

Si l'on soupçonne que la présence de poussières ou de saletés influe sur le coefficient de frottement, il convient de retirer une ou deux couches extérieures de fil de l'emballage, et de soumettre l'échantillon à de nouveaux essais.

Les surfaces d'essai en contact avec le fil doivent être propres et sèches au début de chaque essai. Il convient que le solvant utilisé pour nettoyer la surface de la charge d'essai élimine les différents types de lubrifiants utilisés, et qu'il sèche sans laisser de résidus.

B.4.2 Epreuve

Il convient d'examiner la surface du fil pour rechercher d'éventuels dommages, enchevêtrements, ou une quantité excessive de poussières ou de saletés. Si l'une de ces conditions se présente, il convient de retirer les spires supérieures de la bobine de fil d'essai avant les essais. Il convient que l'éprouvette de fil à essayer soit retirée de l'emballage d'expédition, en dévidant le fil par le dessus de la joue ou en le tirant de la bobine ou du fût de livraison.

B.4.3 Préparation de l'éprouvette

L'éprouvette de fil est tirée sur une surface d'appui, sous une charge d'essai (L). Une force de frottement (F_d) est créée entre les surfaces du fil, et transférée vers un dispositif de mesure approprié. La lecture (F_d) en grammes-force est divisée par la charge d'essai (L) en grammes-force, afin d'obtenir le coefficient dynamique de frottement μ_d .

$$\mu_d = \frac{F_d}{L}$$

Il convient qu'un moteur entraîne l'éprouvette de fil à $15 \pm 1,5$ m/min sur une surface lisse à l'aide d'un enrouleur motorisé.

Il convient que des poids divers qui fourniront une force comprise entre 100 et 1 000 g soient disponibles.

Il convient que la charge d'essai soit composée de deux saphirs synthétiques montés ayant une rugosité de surface inférieure ou égale à 2,4 microns. Les saphirs sont décrits sur la Figure B.4 et sont montés conformément à la Figure B.5.

Il convient qu'il y ait des moyens permettant de guider le fil et de maintenir une légère traction, si nécessaire.

Un dispositif électrique de mesure de la force ou un transducteur mesure la force due au frottement. Il convient d'installer un transducteur de force avec une plage de mesure comprise entre 0 et 500 grammes-force, un dispositif de stockage des données, et un microprocesseur ou un ordinateur pour analyser statistiquement les ensembles de données.

Un système d'amortissement mécanique comprenant une palette et un récipient rempli d'huile peut être utilisé. Les signaux électriques en provenance du capteur de charge ou du transformateur différentiel à variation linéaire peuvent également être amortis électroniquement.

Il convient d'utiliser un solvant de nettoyage approprié pour dissoudre le lubrifiant soumis aux essais, pour le nettoyage des saphirs et des surfaces métalliques entre les essais.

B.4.4 Procédure

Il convient que le dispositif d'essai du coefficient de frottement soit mis à niveau, de sorte que la seule force mesurée par le transducteur de pression soit celle qui est perpendiculaire à la charge appliquée et que la gravité ne soit pas un facteur.

Étalonner le transducteur de pression en réglant le zéro sans aucune charge, et en réglant la plage en faisant pendre un poids de 100 ou 200 grammes. Retirer le poids, et il convient que l'affichage indique à nouveau zéro.

Entrer les paramètres de l'essai dans le microprocesseur ou l'ordinateur.

Dévider le fil de son emballage en le tirant par le dessus de la joue, en le faisant passer à travers l'équipement tendeur et les guides, jusqu'au mandrin de bobinage.

Ajuster les poulies guides, de sorte que le fil soit parallèle à la surface d'appui. Nettoyer la surface d'appui, les poulies guides et les surfaces du saphir à l'aide d'un solvant adapté.

Placer le poids approprié du Tableau B.1 sur le bloc de charge:

Tableau B.1 – Poids du bloc de charge pour les essais du coefficient dynamique de frottement

Diamètre du conducteur mm		Poids g	
1)	0,050 – 0,071	2)	100
3)	0,071 – 0,125	4)	200
5)	0,125 – 0,450	6)	600
7)	0,450 – 1,600	8)	1 000

Ajuster la surface d'appui, afin que la charge d'essai soit parallèle à la surface d'essai. Mettre en marche le dispositif de bobinage du fil et commencer à recueillir des données après stabilisation et alignement du montage, et continuer jusqu'à ce que le nombre souhaité de points de données soit recueilli.

Analyser les données concernant la valeur lue minimale, la valeur lue maximale, la valeur moyenne et l'écart type.

Il convient de calculer le coefficient dynamique de frottement μ_d comme suit:

$$\mu_d = \frac{F_d}{L}$$

où

F_d = force lue, en grammes-force

L = charge d'essai, en grammes-force

B.5 Essai D: Méthode du fil torsadé pour la mesure de la force de frottement

B.5.1 Fils de section circulaire émaillés de diamètre nominal du conducteur à partir de 0,1 mm jusqu'à 1,500 mm inclus

Une éprouvette torsadée de fil émaillé est réalisée comme celle utilisée pour l'essai 13 (tension de claquage) en 4.3 de la CEI 60851-5. L'extrémité du premier brin de la torsade est fixée dans une mâchoire fixe et une force est appliquée à l'extrémité opposée du deuxième brin qui a la possibilité par traction de glisser mais pas celle de tourner; un dynamomètre peut par exemple être utilisé. La force de glissement est la force nécessaire pour séparer les deux brins.

B.5.2 Méthode d'essai

Une éprouvette d'une longueur d'environ 400 mm est torsadée sur elle-même, sur une distance de 125 mm avec l'appareil indiqué à la Figure B.67. La force exercée sur les brins pendant la torsion et le nombre de tours sont donnés au Tableau B.12.

La boucle à l'extrémité de la section torsadée est coupée en deux endroits (et non un seul) afin d'obtenir un espacement maximal entre les deux extrémités coupées.

A cette extrémité ou à l'extrémité non torsadée, les fils peuvent être recourbés de manière à assurer un écartement approprié entre ces fils, en évitant toute courbure aiguë et toute détérioration de l'isolant.

L'une des extrémités d'un brin est fixée fortement dans une mâchoire tandis qu'à l'extrémité opposée de l'autre brin est appliquée une force (poids) pour obliger ce brin à glisser sans rotation. Trois éprouvettes sont essayées.

Tableau B.12 – Méthode du fil torsadé

Diamètre nominal du conducteur mm		Force totale appliquée sur les deux fils N	Nombre de tours par 125 mm
De	Jusqu'à et y compris		
0,10	0,25	0,85	17
0,25	0,315	1,40	15
0,315	0,40	2,40	13
0,40	0,50	3,40	12
0,50	0,71	6,00	11
0,71	0,80	8,50	10
0,80	0,90	10,00	9
0,90	1,00	12,50	8
1,00	1,12	15,00	7
1,12	1,25	20,00	6
1,25	1,50	27,00	5

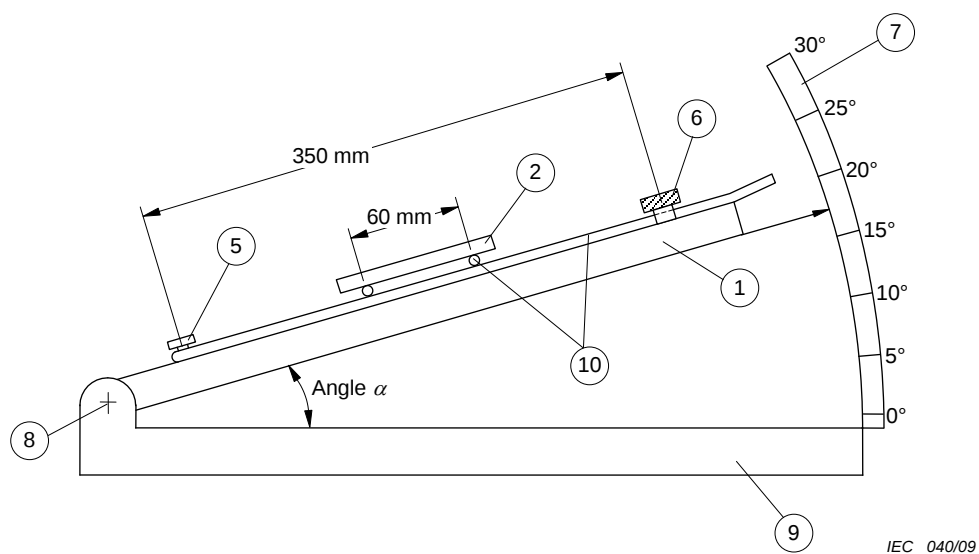


Figure B.1a – Vue de côté

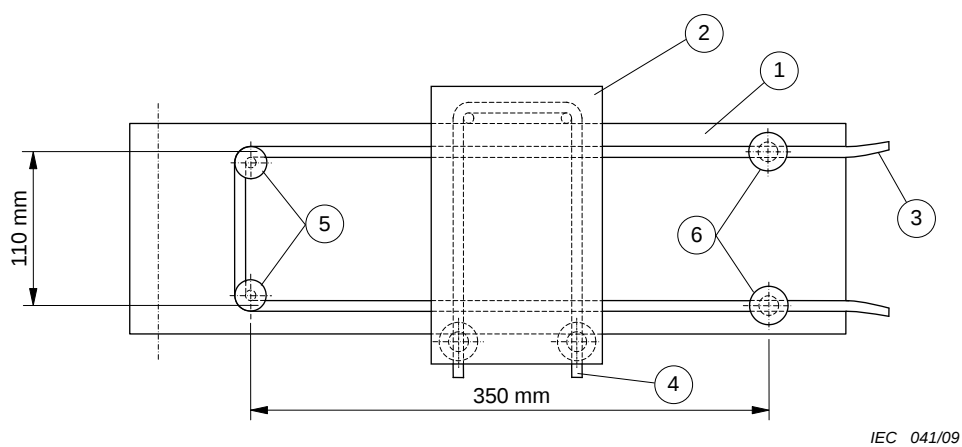


Figure B.1b – Vue de dessus

Légende

- | | |
|--------------|----------------|
| 1 plan | 6 attaches |
| 2 bloc | 7 échelle |
| 3 éprouvette | 8 axe |
| 4 fil | 9 support |
| 5 guides | 10 éprouvettes |

Figure B.1 – Appareil pour l'essai statique du coefficient de frottement

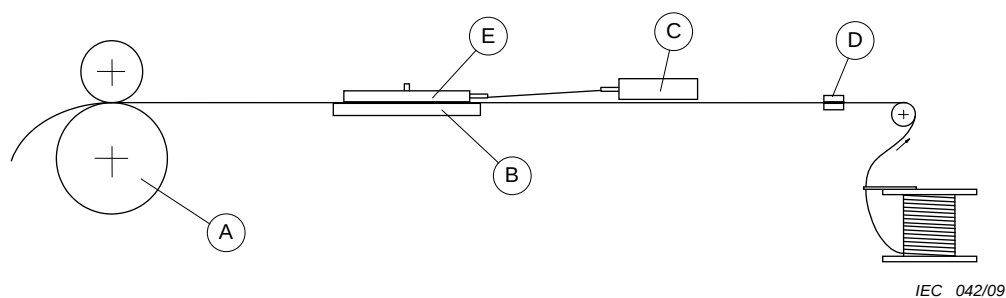


Figure B.2a – Vue de côté

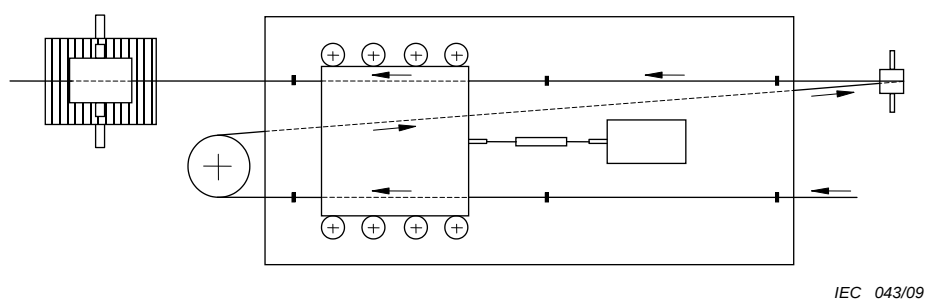


Figure B.2b – Vue de dessus

Composants

- A cabestan
- B plaque
- C indicateur de force
- D frein
- E masse

Figure B.2 – Appareil pour l'essai dynamique du coefficient de frottement

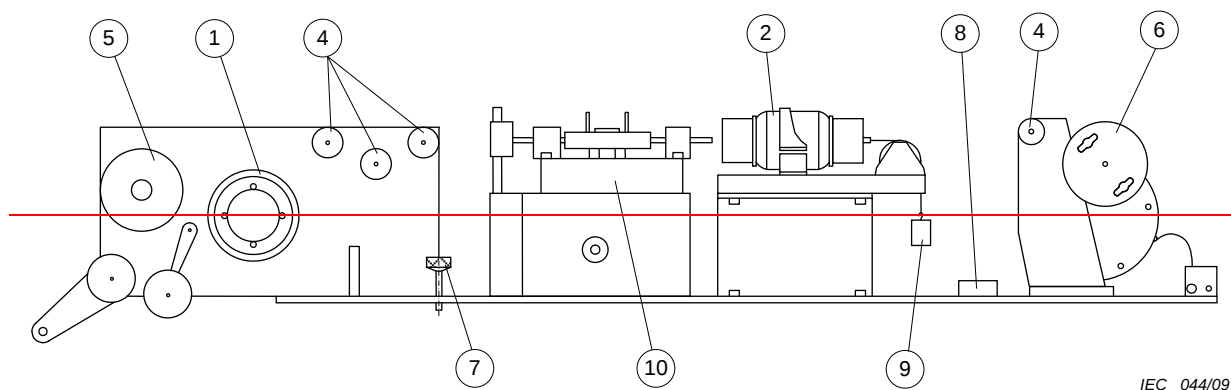


Figure B.3a – Vue de côté

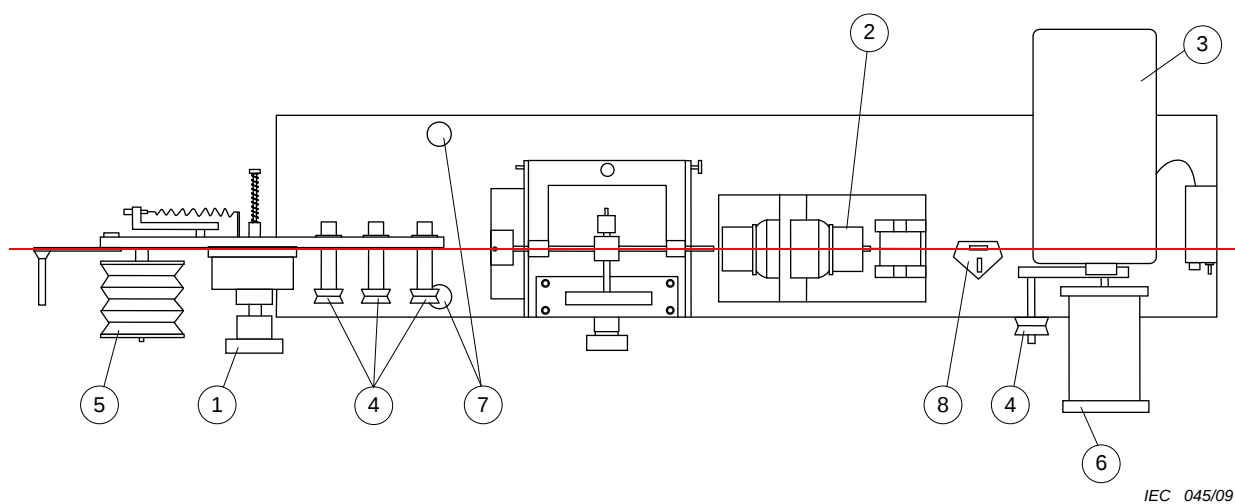
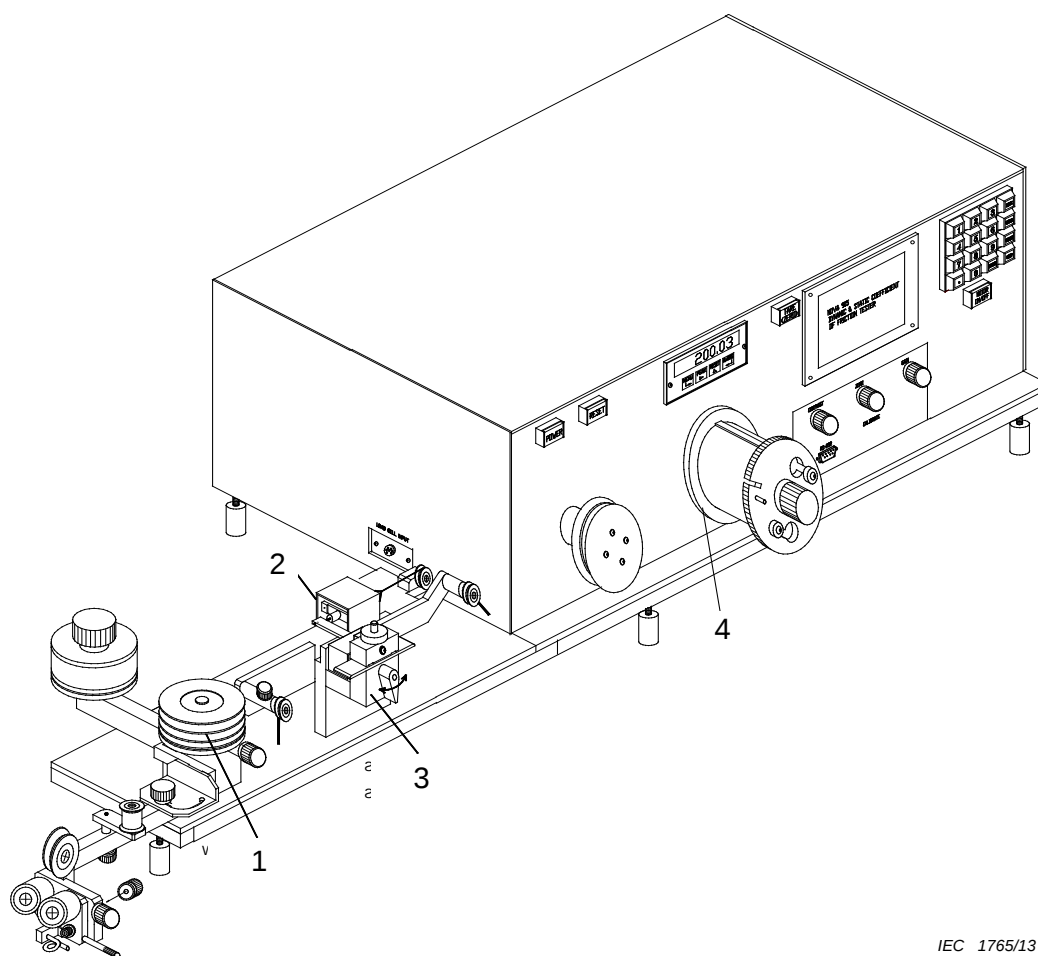


Figure B.3b – Vue de dessus

Légende

- | | |
|-----------------------|----------------------------------|
| 1 cabestan de tension | 7 pieds réglables |
| 2 transducteur | 8 niveau à bulle |
| 3 moteur | 9 poids étalon |
| 4 poulies guide-fils | 10 surface d'appui (se composant |
| 5 poulie de dévidage | de 2 positions pour l'alignement |
| 6 bobinage du fil | en fonction du diamètre du fil) |

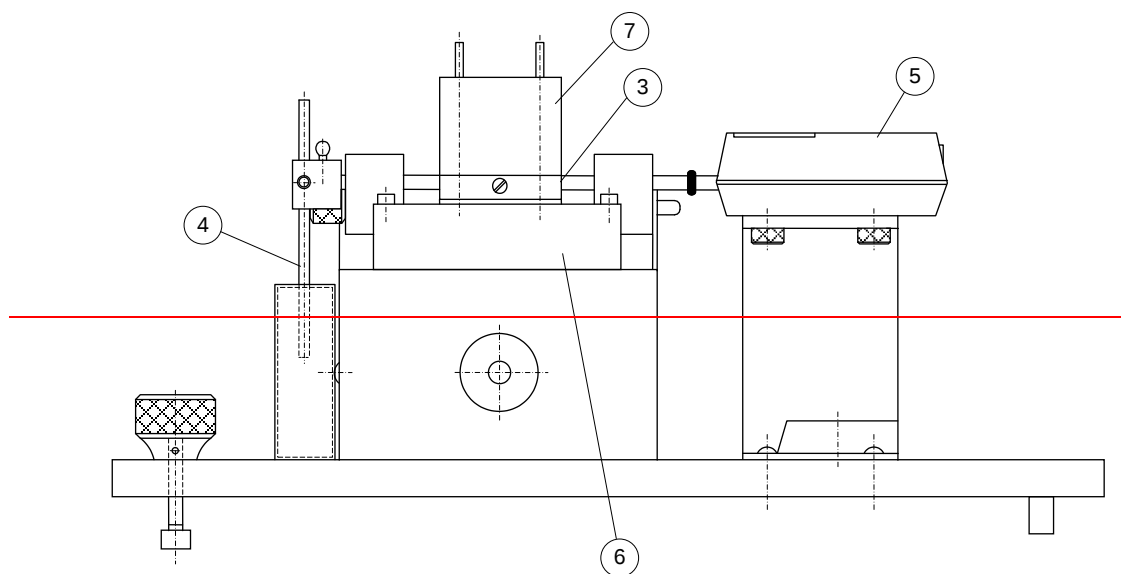


IEC 1765/13

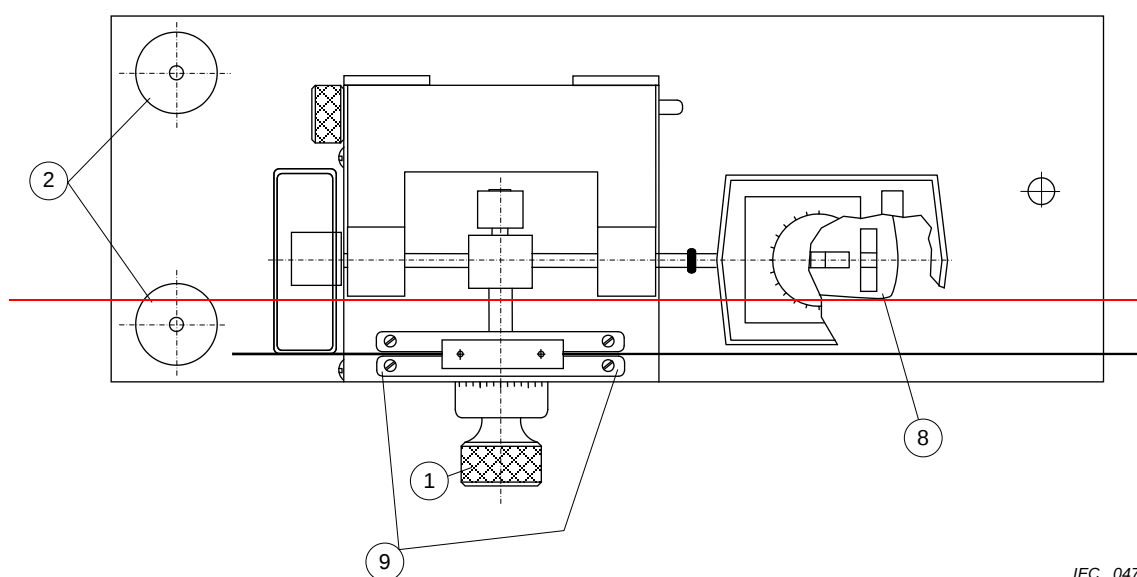
Légende

- 1 Tendeur de fil
- 2 Ensemble de cellules de charge
- 3 Tête d'essai en saphir et porte charge
- 4 Mandrin de bobinage du fil

**Figure B.3 – Schéma d'un dispositif d'essai type
du coefficient dynamique de frottement**



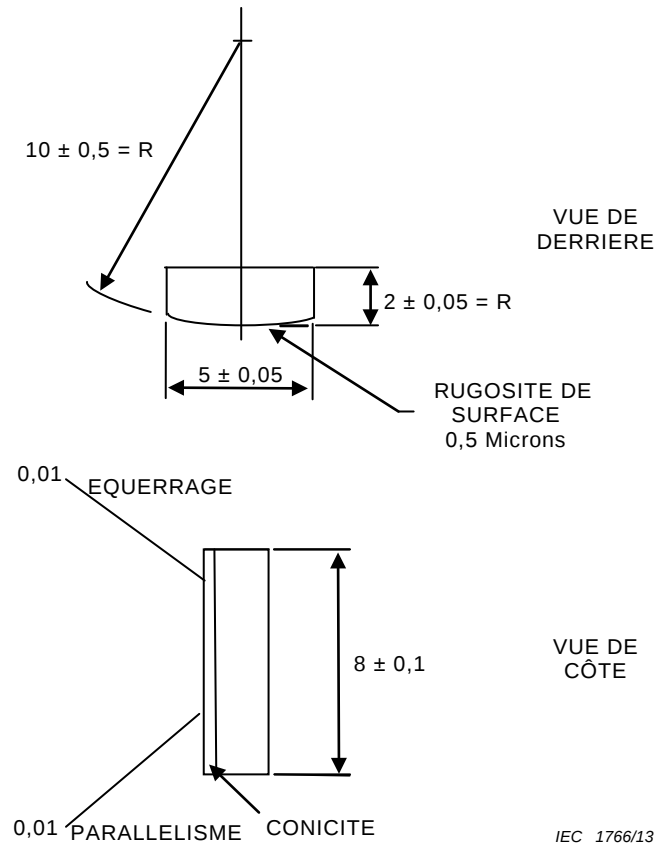
IEC 046/09

Figure B.4a — Vue de côté

IEC 047/09

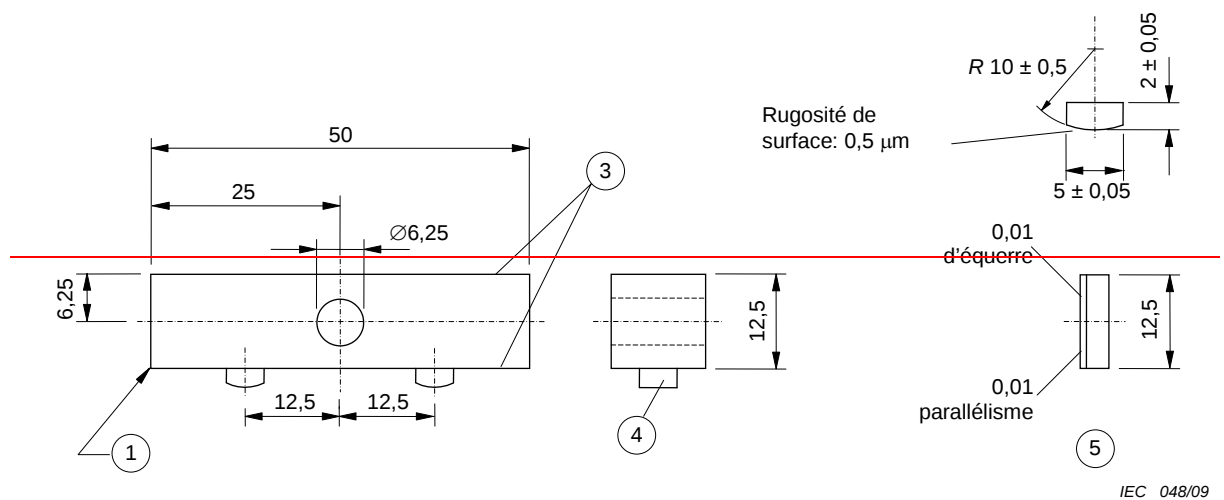
Figure B.4b — Vue de dessus**Légende**

- 1—ajustement du parallélisme entre la charge d'essai et la piste
- 2—pieds réglables
- 3—charge d'essai (voir Figure B.5)
- 4—amortisseur
- 5—dynamomètre
- 6—surface d'appui
- 7—poids d'essai
- 8—niveau à bulle
- 9—guides



NOTE Les dimensions utilisées dans la figure sont des millimètres.

Figure B.4 – ~~Détail montrant la liaison entre le banc de friction et le dynamomètre mécanique~~Matériau – saphir (synthétique)



Dimensions en millimètres

Légende

- 1 — casser toutes les arêtes
- 2 — diamètre du trou

- 3 — surfaces plates et parallèles
- 4 — blocs de saphir (collés à leur place)
- 5 — saphir synthétique

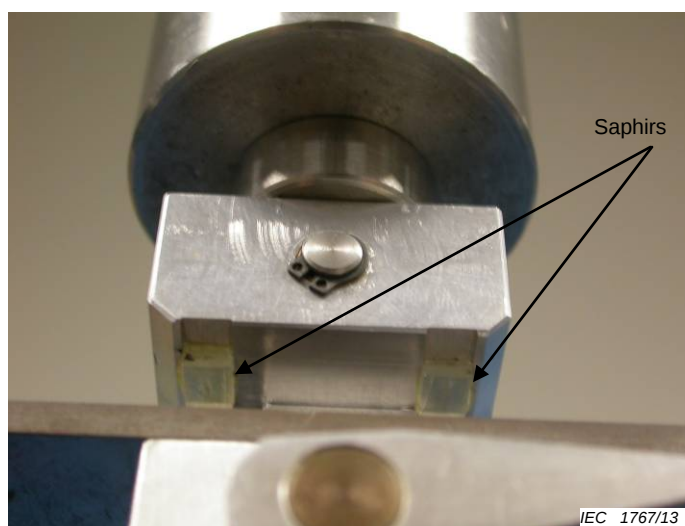


Figure B.5 – ~~Charge montée sur~~ Saphirs synthétiques montés sur un bloc de charge

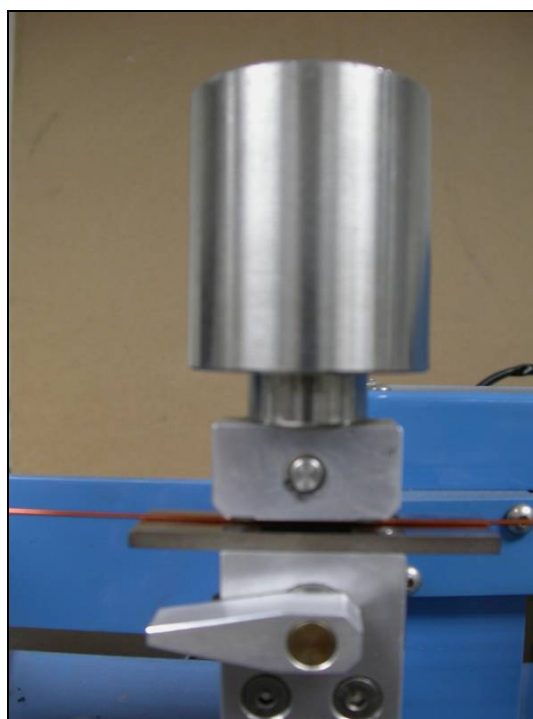


Figure B.6 – Charge appliquée perpendiculairement au trajet du fil

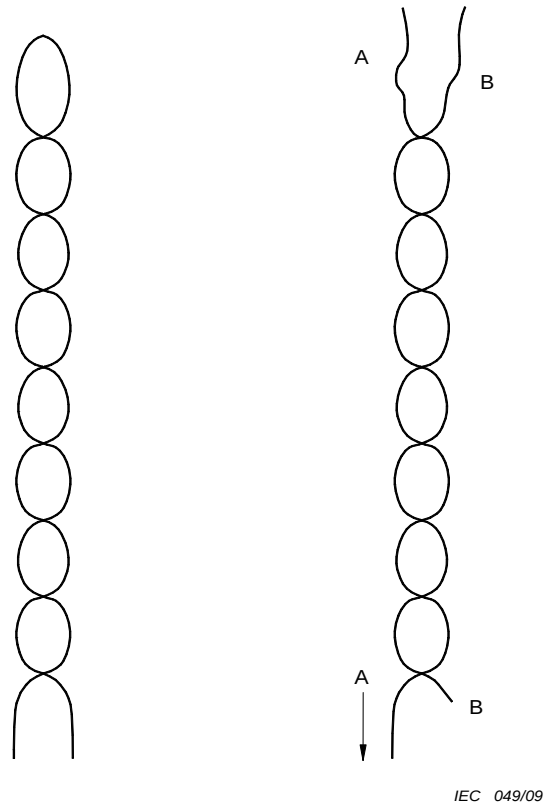


Figure B.67 – Eprouvette torsadée

Bibliographie

CEI 60851-5:2008, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai – Partie 5: Propriétés électriques*

CEI 61033:1991, *Méthodes d'essai pour la détermination du pouvoir agglomérant des agents d'imprégnation sur fil émaillé*
Amendement 1:2006

FINAL VERSION

VERSION FINALE



**Winding wires – Test methods –
Part 3: Mechanical properties**

**Fils de bobinage – Méthodes d'essai –
Partie 3: Propriétés mécaniques**

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Test 6: Elongation	7
3.1 Elongation at fracture	7
3.2 Tensile strength	7
4 Test 7: Springiness.....	8
4.1 Round wire with a nominal conductor diameter from 0,080 mm up to and including 1,600 mm	8
4.1.1 Principle	8
4.1.2 Equipment	8
4.1.3 Procedure.....	9
4.2 Round wire with a nominal conductor diameter over 1,600 mm and rectangular wire	10
4.2.1 Principle	10
4.2.2 Equipment	10
4.2.3 Specimen	11
4.2.4 Procedure.....	11
5 Test 8: Flexibility and adherence	12
5.1 Mandrel winding test	12
5.1.1 Round wire	12
5.1.2 Rectangular wire	13
5.1.3 Covered bunched wire	14
5.2 Stretching test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 1,600 mm).....	14
5.3 Jerk test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter up to and including 1,000 mm)	15
5.4 Peel test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 1,000 mm).....	15
5.5 Adherence test	17
5.5.1 Enamelled rectangular wire	17
5.5.2 Impregnated fibre covered round and rectangular wire	17
5.5.3 Fibre covered enamelled round and rectangular wire	17
5.5.4 Tape wrapped round and rectangular wire (for adhesive tape only)	18
6 Test 11: Resistance to abrasion (applicable to enamelled round wire)	18
6.1 Principle	18
6.2 Equipment	18
6.3 Procedure	19
7 Test 18: Heat bonding (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 0,050 mm up to and including 2 000 mm).....	20
7.1 Vertical bond retention of a helical coil	20
7.1.1 Nominal conductor diameter up to and including 0,050 mm	20
7.1.2 Nominal conductor diameter over 0,050 mm up to and including 2,000 mm	20
7.2 Bond strength of a twisted coil.....	23
7.2.1 Principle	23
7.2.2 Equipment	23

7.2.3 Specimen	23
7.2.4 Procedure.....	25
7.2.5 Result.....	25
Annex A (informative) Bond strength of heat bonding wires	27
Annex B (informative) Friction test methods.....	33
Bibliography.....	43
Figure 1 – Test equipment to determine springiness	8
Figure 2 – Construction and details of the mandrel (see Table 1).....	9
Figure 3 – Test equipment to determine springiness	11
Figure 4 – Test equipment for mandrel winding test.....	14
Figure 5 – Test equipment for jerk test.....	15
Figure 6 – Test equipment for peel test.....	16
Figure 7 – Scraper	17
Figure 8 – Cross-section of the wire after removal of the coating	17
Figure 9 – Test equipment for unidirectional scrape test	19
Figure 10 – Test equipment for bond retention of a helical coil.....	22
Figure 11 – Coil winder	24
Figure 12 – Oval shape coil	25
Figure 13 – Twisting device with a load applied to the twisted coil specimen	25
Figure 14 – Arrangement of supports	26
Figure A.1 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,300 mm with isothermic graphs	29
Figure A.2 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,315 mm with isothermic graphs	30
Figure A.3 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,355 mm with isothermic graphs	31
Figure A.4 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,500 mm with isothermic graphs	32
Figure B.1 – Static coefficient of friction test apparatus.....	38
Figure B.2 – Dynamic coefficient of friction test apparatus.....	39
Figure B.3 – Diagram of a typical dynamic coefficient of friction tester	40
Figure B.4 – Material – sapphire (synthetic).....	41
Figure B.5 – Synthetic sapphires mounted on load block	41
Figure B.6 – Load applied perpendicular to wire path.....	42
Figure B.7 – Twisted specimen	42
Table 1 – Mandrels for springiness	9
Table 2 – Magnification to detect cracks	12
Table 3 – Load for peel test	16
Table 4 – Preparation of helical coils	21
Table 5 – Bond retention at elevated temperature.....	22
Table B.1 – Load block weights for dynamic coefficient of friction testing.....	36
Table B.2 – Twisted pair method.....	37

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

WINDING WIRES –
TEST METHODS –**Part 3: Mechanical properties**

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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.

This Consolidated version of IEC 60851-3 bears the edition number 3.1. It consists of the third edition (2009) [documents 55/1043/CDV and 55/1059/RVC] and its amendment 1 (2013) [documents 55/1392/FDIS and 55/1407/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

This publication has been prepared for user convenience.

International Standard IEC 60851-3 has been prepared by IEC technical committee 55: Winding wires.

With respect to the previous edition, significant technical changes appear in Subclause 5.3, Jerk test.

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

A list of all the parts in the IEC 60851 series, under the general title *Winding wires – Test methods*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment 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 publication using a colour printer.

INTRODUCTION

This part of IEC 60851 forms an element of a series of standards, which deals with insulated wires used for windings in electrical equipment. The series has three groups describing

- a) winding wires – Test methods (IEC 60851);
- b) specifications for particular types of winding wires (IEC 60317);
- c) packaging of winding wires (IEC 60264).

WINDING WIRES – TEST METHODS –

Part 3: Mechanical properties

1 Scope

This part of IEC 60851 specifies the following methods of test for winding wires:

- Test 6: Elongation;
- Test 7: Springiness;
- Test 8: Flexibility and adherence;
- Test 11: Resistance to abrasion;
- Test 18: Heat bonding.

For definitions, general notes on methods of test and the complete series of methods of test for winding wires, see IEC 60851-1.

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 60851-1, *Winding wires – Test methods – Part 1: General*

IEC 60851-2:1996, *Winding wires – Test methods – Part 2: Determination of dimensions*

ISO 178:2001, *Plastics – Determination of flexural properties*

Amendment 1:2004

3 Test 6: Elongation

3.1 Elongation at fracture

Elongation is the increase in length expressed as a percentage of the original length.

A straight piece of wire shall be elongated to the point of fracture of the conductor at a rate of (5 ± 1) mm/s with an elongation tester or with tensile testing equipment with a free measuring length of between 200 mm and 250 mm. The linear increase at fracture shall be calculated as a percentage of the free measuring length.

Three specimens shall be tested. The three single values shall be reported. The mean value represents elongation at fracture.

3.2 Tensile strength

Tensile strength is the ratio of the force at fracture to initial cross-section.

A straight piece of wire shall be elongated to the point of fracture of the conductor at a rate of (5 ± 1) mm/s with tensile testing equipment with a free measuring length of between 200 mm and 250 mm and which records the force at fracture.

Three specimens shall be tested. The initial cross-section and the three single values of the force at fracture shall be reported. The mean value of the ratio of the force at fracture and the initial cross-section represents the tensile strength.

4 Test 7: Springiness

Springiness is the recoil measured in degrees after the wire is wound in the form of a helical coil or bent through an angle.

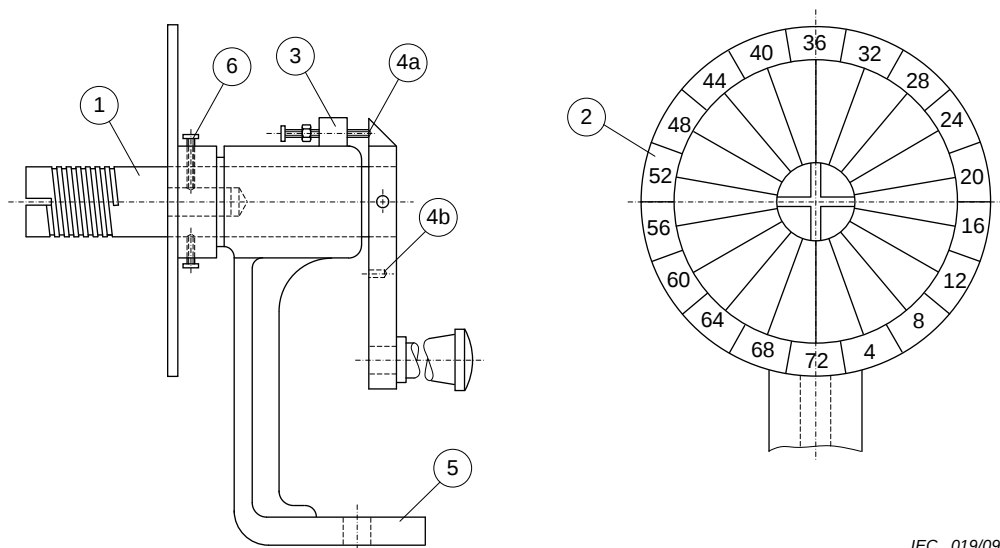
4.1 Round wire with a nominal conductor diameter from 0,080 mm up to and including 1,600 mm

4.1.1 Principle

A straight piece of wire is wound five times around a mandrel with a diameter and under a tension applied to the wire as specified in the relevant standard. The reading of the angle by which the end of the five turns recoils is the measure of springiness.

4.1.2 Equipment

Figure 1 shows an example of the test equipment with details of the mandrel given in Figure 2 and Table 1. Figure 2 indicates a helical groove, which may be used to facilitate winding. The provision of this groove, however, is not mandatory. The dial is marked with 72 equally spaced divisions so that with five turns of the wire the reading corresponds to the number of degrees that each turn springs back.

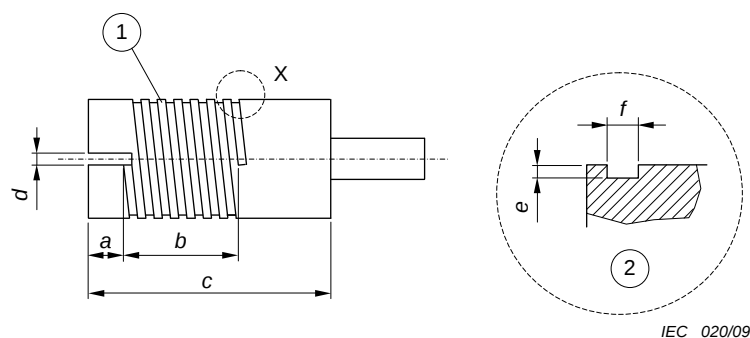


IEC 019/09

Key

- 1 mandrel
- 2 dial
- 3 locking device
- 4 locking device
- 5 base-plate
- 6 mandrel-fixing screw

Figure 1 – Test equipment to determine springiness

**Key**

- 1 7 threads
2 part X enlarged

Figure 2 – Construction and details of the mandrel (see Table 1)**Table 1 – Mandrels for springiness**

Mandrel diameter ^a mm	Dimensions ^b mm					
	a	b	c	d	e	f
5	6,0	7,5	32	0,30	0,05	0,13
7	6,0	9,0	34	0,40	0,07	0,18
10	6,0	9,0	34	0,60	0,10	0,25
12,5	6,0	9,0	40	0,80	0,14	0,35
19	10,0	11,0	45	1,20	0,20	0,50
25	12,5	12,5	45	2,00	0,28	0,70
37,5	12,5	14,5	47	2,40	0,40	1,00
50	12,5	17,5	50	3,00	0,80	2,00

^a At the bottom of the groove, if provided.
^b See Figure 2.

4.1.3 Procedure

The specified mandrel shall be mounted and locked in position with its axis horizontal and with the slot or hole for fastening the wire corresponding with the zero of the dial. The mandrel shall be dusted with powdered talc (French chalk) to prevent the wire clinging to the mandrel.

A tension shall be applied to a straight piece of wire of about 1 m in length by attaching the specified load to one end of the wire. The handle to rotate the mandrel shall be unlatched. The other end of the wire shall be inserted into the slot or hole so that sufficient wire projects on the other side of the mandrel and the wire is in firm contact with the mandrel. The weight shall be slowly lowered with the wire suspended vertically below the mandrel and with the dial zero and the slot or hole pointing downwards.

With the free end of the wire being held securely, the mandrel shall be rotated for five complete turns counter clockwise (looking at the face of the dial) and further until the zero on the dial is vertically upwards. The handle shall then be latched in this position. The load shall be removed while the wire is held in position, and the wire shall then be cut about 25 mm beyond the end of the fifth turn. This end of the wire shall be bent into a vertical position in line with the dial zero to act as a pointer.

A pencil or similar tool shall be placed to the left of this end of the wire to prevent any sudden springback. The coil shall then be allowed to unwind slowly and without jerking.

NOTE If the wire springs back suddenly, erroneous results may be obtained.

The mandrel and the dial shall then be unlatched and rotated clockwise to bring the pointer back into a vertical position. The springback angle is equal to the reading on the dial in line with the pointer. With very springy wires, the pointer may recoil more than one complete revolution. If this is the case, 72 has to be added to the dial reading for each complete revolution of recoil.

Three specimens shall be tested. The three single values shall be reported. The mean value represents springiness.

4.2 Round wire with a nominal conductor diameter over 1,600 mm and rectangular wire

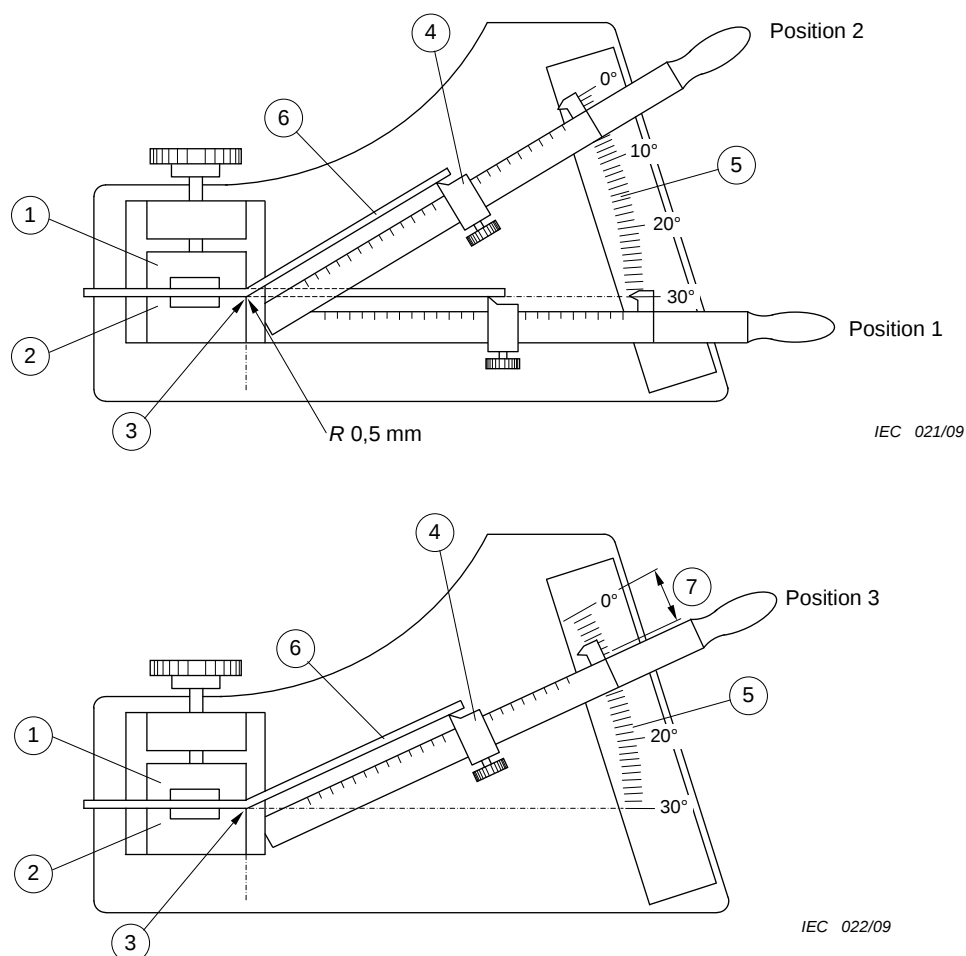
4.2.1 Principle

A straight piece of wire shall be bent through an angle of 30°. After removing the force, the reading of the angle by which the wire springs back is the measure of springiness.

4.2.2 Equipment

Figure 3 shows an example of the test equipment basically consisting of two jaws, one of which is fixed (2) and one is movable (1), and a sector graduated in degrees (5) with the 0° to 10° sector of the scale graduated in 0,5° increments. The graduated sector is an arc placed in a plane at 90° to the clamp faces. Its centre is located at the outer edge of the fixed jaw (3). The lever arm with its fulcrum placed at the centre of the arc can move over the graduated sector in the vertical plane.

The lever arm shall have a pointer or marker to provide a proper reading of the springback angle. On the lever arm with approximately 305 mm length scaled off in millimetres with the origin at the centre of the arc, is a slider (4) with a knife edge.



Key

- 1 moveable jaw
- 2 fixed jaw
- 3 centre of graduated sector
- 4 slider
- 5 graduated sector
- 6 wire specimen
- 7 sprinback

Figure 3 – Test equipment to determine springiness

4.2.3 Specimen

A wire sample of at least 1 200 mm in length shall be removed from the spool with as little bending of the wire as possible. It shall be straightened by hand and cut into three pieces each of 400 mm length. Elongation by tools shall not be used. Unnecessary bending shall be avoided to minimize work hardening.

4.2.4 Procedure

The conductor diameter or thickness, multiplied by 40, determines the position of the slider on the lever arm. The specimen shall be tightened between the jaws with a force just sufficient to

prevent slipping. The specimen shall be tightened in such a position as to allow bending the wire in the same direction as it was wound on the spool. The free end of the specimen shall exceed the slider knife edge by (12 ± 2) mm.

By means of the lever arm, starting at the initial position (the 30° scale mark, position 1), the wire shall be bent for 30° (the 0° scale mark, position 2). The total bending shall take between 2 s and 5 s. The specimen shall be held in this position for not more than 2 s and then returned in the reverse direction at the same angular rate at which it was bent, until the slider knife edge moves away from the wire specimen. The lever arm shall be raised again until the slider knife edge just contacts the wire specimen without bending it. In this position, the springback angle equals the reading on the scale of the graduated sector in line with the pointer on the lever arm (position 3).

Three specimens shall be tested. The single values shall be reported. The mean value represents springiness.

5 Test 8: Flexibility and adherence

Flexibility and adherence reflect the potential of the wire to withstand stretching, winding, bending or twisting without showing cracks or loss of adhesion of the insulation.

5.1 Mandrel winding test

5.1.1 Round wire

A straight piece of wire shall be wound for 10 continuous and adjacent turns around a polished mandrel of the diameter given in the relevant standard. The mandrel shall be rotated with a rate of 1 r/s to 3 r/s with a tension applied to the wire that is just sufficient to keep it in contact with the mandrel. Elongating or twisting the wire shall be avoided. Any suitable equipment shall be used.

5.1.1.1 Enamelled round wire with a nominal conductor diameter up to and including 1,600 mm

If the relevant standard calls for pre-stretching before winding, the wire shall be elongated according to Clause 3 to the specified percentage. After winding, the specimen shall be examined for cracks with the magnification as given in Table 2.

Table 2 – Magnification to detect cracks

Nominal conductor diameter mm		Magnification ^a
Over	Up to and including	
–	0,040	10 to 15 times
0,040	0,500	6 to 10 times
0,500	1,600	1 to 6 times
^a One time expresses normal vision.		

Three specimens shall be tested. Any cracks detected shall be reported.

5.1.1.2 Fibre covered round wire

After winding, the specimen shall be examined for exposure of the bare conductor with normal vision or with a magnification of up to six times.

Three specimens shall be tested. Exposure of the bare conductor shall be reported.

5.1.1.3 Fibre covered enamelled round wire

After winding, the specimen shall be examined for exposure of the bare conductor or underlying coating with normal vision or with a magnification of up to six times.

Three specimens shall be tested. Exposure of the bare conductor or the underlying coating shall be reported.

5.1.1.4 Tape wrapped round wire

After winding, the specimen shall be examined for exposure of the bare conductor or delamination with normal vision or with a magnification of up to six times.

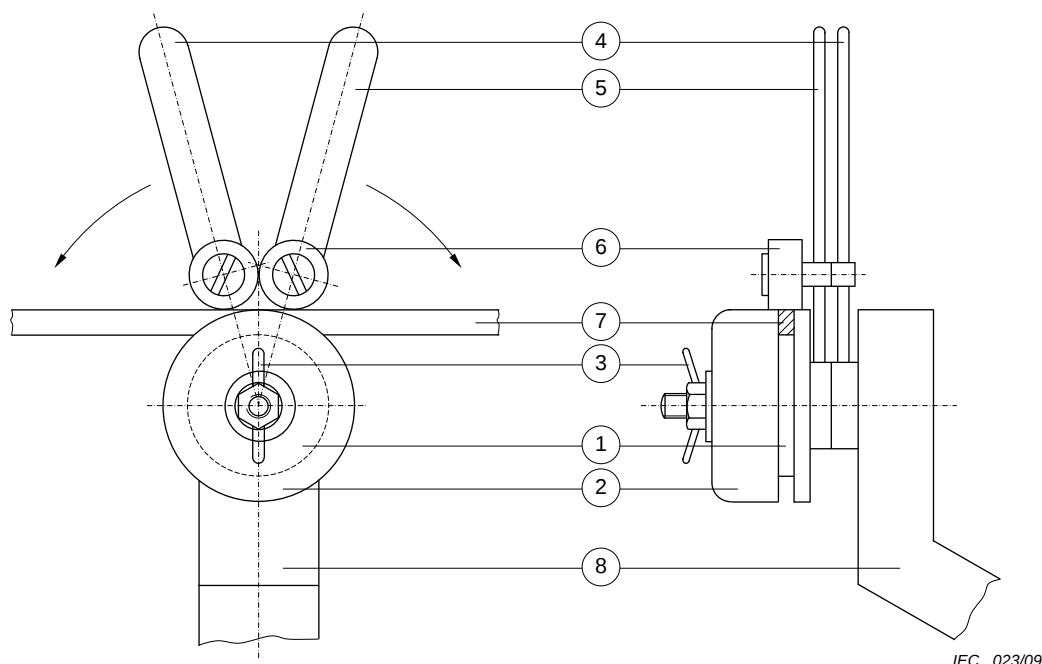
Three specimens shall be tested. Exposure of the bare conductor or any delamination shall be reported.

5.1.2 Rectangular wire

A straight piece of wire approximately 400 mm in length shall be bent through 180° round a polished mandrel of the diameter given in the relevant standard in two directions to form an elongated S-shape. The straight part between the U-shape bends shall be at least 150 mm. Care should be taken to ensure that the specimen does not buckle or depart from a uniform bend. A suitable apparatus is shown in Figure 4.

After bending, the insulation shall be examined for cracks in case of enamelled wire, for exposure of the bare conductor or underlying coating in case of fibre covered wire and for exposure of the bare conductor and delamination in case of tape wrapped wire under a magnification of six to ten times.

Six specimens shall be bent, three flatwise (on the thickness) and three edgewise (on the width). It shall be reported, if the wire shows cracks or delamination, exposure of the bare conductor or underlying coating, whichever is applicable.



Key

- 1 mandrel
- 2 mandrel clamping collar
- 3 winding nut
- 4 lever
- 5 lever
- 6 ball bearing
- 7 specimen
- 8 support

Figure 4 – Test equipment for mandrel winding test

5.1.3 Covered bunched wire

A straight piece of wire shall be wound for ten continuous turns around a polished mandrel of the diameter given in the relevant standard and under a tension given in 3.2.5.3 of IEC 60851-2. Care should be taken not to twist the specimen for each revolution.

After winding, the specimen shall be examined by normal vision for openings in the covering.

One specimen shall be tested. It shall be reported, if the wire does not show the required degree of closeness of the covering.

5.2 Stretching test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 1,600 mm)

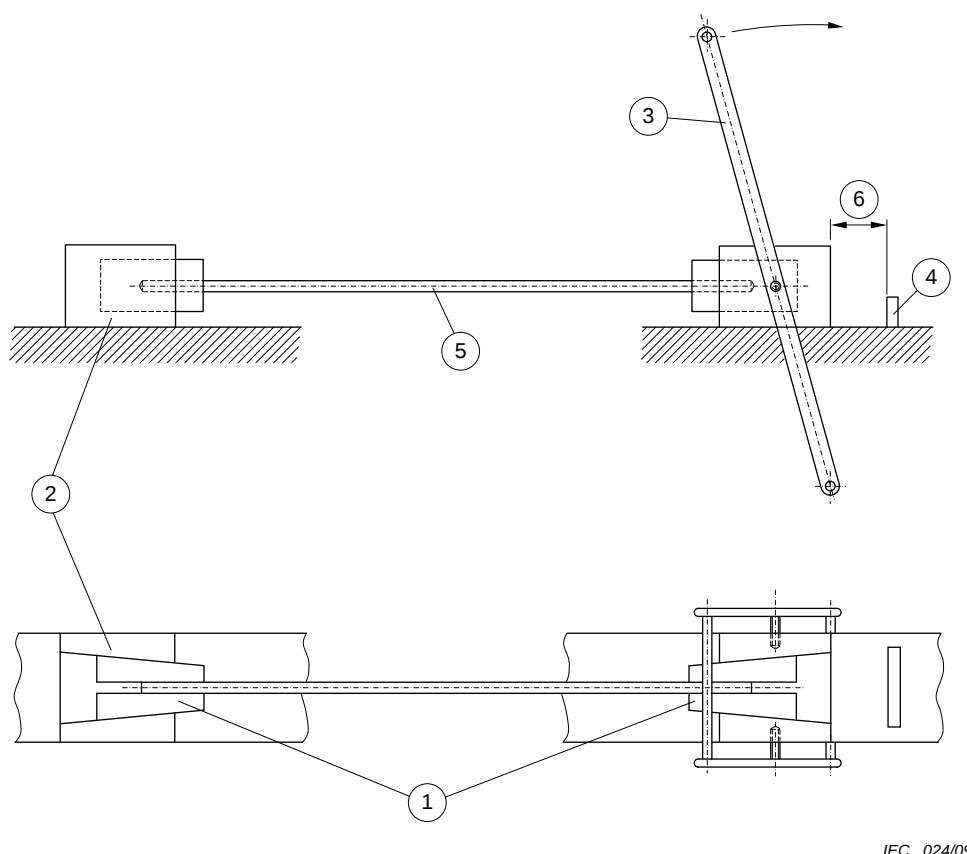
A straight piece of wire shall be elongated according to Clause 3 to the percentage specified in the relevant standard. After elongation, the specimen shall be examined for cracks or loss of adhesion with normal vision or with a magnification of up to six times.

Three specimens shall be tested. It shall be reported, if the wire shows cracks and/or loss of adhesion.

5.3 Jerk test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter up to and including 1,000 mm)

A straight piece of wire shall be rapidly stretched to the breaking point with test equipment as shown in Figure 5. A free measuring length of between 200 mm and 250 mm shall be provided. After stretching, the specimen shall be examined for cracks or loss of adhesion under a magnification as given in Table 2. A distance of 2 mm from the broken ends shall be disregarded.

Three specimens shall be tested. It shall be reported, if the wire shows cracks and/or loss of adhesion.



IEC 024/09

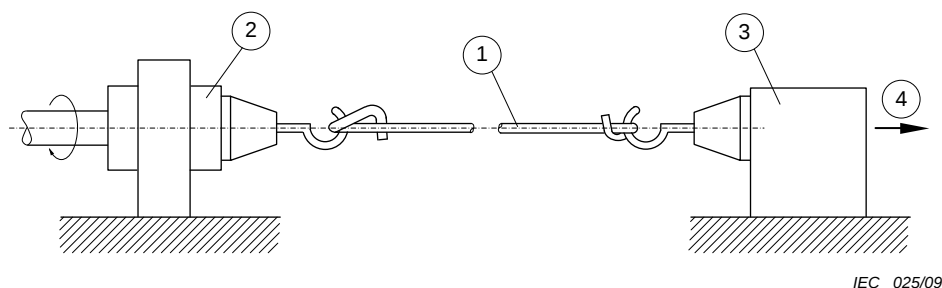
Key

- 1 wedge grips (clamps)
- 2 fixed jaw set
- 3 lever arm
- 4 adjustable stop
- 5 specimen
- 6 specified elongation

Figure 5 – Test equipment for jerk test

5.4 Peel test (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 1,000 mm)

A straight piece of wire shall be placed in the test equipment shown in Figure 6 consisting of two fixing devices 500 mm apart on the same axis. One of these is free to rotate. The other is not but can be displaced axially and is loaded according to Table 3 to apply a tension to the rotating wire.



Key

- 1 specimen
- 2 rotary clamp
- 3 fixed clamp
- 4 load

Figure 6 – Test equipment for peel test

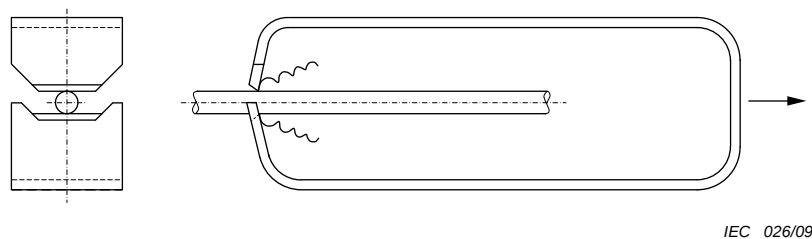
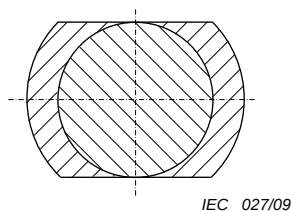
Table 3 – Load for peel test

Nominal conductor diameter mm		Load N
Over	Up to and included	
1,000	1,400	25
1,400	1,800	40
1,800	2,240	60
2,240	2,800	100
2,800	3,550	160
3,550	4,500	250
4,500	5,000	400

By means of a scraper as shown in Figure 7, the coating shall be removed on opposite sides of the wire and along the wire axis down to the bare conductor as shown in Figure 8. The pressure on the scraper shall be sufficient to remove the coating and leave a clean smooth surface at the coating/conductor interface without scraping off a significant quantity of conductor material. The removal of the coating shall commence about 10 mm from the fixing devices. The rotating device shall be driven at a speed of between 60 r/min and 100 r/min until the number of revolutions *R* as specified in the relevant standard has been reached.

After peeling and rotating, the specimen shall be examined for loss of adhesion. If the coating can be removed from the wire without difficulty (for example with the thumbnail), it shall be considered to have lost its adhesion even if it has not become completely detached from the wire.

One specimen shall be tested. It shall be reported, if loss of adhesion is observed.

**Figure 7 – Scraper****Figure 8 – Cross-section of the wire after removal of the coating**

5.5 Adherence test

A straight piece of wire of about 300 mm length shall be elongated in accordance with Clause 3 to the percentage specified in the relevant standard.

5.5.1 Enamelled rectangular wire

Before elongation, the coating shall be cut circumferentially through to the conductor at a point approximately in the centre of the measured length. After elongation, the specimen shall be examined for loss of adhesion.

One specimen shall be tested. It shall be reported, if loss of adhesion is observed, measured longitudinally from the cut. If so, the length of loss of adhesion shall be measured in one direction from the cut. The maximum value observed shall be reported after examining all sides of the specimen.

5.5.2 Impregnated fibre covered round and rectangular wire

Before elongation, the insulation shall be removed from all but the central 100 mm of the wire piece. After elongation, the specimen shall be examined for loss of adhesion.

One specimen shall be tested. It shall be reported, if loss of adhesion is observed with the insulation sliding along the conductor in case of round wire or being detached in case of rectangular wire.

5.5.3 Fibre covered enamelled round and rectangular wire

Before elongation, the insulation shall be cut circumferentially at two places 100 mm apart in the centre of the wire piece through to the conductor. After elongation, the specimen shall be examined for loss of adhesion.

One specimen shall be tested. It shall be reported, if loss of adhesion is observed.

5.5.4 Tape wrapped round and rectangular wire (for adhesive tape only)

Before elongation, the insulation shall be cut circumferentially through to the conductor at a point approximately in the centre of the measured length. After elongation, the specimen shall be examined for loss of adhesion.

6 Test 11: Resistance to abrasion (applicable to enamelled round wire)

Resistance to abrasion is determined as the maximum force, which can be sustained when a needle scrapes along the wire under a progressively increasing force.

6.1 Principle

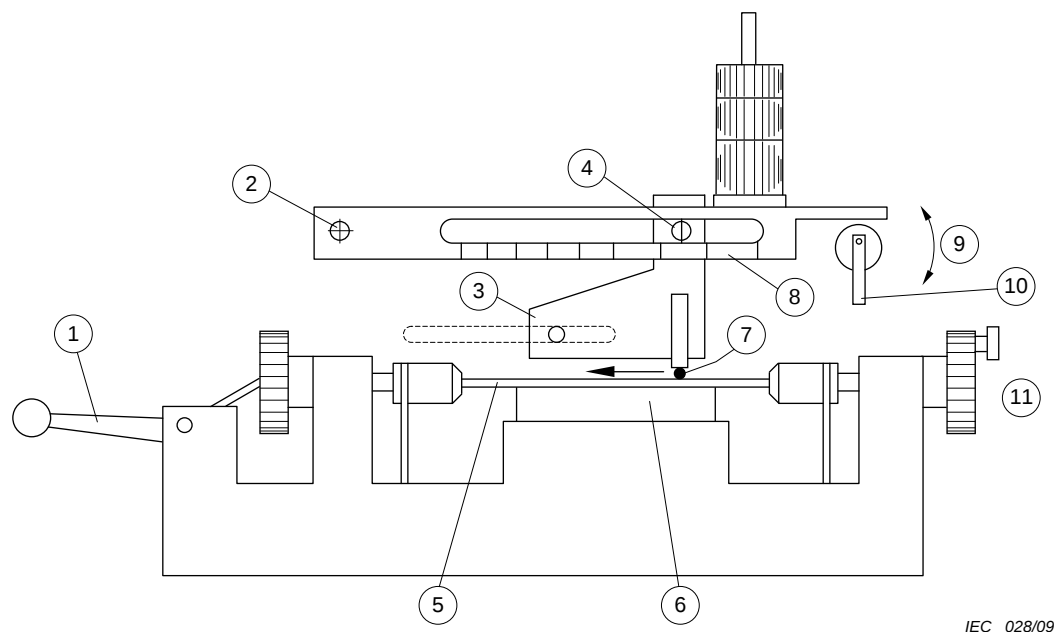
A straight piece of wire is subjected to a unidirectional scrape test, by a needle to which a progressively increasing load is applied and which scrapes along the wire surface. The load that causes an electrical contact of the needle with the conductor is called the load-to-failure.

6.2 Equipment

Test equipment as shown in Figure 9 shall be used. It shall be provided with a mechanism to produce scraping action in one direction at a rate of (400 ± 40) mm/min. The scraping device shall contain a polished piano wire or a needle of $(0,23 \pm 0,01)$ mm diameter, located between two jaws which hold the piano wire or needle rigidly, without sagging or curvature and at right angles to the direction of stroke which shall be in the direction of the axis of the wire under test. For placing the specimen, the test equipment shall be provided with two clamping jaws over a supporting anvil, which can be lowered while a wire is inserted into the jaws and straightened.

The test equipment shall provide a d.c. voltage of $(6,5 \pm 0,5)$ V to be applied between the conductor and the piano wire or the needle scraper. The short-circuit current shall be limited to 20 mA, for example by means of a series resistor or a relay. The circuit shall be designed to detect a short circuit and stop the equipment after the scraper is in contact with the conductor of the wire for about 3 mm.

The test equipment shall be provided with a graduated scale over the lower edge of the lever, which indicates the factor by which the initial load applied to the piano wire or to the needle has to be multiplied to determine the force-to-failure.



IEC 028/09

Weighted scraping device moves from right to left with increasing load on wire

Key

- 1 capstan for straightening specimen
- 2 fixed pivot point
- 3 weighted scraping device
- 4 indexer
- 5 specimen
- 6 anvil with adjustable height for wires with different diameters
- 7 piano wire
- 8 scale, indicating multiplying factor
- 9 reset/operate
- 10 reset lever
- 11 chucks index at 120° increments

Figure 9 – Test equipment for unidirectional scrape test

6.3 Procedure

A straight piece of wire shall be wiped clean, placed in the apparatus and straightened by a maximum of 1 % elongation. The specimen shall then be secured in the clamping jaws and the supporting anvil adjusted to contact the specimen. The initial force applied to the scraping device shall not exceed 90 % of the minimum force to failure specified in the relevant standard and shall lead to short circuit between scraper and conductor at a point between 200 mm and 150 mm from the fixed pivot point. The weighted scraping device shall be lowered slowly to the surface of the wire and the scraping action started.

The value at which the scraper stops shall be read on the graduated scale on the lower edge of the lever. The product of this value and the initial load applied shall be recorded.

The procedure shall be repeated twice on the same specimen, indexing around the periphery of the wire, once at 120° and once at 240° from the original position and the same information recorded.

One specimen shall be tested. The three single values shall be reported. The mean value represents the average force-to-failure.

7 Test 18: Heat bonding (applicable to enamelled round wire with a nominal conductor diameter over 0,050 mm up to and including 2 000 mm)

Heat bonding is the potential of the windings of a coil to bond together under the influence of heat.

7.1 Vertical bond retention of a helical coil

Vertical bond retention of a helical coil is the potential of the bonded coil to maintain its coherence when a load is applied to its lower end.

7.1.1 Nominal conductor diameter up to and including 0,050 mm

The method of test is to be agreed upon between purchaser and supplier.

7.1.2 Nominal conductor diameter over 0,050 mm up to and including 2,000 mm

7.1.2.1 Principle

The turns of a helical coil of the wire wound on a mandrel are pressed together by applying a load and then bonded by means of heat or solvent. After bonding, the specimen is removed from the mandrel and suspended in a vertical position with a load applied at the lower end to determine whether the specimen withstands a specified load or not. This procedure is repeated at an elevated temperature.

7.1.2.2 Specimen

A straight piece of wire shall be wound on a polished mandrel¹ of a diameter according to Table 4. The coil shall have a minimum length of 20 mm. The winding rate shall be between 1 r/s and 3 r/s with an applied winding force not exceeding the values in Table 4. In order to allow the coil to relax freely, the ends of the wire shall not be fastened. The coil on the mandrel shall be positioned vertically as shown in Figure 10a with a load applied as specified in Table 4. The weight shall not stick to the mandrel, and there shall be a clearance between the weight and the mandrel. This arrangement shall then be placed in an oven with forced air circulation at a temperature specified in the relevant standard for a period of

- 30 min for wires with a nominal conductor diameter up to and including 0,710 mm;
- 1 h for wires with a nominal conductor diameter over 0,710 mm up to and including 2,000 mm, unless otherwise agreed upon between purchaser and supplier.

After cooling to room temperature, the coil shall be removed from the mandrel.

7.1.2.3 Procedure at room temperature

A specimen shall be suspended by one of its ends (see Figure 10b) and loaded as required in the relevant standard. The load shall be applied in a way that avoids any additional shock.

Three specimens shall be tested. It shall be reported, if turns other than the first and the last are separated. The temperature for bonding the specimen shall be reported.

¹ A steel mandrel is satisfactory for larger diameter wires. For smaller wires, copper mandrels may assist in the removal of the coil from the mandrel by stretching the mandrel to reduce its diameter.

7.1.2.4 Procedure at elevated temperature

A specimen shall be suspended by one of its ends (see Figure 10b) and loaded as specified in Table 5. The load shall be applied in a way that avoids any additional shock. The specimen with its load shall be placed in an oven with forced air circulation for 15 min at a temperature as specified in the relevant standard.

Three specimens shall be tested. It shall be reported, if turns other than the first and the last are separated. The temperature for bonding the specimen shall be reported.

Table 4 – Preparation of helical coils

Nominal conductor diameter mm		Diameter of the mandrel mm	Maximum winding force N	Load on the coil during bonding N
Over	Up to and including			
0,050	0,071	1	0,05	0,05
0,071	0,100	1	0,05	0,05
0,100	0,160	1	0,12	0,15
0,160	0,200	1	0,30	0,25
0,200	0,315	2	0,80	0,35
0,315	0,400	3	0,80	0,50
0,400	0,500	4	2,00	0,75
0,500	0,630	5	2,00	1,25
0,630	0,710	6	5,00	1,75
0,710	0,800	7	5,00	2,00
0,800	0,900	8	5,00	2,50
0,900	1,000	9	5,00	3,25
1,000	1,120	10	12,00	4,00
1,120	1,250	11	12,00	4,50
1,250	1,400	12	12,00	5,50
1,400	1,600	14	12,00	6,50
1,600	1,800	16	30,00	8,00
1,800	2,000	18	30,00	10,00

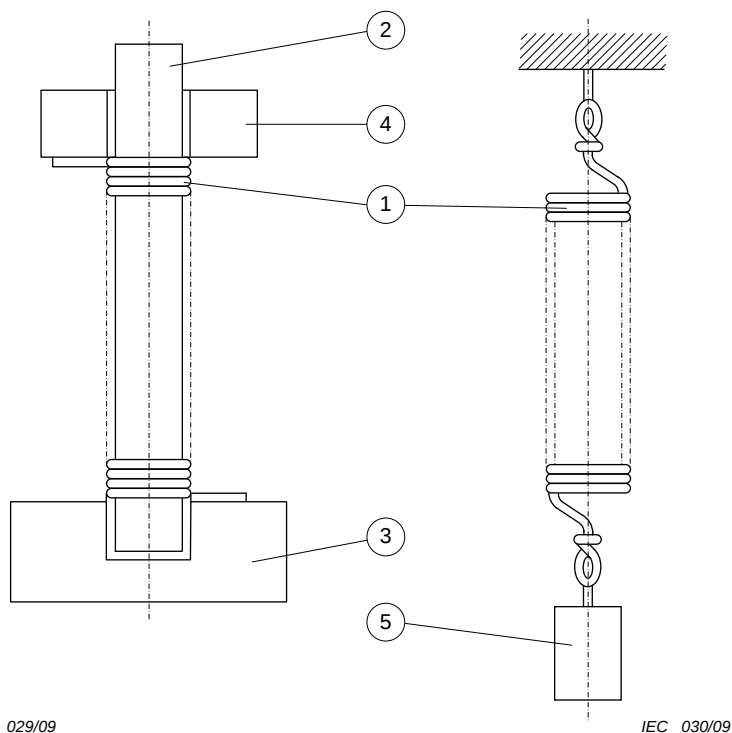


Figure 10a

Figure 10b

Key

- 1 coil
- 2 mandrel
- 3 mandrel-holder
- 4 weight
- 5 separating load

Figure 10 – Test equipment for bond retention of a helical coil

Table 5 – Bond retention at elevated temperature

Nominal conductor diameter mm		Load N		Nominal conductor diameter mm		Load N
Over	Up to and including			Over	Up to and including	
0,050	0,071	0,04		0,800	0,900	2,60
0,071	0,100	0,06		0,900	1,000	3,20
0,100	0,160	0,09		1,000	1,120	3,80
0,160	0,200	0,19		1,120	1,250	4,40
0,200	0,315	0,25		1,250	1,400	4,90
0,315	0,400	0,55		1,400	1,600	6,40
0,400	0,500	0,80		1,600	1,800	7,90
0,500	0,630	1,20		1,800	2,000	7,90
0,630	0,710	1,70				
0,710	0,800	2,10				

7.2 Bond strength of a twisted coil

Bond strength is the maximum force required to break the twisted coil.

7.2.1 Principle

A random wound coil prepared from the wire is formed to an oval shape, twisted and then bonded by applying a d.c. current. This specimen produces a rod, which is tested in tensile testing equipment in a horizontal position to obtain the maximum deflection force to break this rod. The test shall be repeated at elevated temperature.

NOTE This test is similar to method A, twisted coil test, given in 2.1 of IEC 61033, and is based on the same principle. It differs from method A of IEC 61033 with respect to twisting and bonding the specimen and with respect to wire sizes. It permits the testing of different wire sizes, whereas method A of IEC 61033 specifies that a wire of a nominal conductor diameter of 0,315 mm shall be used.

7.2.2 Equipment

The following equipment shall be used:

- coil winder in accordance with Figures 11a and 11b;
- coil twister in accordance with Figure 13;
- tensile test equipment in accordance with ISO 178 with a support complying with Figure 13;
- d.c. supply unit providing a constant current output with a capacity of minimum 50 V and 15 A;
- attached to the tensile test equipment, an oven with forced air circulation, which shall maintain the test temperature within a tolerance of ± 2 °C and which shall allow heating at least five specimens simultaneously within 5 min to 10 min to the test temperature.

7.2.3 Specimen

A random wound coil shall be prepared from the wire using winding equipment according to Figures 11a and 11b. The number of windings shall be calculated as

$$N = \frac{100 \times 0,315^2}{d^2}$$

where d is the nominal conductor diameter of the wire under test.

NOTE For a nominal conductor diameter of $d = 0,315$ mm, N represents 100 turns. For other values of d , the above equation will lead to a number N , which gives the same total conductor cross-section as $N = 100$ and $d = 0,315$ mm.

To prevent opening of the coil after removal from the winding equipment, each end of the wire (or short pieces of enamelled wire) shall be wrapped around the coil two or three times at opposite positions. For this purpose, the winding equipment is provided with appropriate notches (see Figure 11b).

For winding the coil, the following dimensions shall apply:

- winding diameter: $(57 \pm 0,1)$ mm;
- width of slot: $(5 \pm 0,5)$ mm.

After removal from the winding equipment, the coil shall be formed to an oval shape (see Figure 12) and then twisted in a twisting device around its longitudinal axis according to Figure 13. This device allows application of a mechanical load to be applied to the coil while it is twisted and subsequently bonded. This load shall be 100 N. The coil shall be twisted for

two and a half turns and then half a turn in the reverse direction. While held under a mechanical load in the twisting device, the specimen shall be bonded by applying a constant d.c. current to the wire. A current shall be chosen that bonds the specimen within a period of 30 s to 60 s.

NOTE Since d.c. current is used, it allows an easy approach to determine the average temperature of the specimen at the end of the heating period (see Annex A).

The specimen is a rod of about 7 mm in diameter and 85 mm to 90 mm in length.

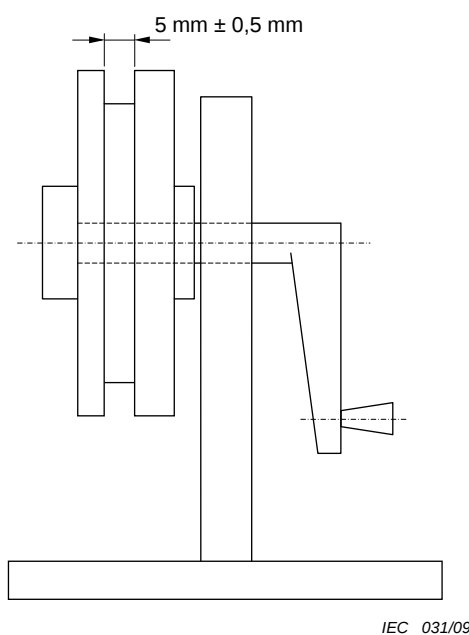


Figure 11a – Coil winder

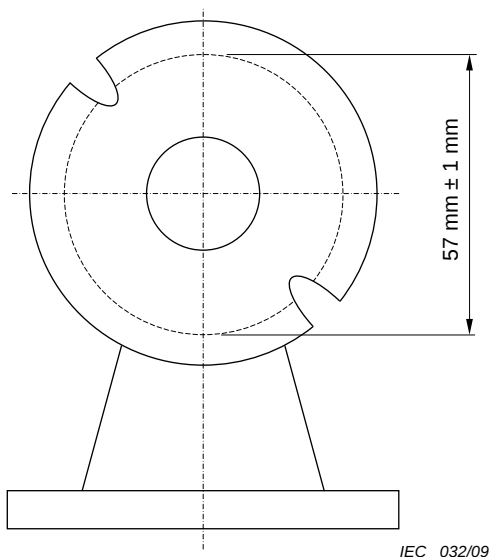


Figure 11b – Coil winder, front view

Figure 11 – Coil winder

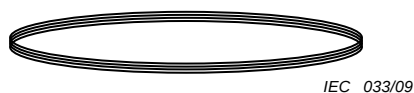
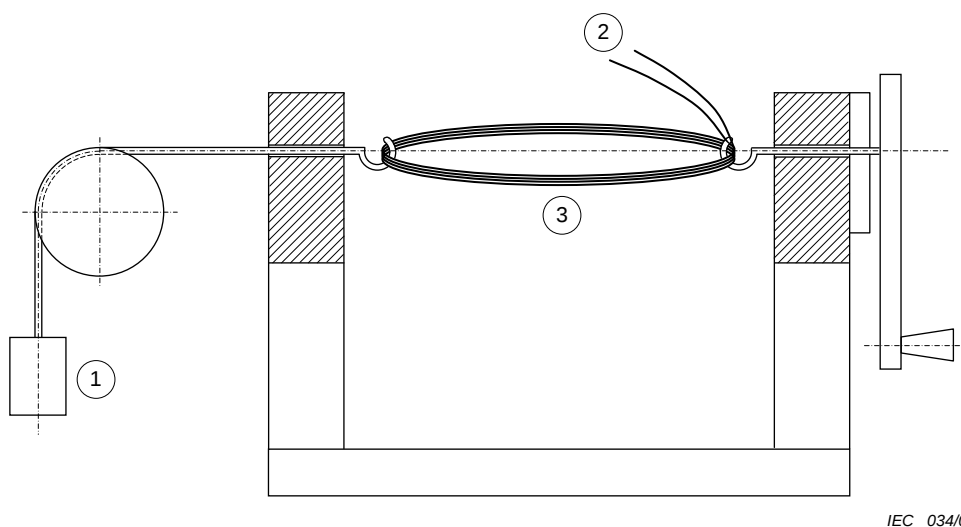


Figure 12 – Oval shape coil

**Key**

- 1 load 100 N
- 2 d.c. current
- 3 twisted coil

Figure 13 – Twisting device with a load applied to the twisted coil specimen

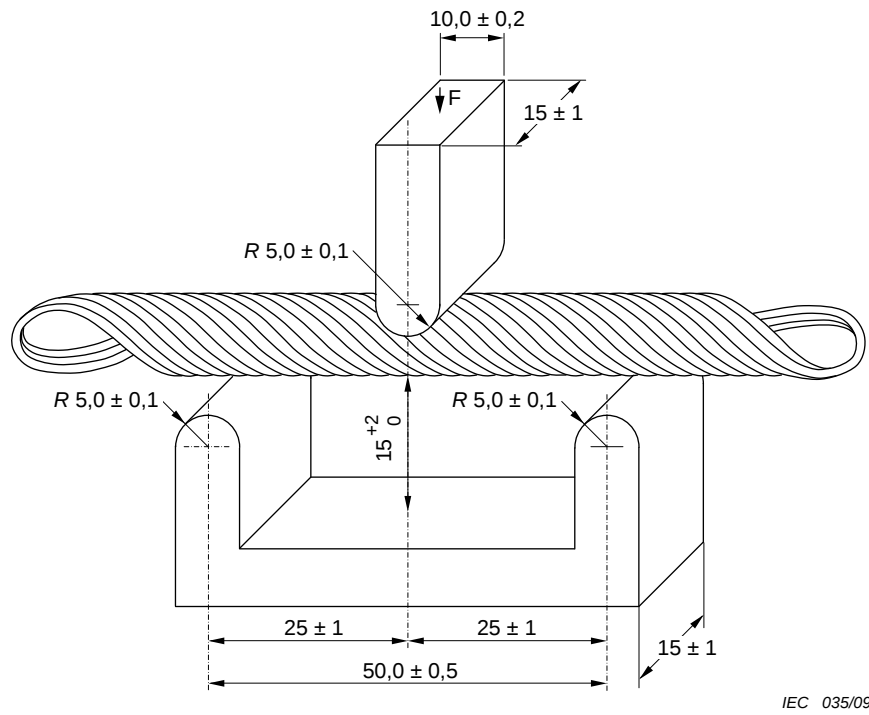
7.2.4 Procedure

With the specimen properly positioned on a support according to Figure 14, the bond strength of the specimen shall be determined by adjusting the crosshead speed so that the maximum deflection force is reached in about 1 min.

For tests at elevated temperature, the specimen shall be placed in the oven preheated to the specified temperature. The specimen shall be tested after it has reached the oven temperature but not later than 15 min after being placed in the oven.

7.2.5 Result

For each temperature, five specimens shall be tested. The five single values shall be reported for each test temperature. The mean value represents the bond strength. The nominal conductor diameter, the number of turns of the coil and the bonding conditions of specimens shall also be reported.



Dimensions are in millimetres

Figure 14 – Arrangement of supports

Annex A (informative)

Bond strength of heat bonding wires

A.1 Calculation of the temperature of the twisted coil specimen

Method

While heating the twisted coil by means of d.c. current, the average temperature of the specimen may be derived from its d.c. resistance, which is the ratio of the voltage and the constant current applied. Such ratios can be determined at the beginning and at the end of any heating period and allow the calculation of the temperature at the end of the heating period.

Temperature coefficient

For the following calculations, a temperature coefficient of copper of $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$ is used.

Calculation

With this temperature coefficient, the resistance of the test specimen at the end of a heating period is calculated from the equation

$$R_{T_t} = R_{T_0} + \alpha R_{T_0} \times (T_t - T_0)$$

where

R_{T_0} is the resistance in the beginning (at room temperature);

T_t is the temperature at the end of the heating period;

T_0 is the temperature in the beginning of the heating period (T_0 normally is identical with room temperature, i.e. 23 °C).

The index t stands for the end of the heating period.

If the current is constant, the following equation applies:

$$\frac{R_{T_t}}{R_{T_0}} = \frac{U_t}{U_0}$$

where

U_t is the voltage at the end of the heating period;

U_0 is the voltage in the beginning of the heating period.

This results in the temperature at the end of the heating period:

$$T_t = T_0 + \left[250 \times \left(\frac{U_t}{U_0} - 1 \right) \right] \text{ in } ^\circ\text{C}$$

A.2 Determination of the heating period

Voltage-time graphs

While heating the twisted coil with a constant current, the electrical resistance increases with the temperature. To maintain the current, the voltage output of the constant current transformer increases accordingly. This allows plotting of d.c. voltage output against time. This provides information about the time t of the heating period. Different graphs may be taken for different currents all plotted on one and the same diagram.

Voltage at maximum temperature

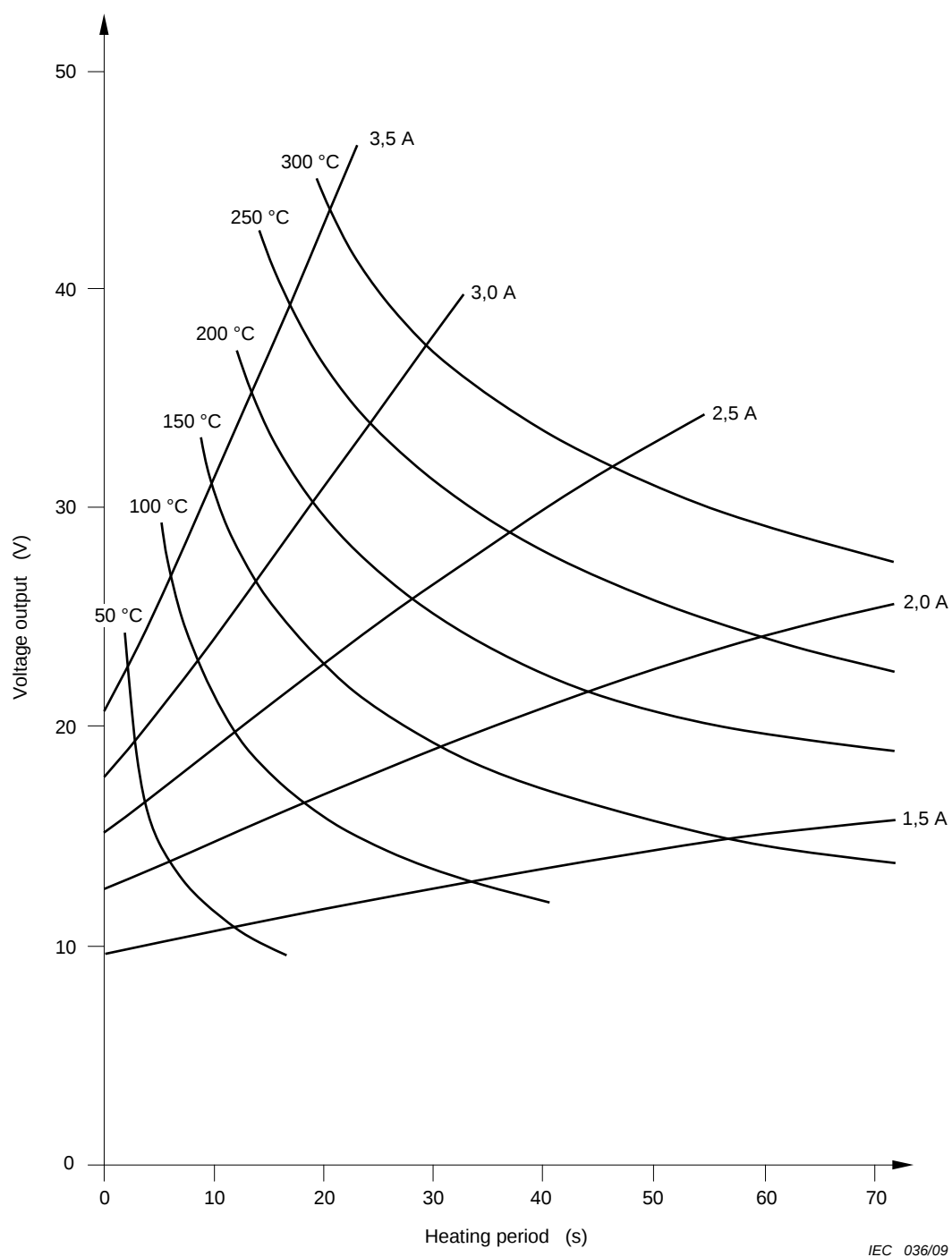
In a specific case one may wish to bond the specimen up to a certain temperature, but not to exceed this temperature. If this maximum temperature is defined, the last equation as shown in A.1 allows the calculation of the voltage required to reach that temperature with a particular heating current:

$$U_t = U_0 + 0,004 \times (T_t - T_0) U_0$$

The point of intersection of the voltage-time graph with the Y-axis corresponds to the value of U_0 . With this reading, the last equation allows the calculation of the voltage to arrive at the temperature of the specimen at the end of the heating period. The corresponding value of the X-axis gives the time length of the heating period required to reach the temperature T_t .

If the same calculation is done with all voltage-time graphs for one and the same temperature T_t , the corresponding entries may be used to produce an isothermic graph that intersects the voltage-time graphs. If this is repeated with different temperatures, it results in a final diagram, which is very helpful in selecting a suitable pair of values for the heating current in amperes and the time in seconds of the heating period to heat the test specimen up to the chosen temperature T_t .

Figures A.1 through A.4 show examples of such complete diagrams for easy reference, based on wire sizes 0,300 mm, 0,315 mm, 0,355 mm and 0,500 mm respectively.



IEC 036/09

Figure A.1 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,300 mm with isothermic graphs

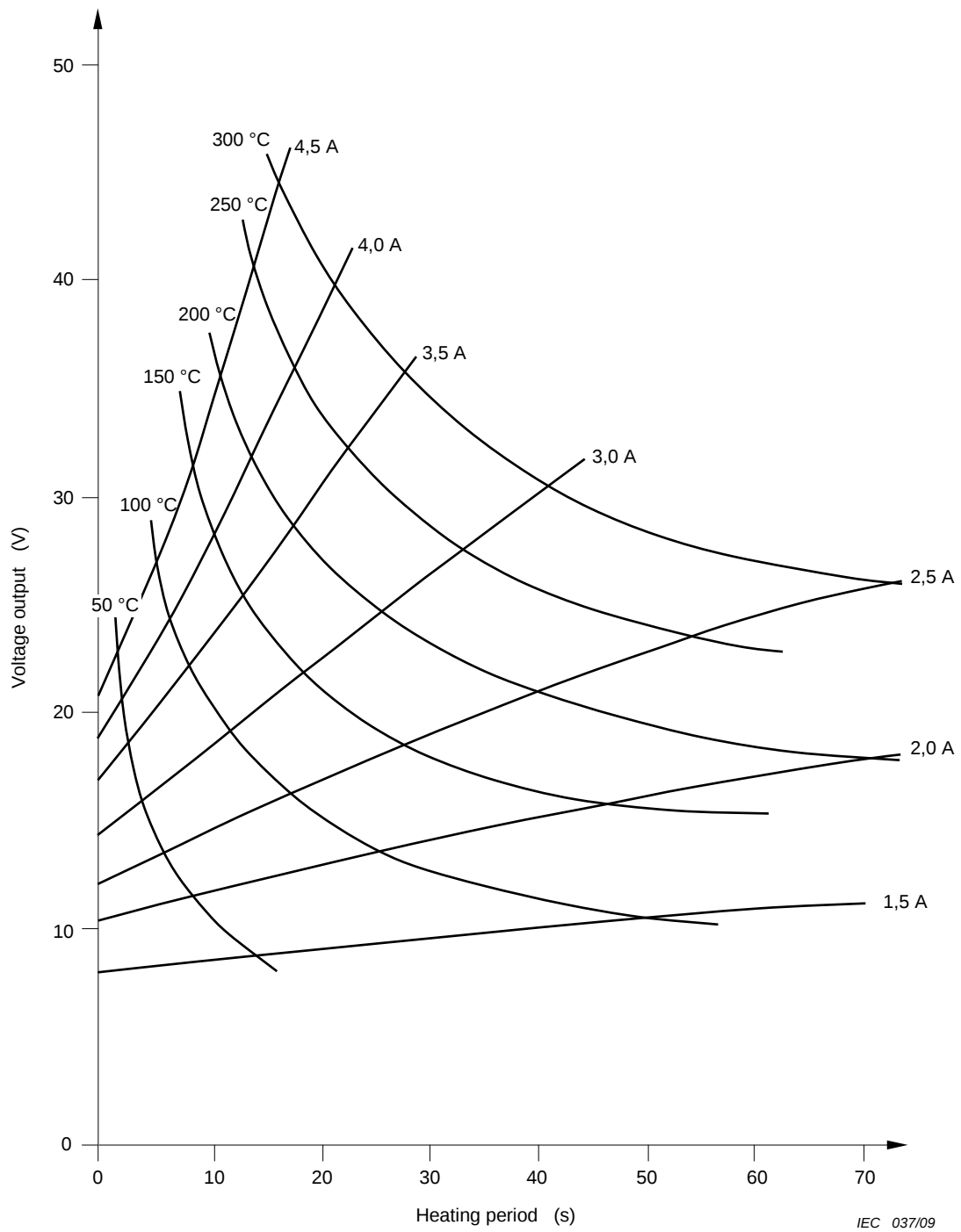


Figure A.2 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,315 mm with isothermic graphs

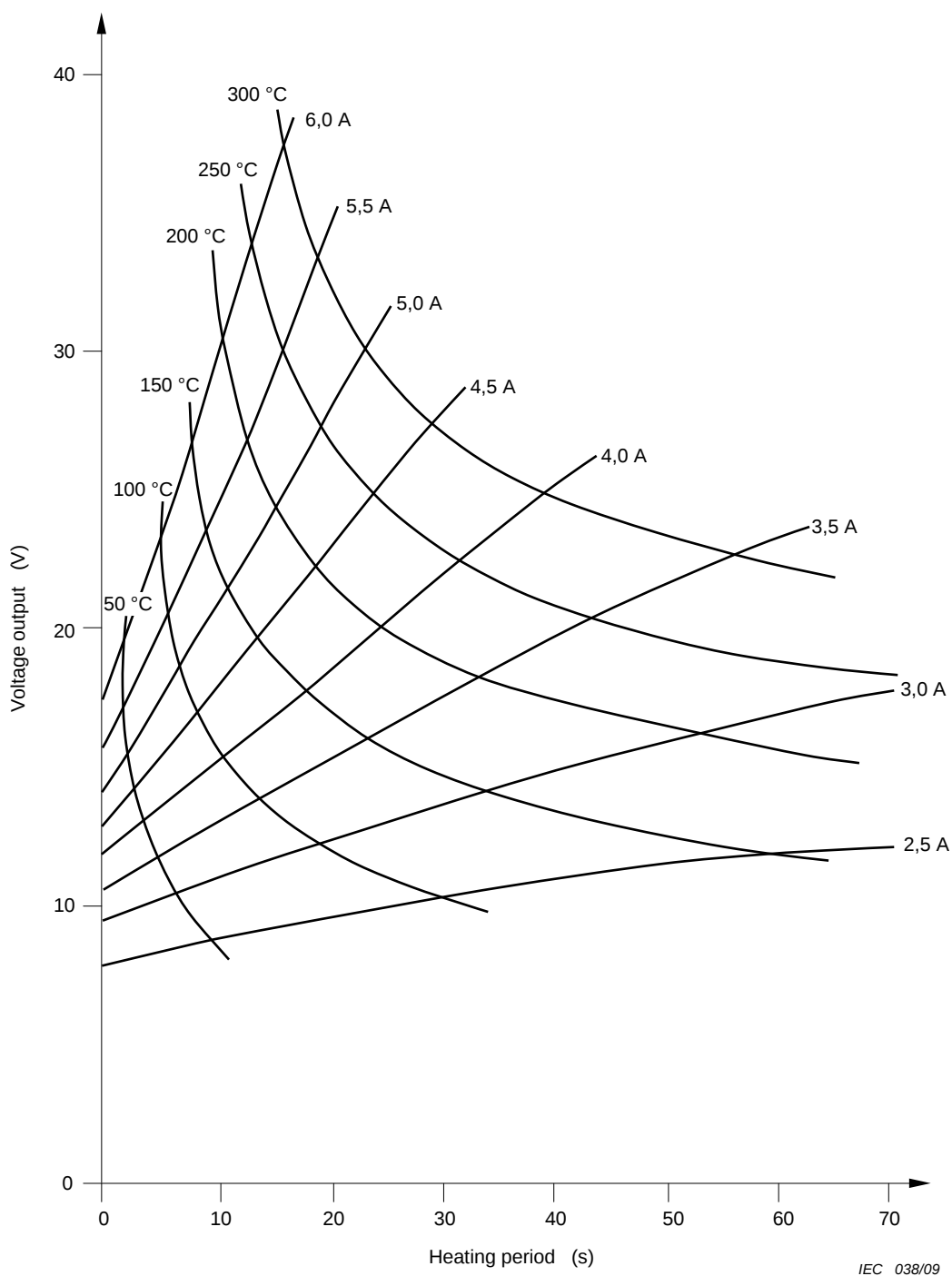


Figure A.3 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,355 mm with isothermic graphs

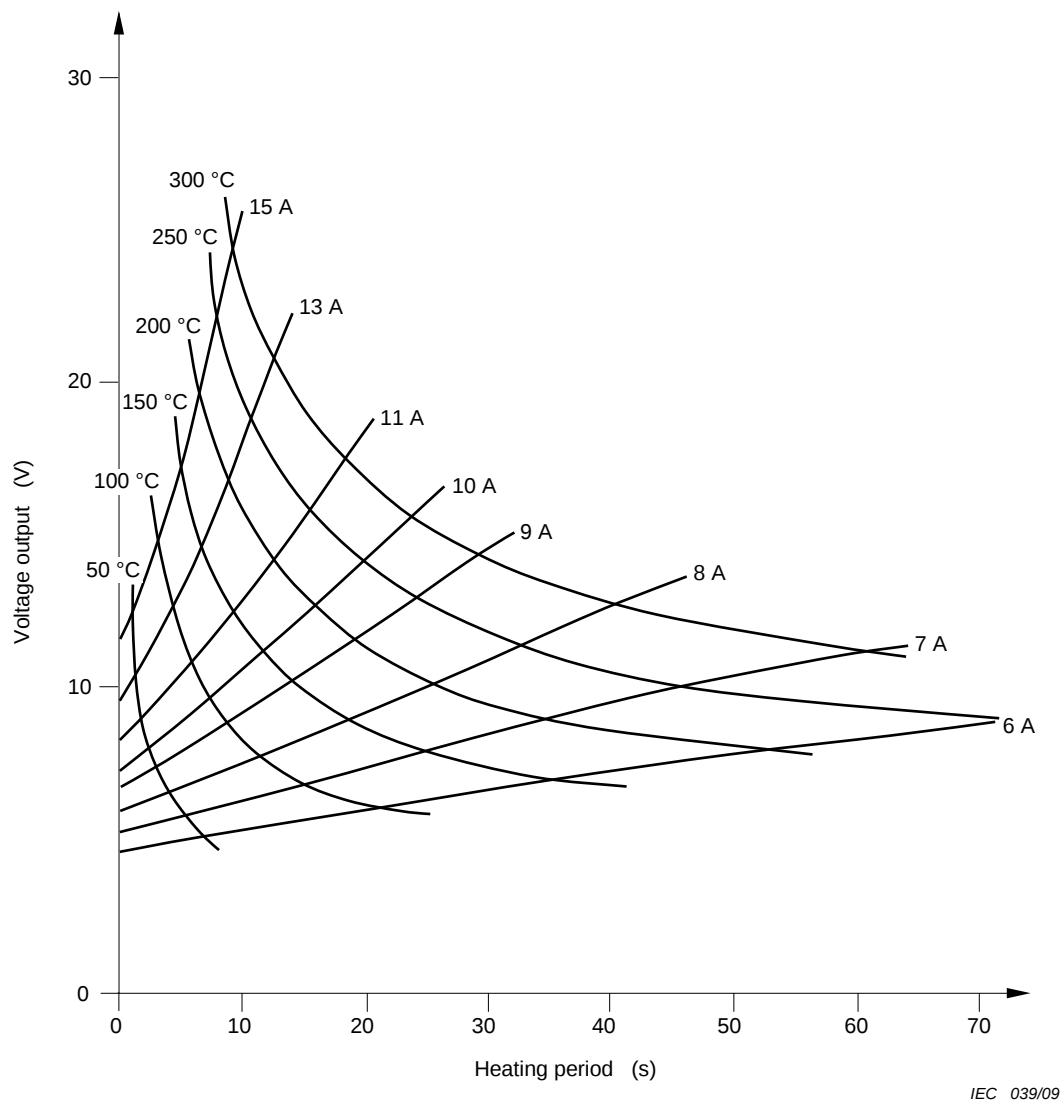


Figure A.4 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,500 mm with isothermic graphs

Annex B (informative)

Friction test methods

B.1 General

This annex provides recommendations to the purchaser and supplier of winding wires with respect to friction test methods to be used for winding wires. The use of additional methods can be agreed upon between purchaser and supplier.

B.2 Test A: Static coefficient of friction test method

B.2.1 Method of test (applicable to enamelled round wires with a nominal conductor diameter from 0,050 mm up to and including 1,600 mm).

The static coefficient of friction (μ_s) is determined by measuring the inclining angle (α) of a plane at the moment when a block begins to slip on the track made from the wire specimen. The wire test specimen shall be removed from the delivery spools by de-reeling over the end flange. The top layers of the spool shall be removed before testing when the wire surface is contaminated by dirt or dust. One part of the wire specimen is straightened and then fixed on the inclining plane by means of the two posts and the two clamps constituting the sliding track. The other part of the wire specimen is mounted in a similar way on the sliding block.

The sliding block with the wire specimen is then placed on the track of the plane to be inclined in such a way that the wire on the block and the wire on the plane are crossed at right angles at the point of contact.

The plane is then slowly inclined (approximately $1^\circ/\text{s}$) until the block starts to slide down the track. At that moment, the angle of inclination (α) is read from the scale.

The static coefficient of friction is calculated as follows:

$$\mu_s = \tan \alpha$$

B.2.2 Test apparatus

The general arrangement of the test apparatus is shown in Figure B.1.

The apparatus consists of a plane (1), which can be inclined to an angle (α) by turning the plane around the axis (8). The support (9) carries a scale (7) marked with the inclination angle (α) or the coefficient of friction ($\tan \alpha$).

The plane has means for fixing the wire specimen (3), for example the two posts (5) and the two clamps (6). The parallel parts of the wire shall be 110 mm apart. They form a sliding track running from the scale end to the axis on the plane.

On the block (2) clamps and posts are provided to fix the second wire specimen (4). The parallel parts of the specimen shall be 60 mm apart. The size of the block must allow the clamps and posts to stay clear of the plane (1) to avoid additional friction forces. The block shall have

- a mass of about 50 g for a wire with a nominal conductor diameter up to and including 0,150 mm;
- a mass of about 500 g for a wire with a nominal conductor diameter over 0,150 mm.

The mass is not critical as it is anyway changed by the mass of the second wire specimen.

The angle of inclination shall be changed slowly by means of a motor-operated block and tackle.

B.3 Test B: First dynamic coefficient of friction test method

B.3.1 Principle

The coefficient of friction, μ_d , is determined by measuring the frictional force, C , applied on the wire when moving under the pressure of a known mass, E :

$$\mu_d = \frac{C}{9,81 \times E}$$

B.3.2 Method of test

The general arrangement of the test apparatus is shown in Figure B.2.

The enamelled wire runs via a guide wheel and a brake (D) over a metal plate (B). Via another guide wheel, the wire is lead below this plate (B) and runs back, parallel with the first passage, over this plate again (see Figure B.2). By means of a capstan (A), the wire is drawn with a speed of 0,25 m/s. A mass (E) is placed on the running wire over the plate (B), which is coupled to a force indication meter (C).

The force indication meter can be coupled to a linear recorder (measuring range 1 mV - 250 mV). This linear recorder shows the spread of the smoothness and the level of the wire smoothness over a long distance.

B.4 Test C: Second dynamic coefficient of friction test method (applicable to enamelled round wires with a nominal conductor diameter from 0,050 mm up to and including 1,600 mm)

B.4.1 Test equipment

The design of typical test equipment is illustrated in Figure B.3. Figure B.4 contains detailed drawings of synthetic sapphires and Figure B.5 is a photograph of the load block. The tester is supplied with a wire guiding system and a take-up which pulls the wire over the test bed at 15 m/min as shown in Figure B.6. The test block is aligned parallel with the test bed and the test weights are perpendicular to the wire specimen.

As the wire is pulled under the test block (synthetic sapphires), the friction between the wire surface and the sapphire surface develops a longitudinal force, which is transferred to the measuring system by a shaft supported by two sets of linear ball bearings in contact with the measuring system. The force indicated by the measuring system is divided by the load on the test surface to obtain the dynamic coefficient of friction.

The measuring system in Figure B.3 shows the dynamic coefficient of friction tester with a load cell in place to measure the force. An LVDT may also be used to measure the force instead of a load cell. The electrical output from the force measurement device is fed into a computer or into a microprocessor that collects data measurements, usually 1 000 points.

Statistics are performed on this data set so that proper interpretation of the results can be made.

NOTE 1 Values for the dynamic coefficient of friction are characteristic of the type of lubrication and the magnet wire specimen surface. The dynamic coefficient of friction values are generally not dependent on wire size.

NOTE 2 Wire lubricated with a mineral oil typically will have a mean dynamic coefficient of friction in the range of 0,9 to 0,16. Wire lubricated with a paraffin wax will typically have a mean dynamic coefficient of friction ranging from 0,03 to 0,06 and will be more consistent in value as evidenced by a lower standard deviation. The mean value, maximum value and standard deviation value can be used to evaluate the application of the lubricant to the wire and smoothness of the wire surface.

The test procedure is designed to provide a measure of the lubrication and the film surface smoothness as a combined value. It is assumed that the wire will be de-reeled from its packaging with minimal contact with surfaces other than those associated with the tester and packaging.

If there is suspicion that the presence of dust or dirt may have an effect on the coefficient of friction, one or two outer layers of wire should be removed from the package and the sample retested.

Test surfaces in contact with the wire shall be clean and dry at the start of each separate test. The solvent used to clean the test load surface should remove the various types of lubricants used and should dry without leaving a film residue.

B.4.2 Test specimen

The surface of the wire should be examined for damage, tangles, or excessive dust or dirt. If any of these conditions are present, the top wire specimen layer of the spool should be surfaced off before testing. The wire test specimen should be removed from the shipping package by de-reeling over the end flange or pulling the wire from a pail or drum.

B.4.3 Specimen preparation

The wire specimen is pulled over a test bed surface under a test load (L). A frictional force (Fd) is developed between the wire surfaces and transferred to an appropriate measuring device. The reading (Fd) in grams-force is divided by the test load (L) in grams-force to obtain the dynamic coefficient of friction μ_d .

$$\mu_d = \frac{F_d}{L}$$

A motor should pull the wire specimen at $15 \pm 1,5$ m/min across a smooth surface using a motor driven take-up.

Various load weights should be available that will provide 100 – 1 000 grams-force.

The test block should be comprised of two mounted synthetic sapphires that have a surface roughness of not more than 2,4 microns. The sapphires are described in Figure B.4 and are mounted in accordance with Figure B.5.

There should be a means to guide the wire and a means to maintain a slight tension if needed.

An electrical force measuring device or transducer measures the force due to friction. A force transducer with a range of 0 – 500 grams-force, a data storage device, and a microprocessor or computer to statistically analyse the data sets should be installed.

A mechanical dampening system consisting of a paddle and a container filled with oil may be used. The electrical signals from the load cell or LVDT can also be dampened electronically.

A cleaning solvent appropriate for dissolving the lubricant being tested should be used for cleaning the sapphires and metal surfaces between tests.

B.4.4 Procedure

The coefficient of friction tester should be level so that the only force being measured by the pressure transducer is that which is perpendicular to the load being applied and that gravity is not a factor.

Calibrate the pressure transducer by setting the zero without any load, and setting the span by hanging a 100 or 200 gram weight. Remove the weight and the display should again read zero.

Enter the parameters of the test into the microprocessor or personal computer.

De-reel the wire from its packaging by pulling the wire over the flange, through the tensioning device, through the guides, and onto the take-up spindle.

Adjust the guide pulleys so that the wire is parallel with the test bed. Clean the test bed, any guide pulleys, and the sapphire surfaces with a suitable solvent.

Place the appropriate weight from Table B.1 onto the load block:

Table B.1 – Load block weights for dynamic coefficient of friction testing

Conductor diameter mm	Weight g
0,050 – 0,071	100
0,071 – 0,125	200
0,125 – 0,450	600
0,450 – 1,600	1 000

Adjust the test bed to make the test load parallel with the test surface. Turn the wire take up on and start collecting data after the setup is stable and aligned and continue until the desired number of data points has been stored.

Analyse the data for minimum reading, maximum reading, mean value, and standard deviation.

The dynamic coefficient of friction μ_d should be calculated as follows:

$$\mu_d = \frac{F_d}{L}$$

where

F_d = force reading in grams force

L = test load in grams force

B.5 Test D: Force of friction by the twisted pair method

B.5.1 Enamelled round wires with a nominal conductor diameter from 0,1 mm up to and including 1,500 mm

From an enamelled wire specimen a twist is made similar to the one used for test 13 (breakdown voltage) in 4.3 of IEC 60851-5. The end of the first twist strand is attached to a fixed jaw and a force is applied to the opposite end of the second strand that has been kept free to slide by traction and without rotating, using for example a dynamometer. The force to separate the two strands is the sliding force.

B.5.2 Method of test

A specimen approximately of 400 mm in length shall be twisted back on itself for a distance of 125 mm on an apparatus as shown in Figure B.7. The force (weight) applied to the wire pair while being twisted and the number of twists are given in Table B.2.

At the twisted end, the loop is cut in two separate places to obtain a maximum separation between these cut ends.

Any bending of the wires, at the cut end or at the other untwisted end, to ensure adequate separation between the wires, shall avoid sharp bends or damage to the insulation.

One end of one wire shall be attached firmly to a jaw, while at the opposite end of the other wire a force (weight) is applied to let that wire slide without any rotation. Three specimens shall be tested.

Table B.2 – Twisted pair method

Nominal conductor diameter mm		Force applied to wire pairs N	Number of twists per 125 mm
Over	Up to and including		
0,10	0,25	0,85	17
0,25	0,315	1,40	15
0,315	0,40	2,40	13
0,40	0,50	3,40	12
0,50	0,71	6,00	11
0,71	0,80	8,50	10
0,80	0,90	10,00	9
0,90	1,00	12,50	8
1,00	1,12	15,00	7
1,12	1,25	20,00	6
1,25	1,50	27,00	5

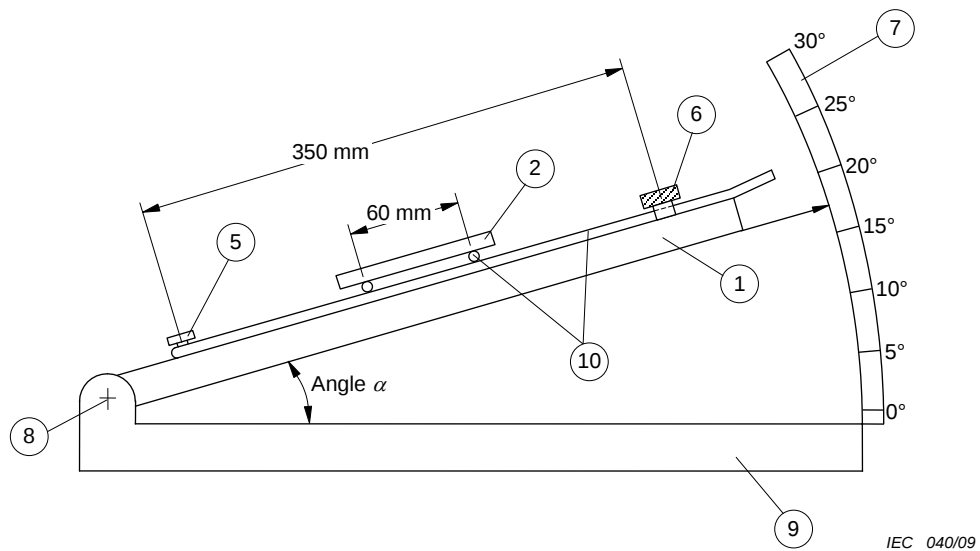


Figure B.1a – Side view

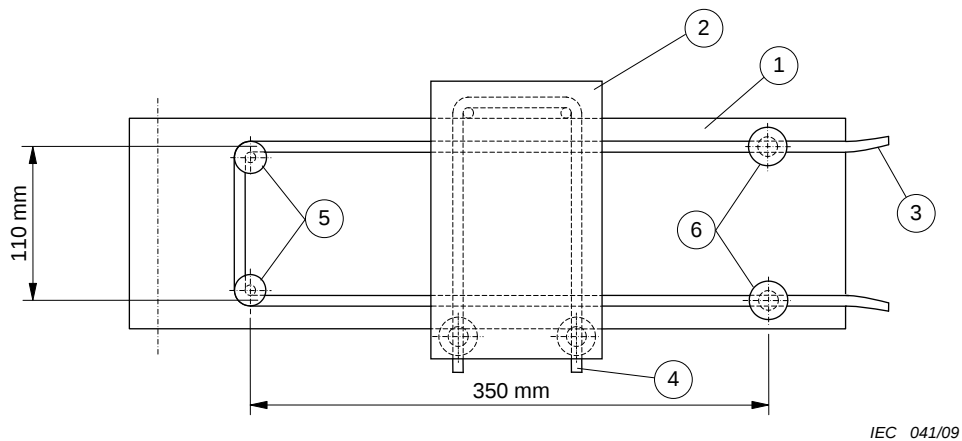


Figure B.1b – Top view

Key

- | | |
|-----------------|--------------------------|
| 1 plane | 6 clamps |
| 2 block | 7 scale |
| 3 wire specimen | 8 axis |
| 4 wire | 9 support |
| 5 posts | 10 winding wire specimen |

Figure B.1 – Static coefficient of friction test apparatus

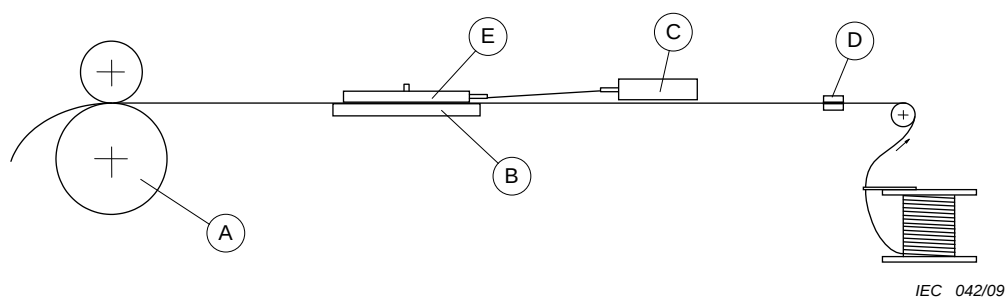


Figure B.2a – Side view

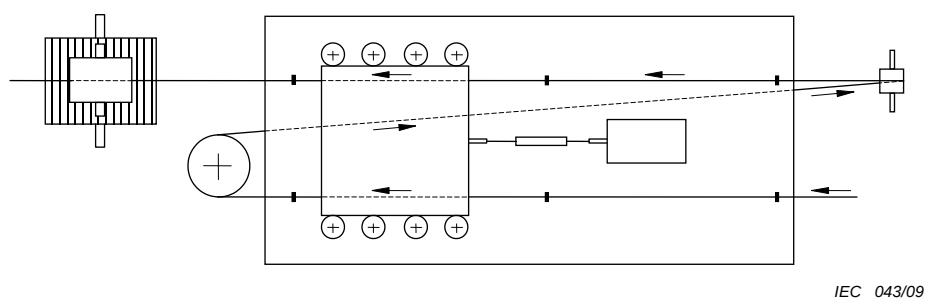
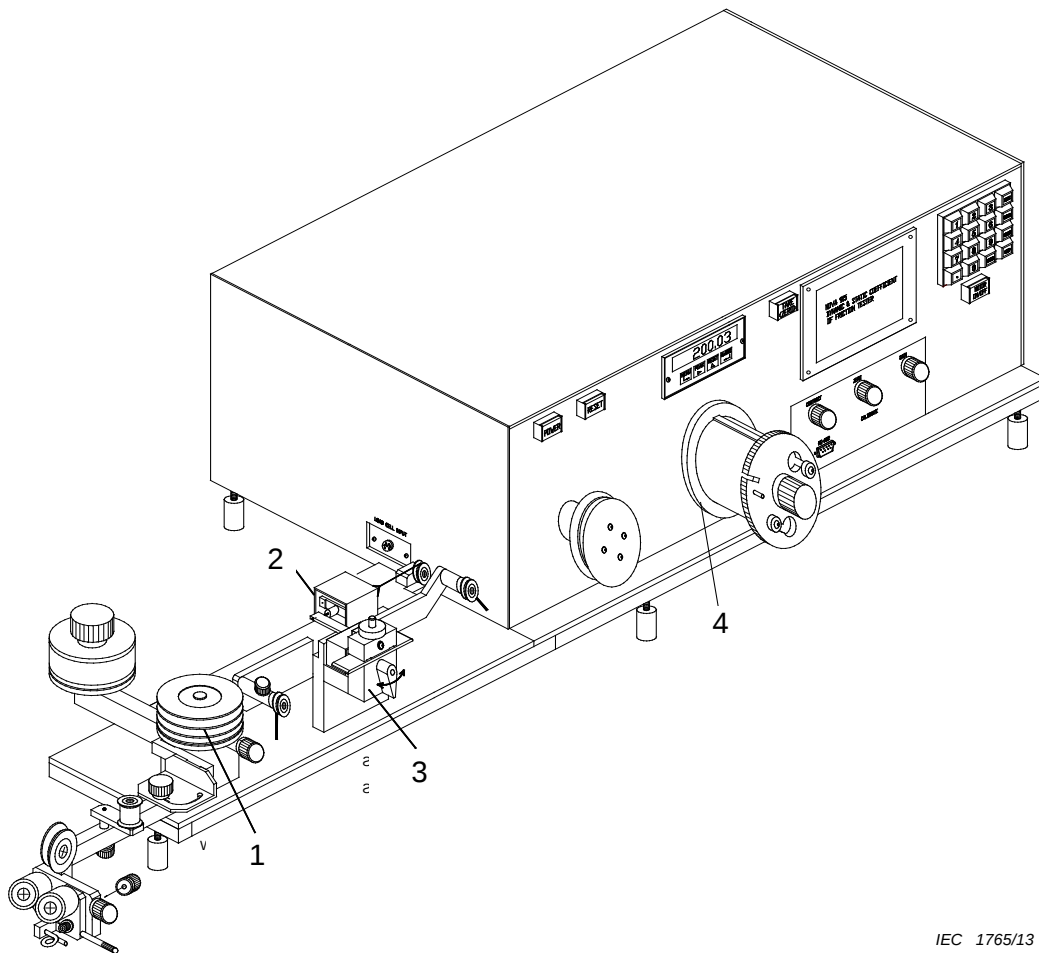


Figure B.2b – Top view

Components

- A capstan
- B plate
- C force indication meter
- D brake
- E mass

Figure B.2 – Dynamic coefficient of friction test apparatus

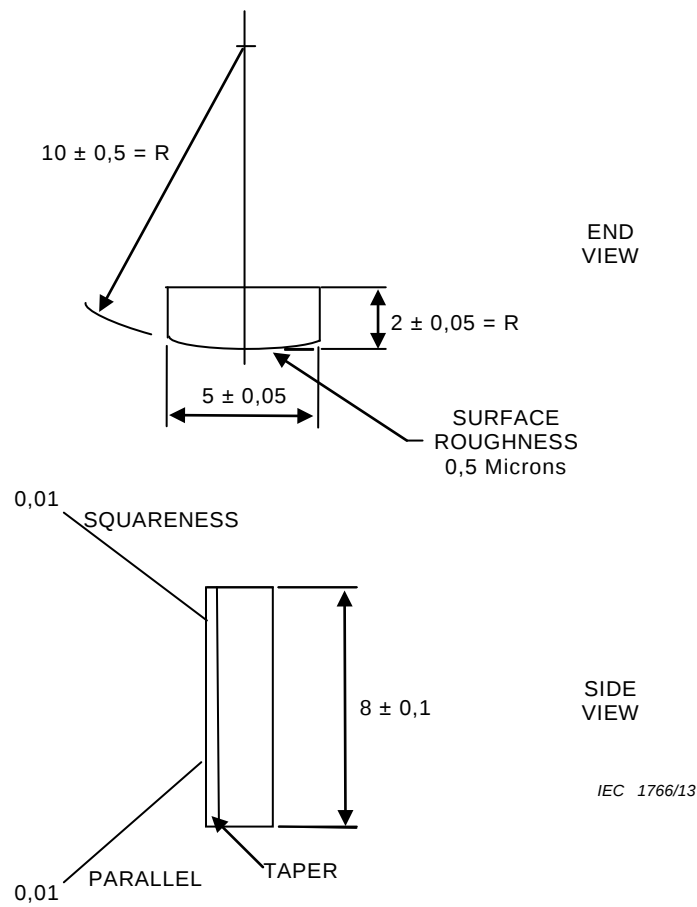


IEC 1765/13

Key

- 1 Wire tensioner
- 2 Load cell assembly
- 3 Sapphire test head and support block assembly
- 4 Wire take-up mandrel

Figure B.3 – Diagram of a typical dynamic coefficient of friction tester



NOTE Dimensions used in the figure are in millimetres.

Figure B.4 – Material – sapphire (synthetic)

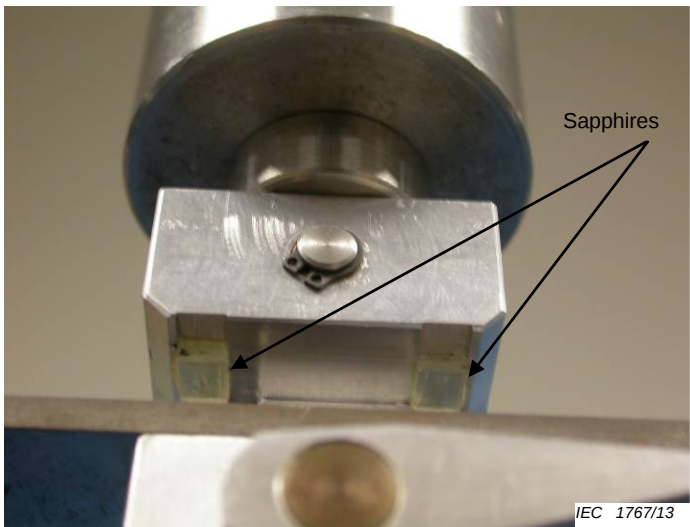
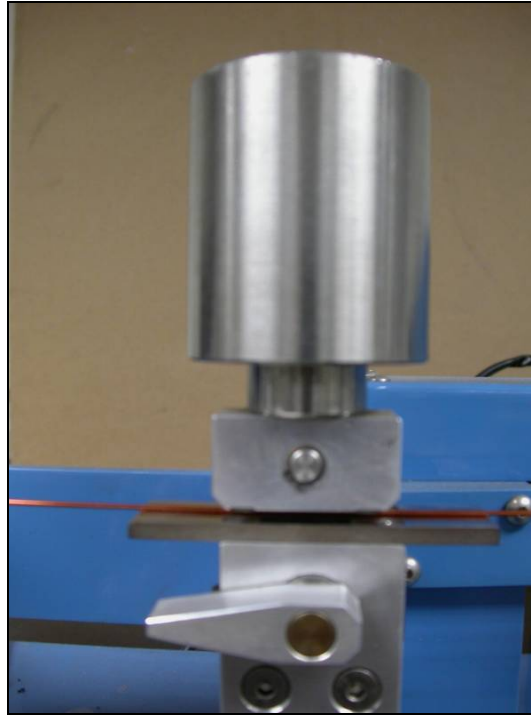
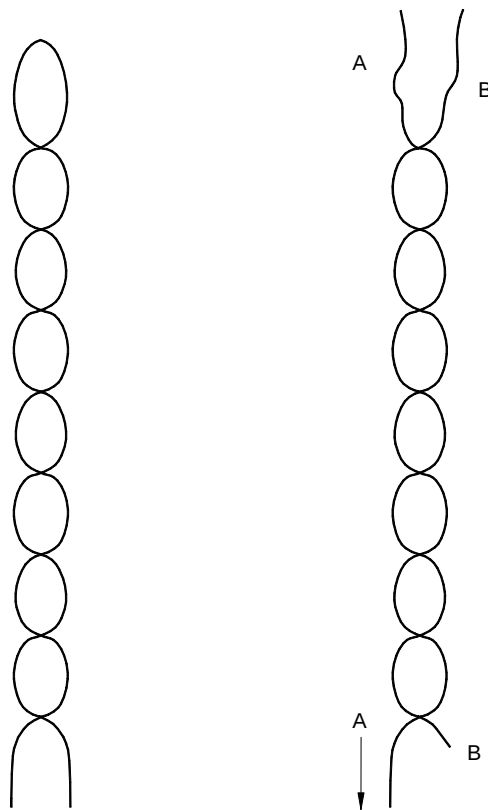


Figure B.5 – Synthetic sapphires mounted on load block



IEC 1768/13

Figure B.6 – Load applied perpendicular to wire path



IEC 049/09

Figure B.7 – Twisted specimen

Bibliography

IEC 60851-5:2008, *Winding wires – Test methods – Part 5: Electrical properties*

IEC 61033:1991, *Test methods for the determination of bond strength of impregnating agents to an enamelled wire substrate*
Amendment 1:2006

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	46
INTRODUCTION	48
1 Domaine d'application	49
2 Références normatives	49
3 Essai 6: Allongement	49
3.1 Allongement à la rupture	49
3.2 Résistance à la traction	49
4 Essai 7: Effet de ressort	50
4.1 Fil de section circulaire de diamètre nominal du conducteur de 0,080 mm jusqu'à 1,600 mm inclus	50
4.1.1 Principe	50
4.1.2 Equipement	50
4.1.3 Procédure	52
4.2 Fil de section circulaire de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,600 mm et fil de section rectangulaire	53
4.2.1 Principe	53
4.2.3 Eprouvette	54
4.2.4 Procédure	54
5 Essai 8: Souplesse et adhérence	54
5.1 Essai d'enroulement sur mandrin	54
5.1.1 Fil de section circulaire	54
5.1.2 Fil de section rectangulaire	55
5.1.3 Fil toronné avec enveloppe	56
5.2 Essai d'étirement (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,600 mm)	56
5.3 Essai de traction brusque (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur jusqu'à et y compris 1,000 mm)	57
5.4 Essai de pelage (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,000 mm)	58
5.5 Essai d'adhérence	59
5.5.1 Fil de section rectangulaire émaillé	59
5.5.2 Fil de section circulaire ou rectangulaire recouvert d'une enveloppe fibreuse imprégnée	59
5.5.3 Fil de section circulaire ou rectangulaire émaillé recouvert d'une enveloppe fibreuse	60
5.5.4 Fil de section circulaire ou rectangulaire recouvert d'un ruban (uniquement pour ruban adhésif)	60
6 Essai 11: Résistance à l'abrasion (applicable au fil de section circulaire émaillé)	60
6.1 Principe	60
6.2 Equipement	60
6.3 Procédure	61
7 Essai 18: Thermo-adhérence (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal de conducteur supérieur à 0,050 mm jusqu'à 2,000 mm inclus)	62
7.1 Collage résiduel vertical d'un bobinage hélicoïdal	62
7.1.1 Diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,050 mm inclus	62
7.1.2 Diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,050 mm jusqu'à 2,000 mm inclus	62
7.2 Force de collage d'un bobinage torsadé	65

7.2.1	Principe	65
7.2.2	Équipement	65
7.2.3	Eprouvette	65
7.2.4	Procédure	67
7.2.5	Résultats	67
Annexe A (informative) Force de collage des fils thermo-adhérents		69
Annexe B (informative) Méthodes d'essai de frottement		75
Bibliographie		85
Figure 1 – Appareil pour la mesure de l'effet du ressort		51
Figure 2 – Construction et détails du mandrin (voir le Tableau 1)		51
Figure 3 – Appareil pour la mesure de l'effet de ressort		54
Figure 4 – Appareil d'essai d'enroulement sur mandrin		56
Figure 5 – Appareil pour l'essai de traction brusque		57
Figure 6 – Appareil pour l'essai de pelage		58
Figure 7 – Racloir		59
Figure 8 – Section droite du fil dont on a retiré l'émail		59
Figure 9 – Appareil pour l'essai d'abrasion unidirectionnelle		61
Figure 10 – Dispositifs pour l'essai de thermo-adhérence d'un bobinage hélicoïdal		64
Figure 11 – Dispositif de bobinage		66
Figure 12 – Bobine de forme ovale		67
Figure 13 – Dispositif de torsion avec une charge appliquée au bobinage torsadé		67
Figure 14 – Disposition des supports		68
Figure A.1 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,300 mm		71
Figure A.2 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,315 mm		72
Figure A.3 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,355 mm		73
Figure A.4 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,500 mm		74
Figure B.1 – Appareil pour l'essai statique du coefficient de frottement		80
Figure B.2 – Appareil pour l'essai dynamique du coefficient de frottement		81
Figure B.3 – Schéma d'un dispositif d'essai type du coefficient dynamique de frottement		82
Figure B.4 – Matériau – saphir (synthétique)		83
Figure B.5 – Saphirs synthétiques montés sur un bloc de charge		83
Figure B.6 – Charge appliquée perpendiculairement au trajet du fil		97
Figure B.7 – Eprouvette torsadée		84
Tableau 1 – Mandrin pour l'effet de ressort		53
Tableau 2 – Grossissement pour détecter les craquelures		55
Tableau 3 – Charge pour l'essai de pelage		58
Tableau 4 – Préparation des bobinages hélicoïdaux		63
Tableau 5 – Collage résiduel à température élevée		64
Tableau B.1 – Poids du bloc de charge pour les essais du coefficient dynamique de frottement		78
Tableau B.2 – Méthode du fil torsadé		79

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FILS DE BOBINAGE – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 3: Propriétés mécaniques

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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 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.

Cette version consolidée de la CEI 60851-3 porte le numéro d'édition 3.1. Elle comprend la troisième édition (2009) [documents 55/1043/CDV et 55/1059/RVC] et son amendement 1 (2013) [documents 55/1392/FDIS et 55/1407/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

Cette publication a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

La Norme internationale CEI 60851-3 a été établie par le comité d'études 55 de la CEI: Fils de bobinage.

Par rapport à l'édition précédente, des modifications techniques majeures sont introduites au Paragraphe 5.3, Essai de traction brusque.

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

Une liste de toutes les parties de la CEI 60851, sous le titre général *Fils de bobinage – Méthodes d'essai*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement 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

La présente partie de la CEI 60851 constitue un élément d'une série de normes traitant des fils isolés utilisés dans les enroulements des appareils électriques. La série comporte trois groupes définissant respectivement ce qui suit:

- a) les fils de bobinage – Méthodes d'essai (CEI 60851);
- b) les spécifications pour types particuliers de fils de bobinage (CEI 60317);
- c) le conditionnement des fils de bobinage (CEI 60264).

FILS DE BOBINAGE – MÉTHODES D'ESSAI –

Partie 3: Propriétés mécaniques

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60851 donne les méthodes d'essai suivantes des fils de bobinage:

- Essai 6: Allongement;
- Essai 7: Effet de ressort;
- Essai 8: Souplesse et adhérence;
- Essai 11: Résistance à l'abrasion;
- Essai 18: Thermo-adhérence.

Pour les définitions, les généralités concernant les méthodes d'essai et les séries complètes des méthodes d'essai des fils de bobinage, voir la CEI 60851-1.

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 60851-1, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai – Partie 1: Généralités*

CEI 60851-2:1996, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai – Partie 2: Détermination des dimensions*

ISO 178:2001, *Plastiques – Détermination des propriétés en flexion*
Amendement 1:2004

3 Essai 6: Allongement

3.1 Allongement à la rupture

L'allongement est l'augmentation de longueur exprimée en pourcentage de la longueur initiale.

Une longueur de fil droit doit être allongée jusqu'à la rupture du conducteur à la vitesse de (5 ± 1) mm/s au moyen d'une machine d'essai d'allongement ou une machine d'essai de traction qui réalise la mesure sur une longueur libre comprise entre 200 mm et 250 mm. L'augmentation linéaire à la rupture doit être calculée en pourcentage de la longueur libre mesurée.

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les trois valeurs individuelles doivent être notées. La moyenne des valeurs est considérée comme l'allongement à la rupture.

3.2 Résistance à la traction

La résistance à la traction est le rapport entre la force appliquée au moment de la rupture et la section initiale.

Une longueur de fil droit doit être allongée jusqu'à la rupture du conducteur à la vitesse de (5 ± 1) mm/s au moyen d'une machine d'essai de traction qui réalise la mesure sur une longueur libre comprise entre 200 mm et 250 mm et enregistre la force au moment de la rupture.

Trois éprouvettes doivent être essayées. La section initiale et les trois valeurs individuelles de force à la rupture doivent être notées. La moyenne des rapports entre la force au moment de la rupture et la section initiale est considérée comme la résistance à la traction.

4 Essai 7: Effet de ressort

L'effet de ressort est le retour en arrière mesuré en degrés après que le fil a été soit bobiné en forme d'hélice soit courbé d'un angle.

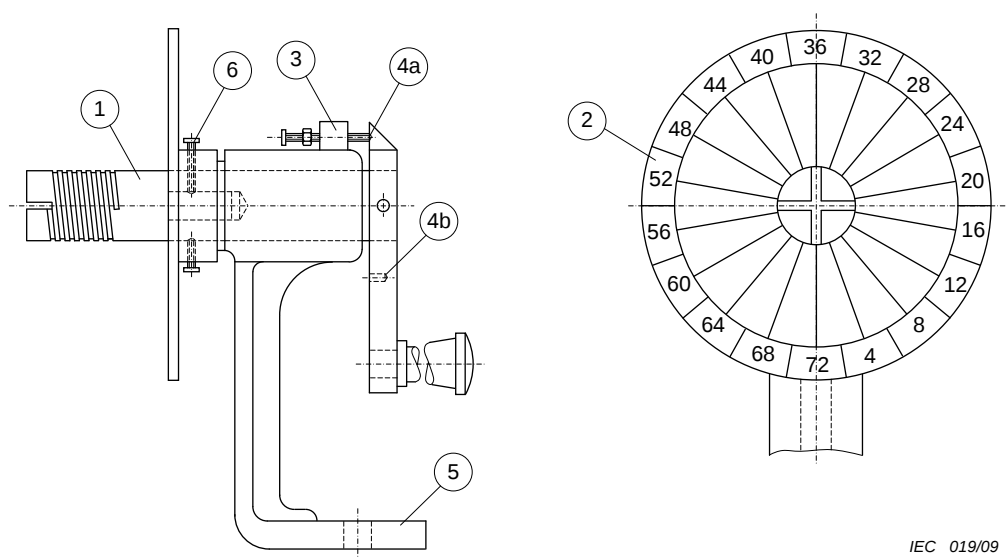
4.1 Fil de section circulaire de diamètre nominal du conducteur de 0,080 mm jusqu'à 1,600 mm inclus

4.1.1 Principe

Une longueur de fil droit est enroulée sur un mandrin de façon à former cinq spires. La norme appropriée donne le diamètre du mandrin et la traction à appliquer. La mesure de l'effet de ressort est indiquée par l'angle de retour en arrière de l'extrémité des cinq spires.

4.1.2 Equipement

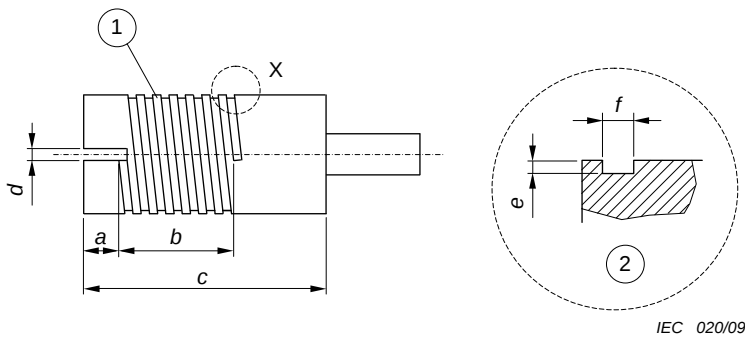
La Figure 1 décrit un exemple d'équipement d'essai. Les détails du mandrin sont donnés à la Figure 2 et dans le Tableau 1. La Figure 2 mentionne une gorge en hélice qui peut être utilisée pour faciliter le bobinage. Toutefois cette gorge n'est pas obligatoire. Le cadran porte 72 divisions équidistantes de façon qu'avec cinq tours du fil le retour en arrière pour un seul tour soit lu directement.



Légende

- 1 mandrin
- 2 cadran
- 3 dispositif de verrouillage
- 4 dispositif de verrouillage
- 5 base
- 6 vis de fixation du mandrin

Figure 1 – Appareil pour la mesure de l'effet de ressort



Légende

- 1 7 filets
- 2 agrandissement de la partie X

Figure 2 – Construction et détails du mandrin (voir le Tableau 1)

Tableau 1 – Mandrins pour l'effet de ressort

Diamètre du mandrin ^a mm	Dimensions ^b mm					
	a	b	c	d	e	f
5	6,0	7,5	32	0,30	0,05	0,13
7	6,0	9,0	34	0,40	0,07	0,18
10	6,0	9,0	34	0,60	0,10	0,25
12,5	6,0	9,0	40	0,80	0,14	0,35
19	10,0	11,0	45	1,20	0,20	0,50
25	12,5	12,5	45	2,00	0,28	0,70
37,5	12,5	14,5	47	2,40	0,40	1,00
50	12,5	17,5	50	3,00	0,80	2,00

^a Au fond de la gorge, le cas échéant.
^b Voir Figure 2.

4.1.3 Procédure

Le mandrin spécifié doit être monté et verrouillé à axe horizontal de façon que la rainure ou le trou d'attache du fil corresponde au repère zéro du cadran. Le mandrin doit être talqué pour empêcher le fil de coller à la surface du mandrin.

Une tension doit être appliquée à une longueur de fil droit d'environ 1 m en attachant la charge spécifiée à l'une des extrémités du fil. La manivelle pour faire tourner le mandrin doit être déverrouillée. L'autre extrémité du fil doit être engagée dans la rainure ou le trou de façon qu'il traverse suffisamment le mandrin pour être fixé et maintenu sur le mandrin. La charge doit être abaissée doucement pour appliquer la traction au fil qui est suspendu verticalement au-dessous du mandrin, le repère zéro du cadran et la rainure ou le trou pointant vers le bas.

L'extrémité libre du fil ayant été attachée solidement, le mandrin doit être entraîné dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (le cadran étant vu de face) de façon à former cinq spires complètes et de plus jusqu'à ce que le zéro du cadran soit tourné verticalement vers le haut. La manivelle doit alors être verrouillée dans cette position. Pendant que le fil est maintenu en place, la charge doit être enlevée. Le fil doit être coupé à environ 25 mm au-delà de l'extrémité de la cinquième spire. Ces 25 mm doivent être pliés à la verticale devant le zéro du cadran pour faire office d'aiguille.

Un crayon ou un outil similaire doit être placé à la gauche de cette extrémité de fil pour empêcher tout retour en arrière soudain. Le bobinage doit être laissé ensuite se dérouler lentement sans à-coups.

NOTE Si le fil se détend brusquement, les résultats obtenus peuvent être erronés.

Le mandrin et le cadran doivent alors être libérés et entraînés dans le sens des aiguilles d'une montre pour amener de nouveau l'aiguille en arrière en position verticale. L'angle de retour en arrière est égal à la lecture du cadran correspondant à l'aiguille. Dans le cas d'un fil très nerveux, l'aiguille peut faire plus d'un tour. Il est alors nécessaire d'ajouter 72 à la lecture du cadran pour chaque révolution complète.

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les trois valeurs individuelles doivent être notées. La moyenne des valeurs est considérée comme l'effet de ressort.

4.2 Fil de section circulaire de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,600 mm et fil de section rectangulaire

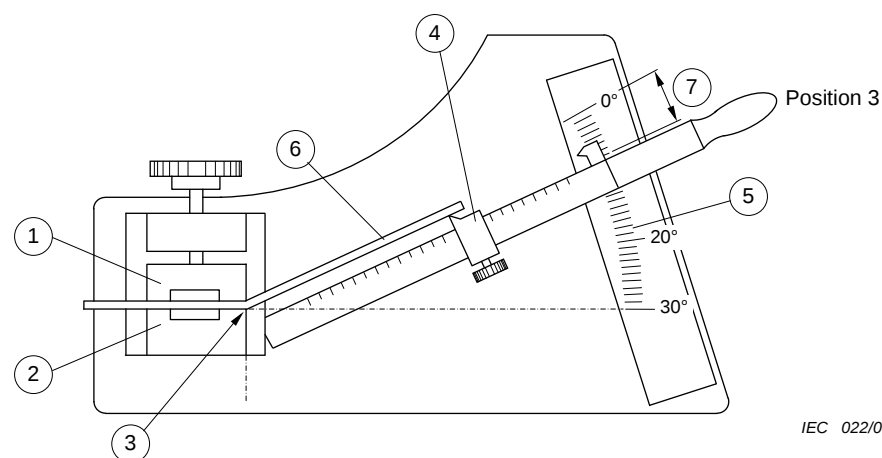
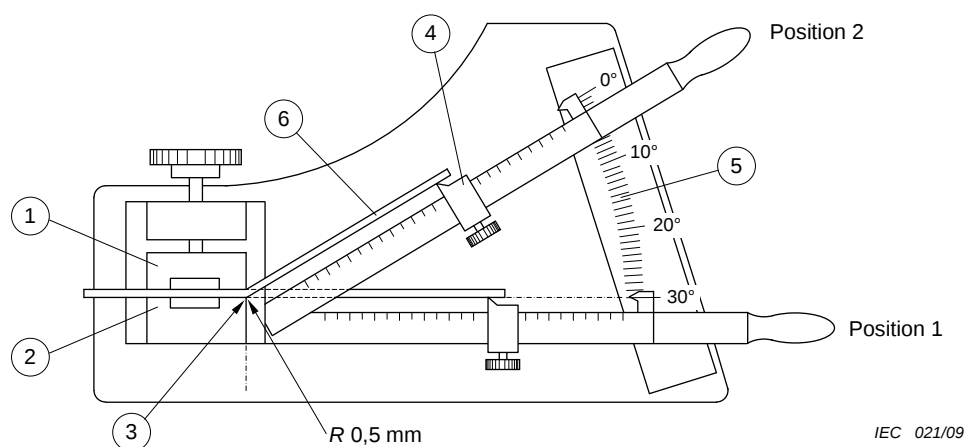
4.2.1 Principe

Une longueur de fil droit doit être courbée d'un angle de 30°. Après avoir supprimé la contrainte, la mesure de l'effet de ressort est indiquée par l'angle de retour en arrière.

4.2.2 Equipement

La Figure 3 décrit un exemple d'équipement d'essai. Il consiste fondamentalement en deux mâchoires, dont l'une est fixe (2) et l'autre mobile (1), et un secteur gradué en degrés (5) dont l'échelle de 0° à 10° est graduée par paliers de 0,5°. Le secteur gradué est un arc placé dans un plan à 90° des faces de serrage. Son centre est situé sur l'arête extérieure de la mâchoire fixe (3). Le levier avec son point d'appui placé au centre de l'arc peut se déplacer sur le secteur gradué dans le plan vertical.

Le levier doit être muni d'une aiguille ou d'un repère pour une lecture convenable de l'angle de retour en arrière. Le levier d'une longueur approximative de 305 mm est muni d'une échelle en millimètres dont l'origine est le centre de l'arc et d'un curseur (4) mobile à arête vive.



Légende

- 1 mâchoire mobile
- 2 mâchoire fixe

- 3 centre du secteur gradué
- 4 curseur
- 5 secteur gradué
- 6 éprouvette
- 7 effet de ressort

Figure 3 – Appareil pour la mesure de l'effet de ressort

4.2.3 Epreuve

Un échantillon de fil d'au moins 1 200 mm de long doit être prélevé de la bobine avec une courbure aussi petite que possible. Le fil doit être redressé à la main et coupé en trois longueurs de 400 mm chacune. Un allongement à l'aide d'un outil ne doit pas être utilisé. Une courbure inutile doit être évitée pour réduire l'écrouissage.

4.2.4 Procédure

La position du curseur sur le levier est déterminée en multipliant le diamètre du conducteur ou son épaisseur par 40. L'éprouvette doit être serrée entre les mâchoires avec une force juste suffisante pour éviter le glissement. L'éprouvette doit être serrée dans une position qui permette la courbure du fil dans la direction qu'il avait sur la bobine. L'extrémité libre de l'éprouvette doit dépasser l'arête vive du curseur de (12 ± 2) mm.

A l'aide du levier partant de la position initiale (le repère 30° en position 1), le fil doit être courbé de 30° (le repère 0° en position 2). Le temps nécessaire doit être compris entre 2 s et 5 s. L'éprouvette doit être maintenue dans cette position pendant pas plus de 2 s, puis déplacée dans l'autre sens à la même vitesse angulaire que lors de la courbure, jusqu'à ce que l'arête vive du curseur ne soit plus au contact de l'éprouvette. Le levier doit être à nouveau déplacé jusqu'à ce que l'arête vive du curseur vienne au contact de l'éprouvette sans la courber. Dans cette position, l'angle de retour en arrière est égal à celui lu sur l'échelle du secteur gradué avec l'aiguille du levier (position 3).

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les trois valeurs individuelles doivent être notées. La moyenne des valeurs est considérée comme l'effet de ressort.

5 Essai 8: Souplesse et adhérence

La souplesse et l'adhérence reflètent la capacité du fil à supporter des étirements, bobinages, courbures ou torsions sans montrer de craquelures ou de perte d'adhérence de l'isolant.

5.1 Essai d'enroulement sur mandrin

5.1.1 Fil de section circulaire

Une longueur de fil droit doit être enroulée de façon à former 10 spires jointives sur un mandrin métallique bien poli dont le diamètre est donné dans la norme appropriée. La vitesse d'enroulement du mandrin doit être de 1 r/s à 3 r/s, la traction exercée sur le fil étant telle que celui-ci soit maintenu en contact avec le mandrin. L'enroulement doit être effectué sans allongement ni torsion. Des équipements appropriés doivent être utilisés.

5.1.1.1 Fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur jusqu'à 1,600 mm inclus

Si la norme appropriée demande un préallongement avant de réaliser l'enroulement, le fil doit être allongé du pourcentage spécifié à l'Article 3. Après enroulement, l'éprouvette doit être examinée avec une loupe en vue de déceler les craquelures éventuelles avec un grossissement donné dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Grossissement pour détecter les craquelures

Diamètre nominal du conducteur mm		Grossissement ^a
A partir de	Jusqu'à et y compris	
–	0,040	10 à 15 fois
0,040	0,500	6 à 10 fois
0,500	1,600	1 à 6 fois
^a Une fois correspond à la vision normale.		

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les craquelures détectées doivent être notées.

5.1.1.2 Fil de section circulaire recouvert d'une enveloppe fibreuse

Après enroulement l'éprouvette doit être examinée en vue de déceler l'apparition du conducteur nu à l'oeil nu ou avec un grossissement maximal de six fois.

Trois éprouvettes doivent être essayées. L'apparition du conducteur nu doit être notée.

5.1.1.3 Fil de section circulaire émaillé recouvert d'une enveloppe fibreuse

Après enroulement, l'éprouvette doit être examinée en vue de déceler l'apparition du conducteur nu ou de l'émail sous-jacent à l'oeil nu ou avec un grossissement maximal de six fois.

Trois éprouvettes doivent être essayées. L'apparition du conducteur nu ou de l'émail sous-jacent doit être notée.

5.1.1.4 Fil de section circulaire recouvert d'un ruban

Après enroulement, l'éprouvette doit être examinée en vue de déceler les craquelures éventuelles ou le pelage à l'oeil nu ou avec un grossissement maximal de six fois.

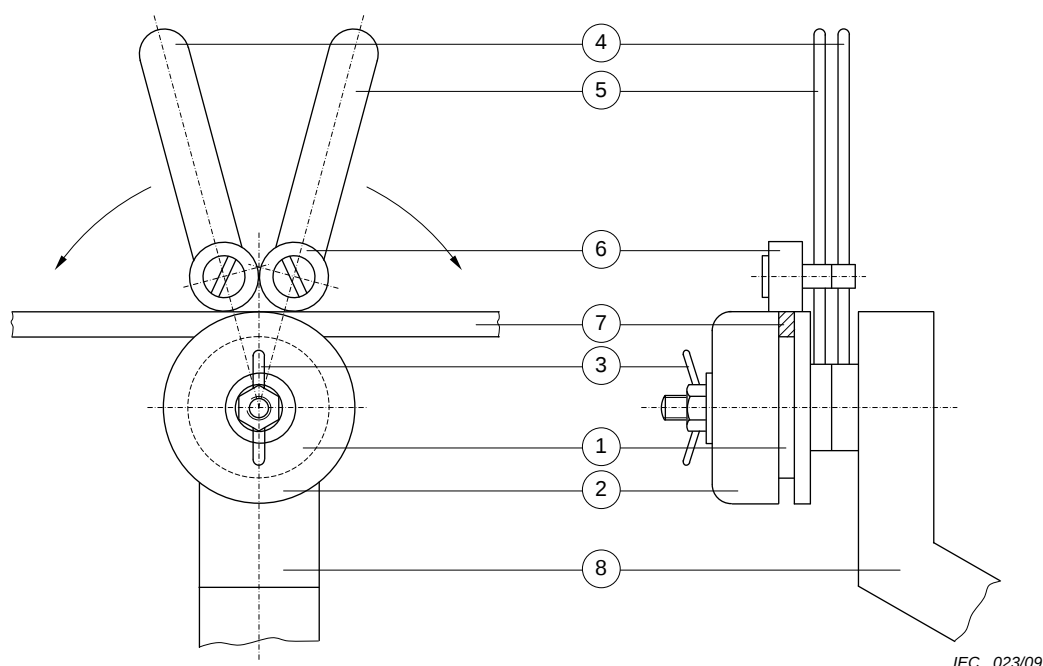
Trois éprouvettes doivent être essayées. L'apparition du conducteur nu ou le pelage doivent être notés.

5.1.2 Fil de section rectangulaire

Une longueur de fil droit de 400 mm environ doit être courbée à 180° sur un mandrin poli dont le diamètre est donné dans la norme appropriée dans deux directions en forme de S allongé. La partie droite entre les deux formes en U doit être d'au moins 150 mm. Il est recommandé d'éviter que l'éprouvette se voile ou prenne une forme irrégulière. La Figure 4 décrit un appareil approprié.

Après courbure, l'isolant doit être examiné sous un grossissement de six à dix en vue de déceler ce qui suit: les craquelures éventuelles dans le cas d'un fil émaillé, l'apparition du conducteur nu ou de l'émail sous-jacent dans le cas d'un fil à enveloppe fibreuse, les craquelures et le pelage dans le cas d'un fil recouvert d'un ruban.

Six éprouvettes doivent être courbées, trois sur plat (sur l'épaisseur), trois sur chant (sur la largeur). Les craquelures détectées, le pelage, l'apparition du conducteur nu ou de l'émail sous-jacent doivent être notés quand le critère s'applique.



Légende

- 1 mandrin
- 2 collier de serrage du mandrin
- 3 écrou
- 4 levier
- 5 levier
- 6 roulement à billes
- 7 éprouvette
- 8 support

Figure 4 – Appareil d'essai d'enroulement sur mandrin

5.1.3 Fil toronné avec enveloppe

Une longueur de fil droit doit être enroulée de façon à former 10 spires continues sur un mandrin poli ayant le diamètre indiqué dans la norme appropriée avec la traction donnée en 3.2.5.3 de la CEI 60851-2. En l'enroulant autour du mandrin, il convient de s'assurer que le fil toronné n'est pas tordu à chaque tour.

Après l'enroulement, l'éprouvette doit être examinée à l'oeil nu en vue de déceler des ouvertures dans l'enveloppe.

Une éprouvette doit être essayée. La non-conformité de la texture de l'enveloppe doit être notée.

5.2 Essai d'étirement (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,600 mm)

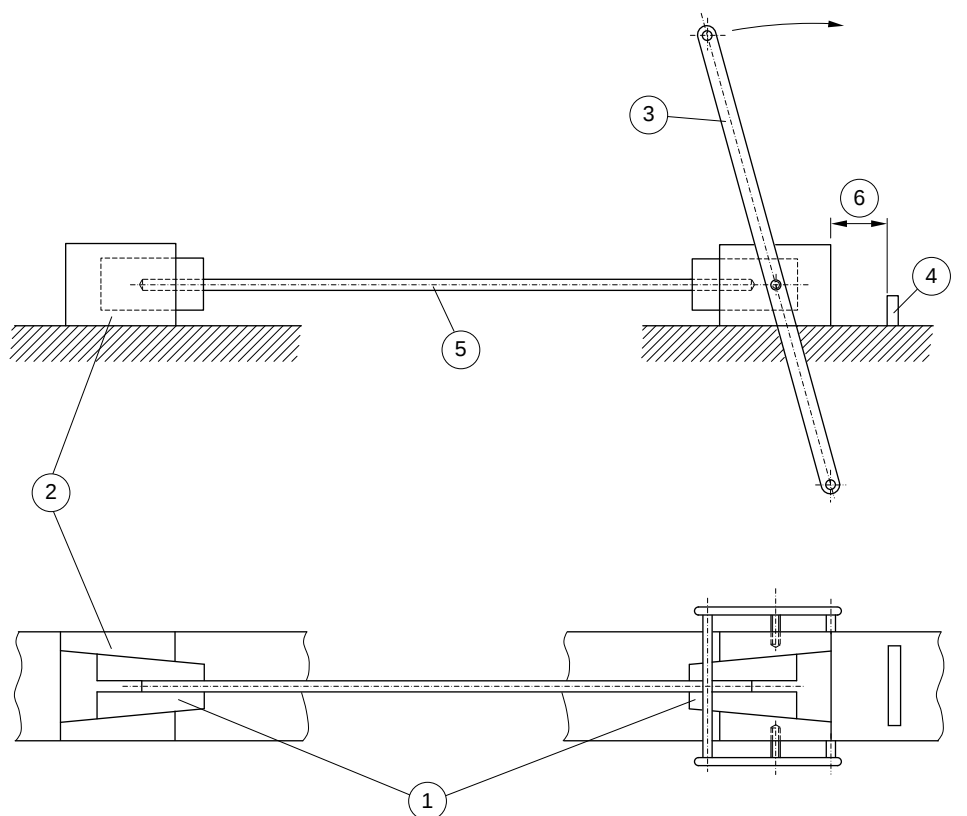
Une longueur de fil droit doit être allongée conformément à l'Article 3 au pourcentage spécifié dans la norme appropriée. Après allongement, l'éprouvette doit être examinée en vue de déceler les craquelures éventuelles ou les pertes d'adhérence à l'oeil nu ou avec un grossissement maximal de six fois.

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les craquelures détectées et/ou la perte d'adhérence doivent être notées.

5.3 Essai de traction brusque (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur jusqu'à et y compris 1,000 mm)

Une longueur de fil droit doit être étirée brusquement à rupture à l'aide de l'appareil d'essai décrit à la Figure 5. Une longueur de mesure libre comprise entre 200 mm et 250 mm doit être fournie. Après étirement, l'éprouvette doit être examinée en vue de déceler les craquelures éventuelles ou les pertes d'adhérence avec un grossissement donné dans le Tableau 2. On ne doit pas tenir compte des parties situées à moins de 2 mm du point de rupture.

Trois éprouvettes doivent être essayées. Les craquelures détectées et/ou la perte d'adhérence doivent être notées.



IEC 024/09

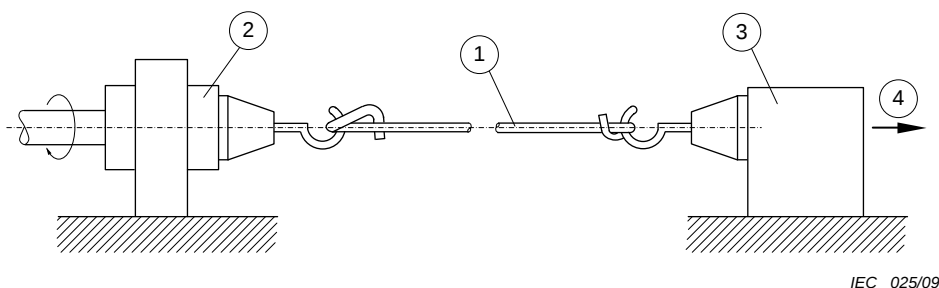
Légende

- 1 coins de serrage (mordaches)
- 2 partie fixe des mâchoires
- 3 bras de levier
- 4 arrêtoir réglable
- 5 éprouvette
- 6 allongement spécifié

Figure 5 – Appareil pour l'essai de traction brusque

5.4 Essai de pelage (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,000 mm)

Une longueur de fil droit doit être placée dans l'appareil d'essai décrit à la Figure 6 consistant en deux dispositifs de fixation distants de 500 mm sur le même axe. L'un des dispositifs peut tourner. L'autre ne peut tourner mais peut se déplacer suivant l'axe; ce deuxième dispositif est chargé selon le Tableau 3 pour appliquer une traction au fil lorsque ce dernier tourne.



Légende

- 1 éprouvette
- 2 mordache tournante
- 3 mordache fixe
- 4 charge

Figure 6 – Appareil pour l'essai de pelage

Tableau 3 – Charge pour l'essai de pelage

Diamètre nominal du conducteur mm		Charge N
A partir de	Jusqu'à et y compris	
1,000	1,400	25
1,400	1,800	40
1,800	2,240	60
2,240	2,800	100
2,800	3,550	160
3,550	4,500	250
4,500	5,000	400

Au moyen d'un racloir comme celui de la Figure 7, le revêtement doit être enlevé sur deux génératrices opposées du fil jusqu'au conducteur nu comme indiqué à la Figure 8. La pression du racloir doit être suffisante pour enlever le revêtement et donner une surface propre et lisse à la limite revêtement/conducteur sans enlever une quantité appréciable de matériau conducteur. L'enlèvement du revêtement doit commencer à environ 10 mm de chacun des dispositifs de fixation. Le dispositif de fixation tournant doit être actionné à une vitesse comprise entre 60 r/min et 100 r/min jusqu'à ce que le nombre de tours *R* atteigne la valeur spécifiée dans la norme appropriée.

Après pelage et rotation, l'éprouvette doit être examinée en vue de détecter une perte d'adhérence. Le revêtement qui peut être enlevé du fil sans difficulté (par exemple avec l'ongle du pouce) doit être considéré comme ayant perdu son adhérence même s'il ne s'est pas complètement détaché du fil.

Une éprouvette doit être essayée. Une perte d'adhérence doit être notée.

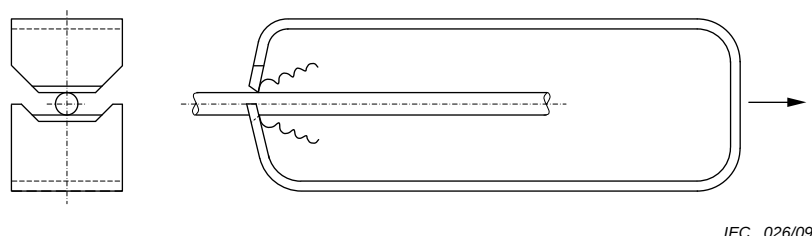


Figure 7 – Racloir

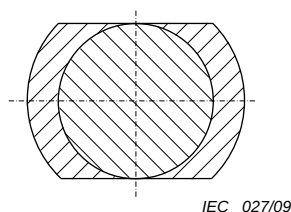


Figure 8 – Section droite du fil dont on a retiré l'email

5.5 Essai d'adhérence

Une longueur de fil droit de 300 mm environ doit être allongée conformément à l'Article 3 du pourcentage spécifiée dans la norme appropriée.

5.5.1 Fil de section rectangulaire émaillé

Le revêtement doit être coupé selon le périmètre d'une section droite, sensiblement au milieu de la longueur mesurée qui sera soumise à l'allongement. Après allongement, l'éprouvette doit être examinée quant à la perte d'adhérence sur le conducteur.

Une éprouvette doit être essayée. Si une perte d'adhérence, mesurée longitudinalement à partir de l'incision, est observée, elle doit être notée. La longueur de la perte d'adhérence doit être mesurée dans une seule direction à partir de l'incision. La valeur maximale relevée doit être notée après l'examen de tous les côtés de l'éprouvette.

5.5.2 Fil de section circulaire ou rectangulaire recouvert d'une enveloppe fibreuse imprégnée

L'isolant doit être retiré de toute la longueur du fil qui sera soumise à l'allongement à l'exception de la partie centrale de 100 mm. Après allongement, l'éprouvette doit être examinée quant à la perte d'adhérence sur le conducteur.

Une éprouvette doit être essayée. La perte d'adhérence observée par le glissement de l'isolant le long du conducteur dans le cas des fils de section circulaire, ou par le décollement dans le cas des fils de section rectangulaire, doit être notée.

5.5.3 Fil de section circulaire ou rectangulaire émaillé recouvert d'une enveloppe fibreuse

Le revêtement doit être coupé selon le périmètre d'une section droite en deux points espacés de 100 mm dans la partie centrale du conducteur qui sera soumise à l'allongement. Après allongement, l'éprouvette doit être examinée quant à la perte d'adhérence sur le conducteur.

Une éprouvette doit être essayée. La perte d'adhérence observée doit être notée.

5.5.4 Fil de section circulaire ou rectangulaire recouvert d'un ruban (uniquement pour ruban adhésif)

Le revêtement doit être coupé selon le périmètre d'une section droite sensiblement au milieu de la longueur mesurée qui sera soumise à l'allongement. Après allongement, l'éprouvette doit être examinée quant à la perte d'adhérence sur le conducteur.

6 Essai 11: Résistance à l'abrasion (applicable au fil de section circulaire émaillé)

La résistance à l'abrasion est la force maximale que peut supporter un revêtement quand une aiguille racle le fil avec une force progressivement croissante.

6.1 Principe

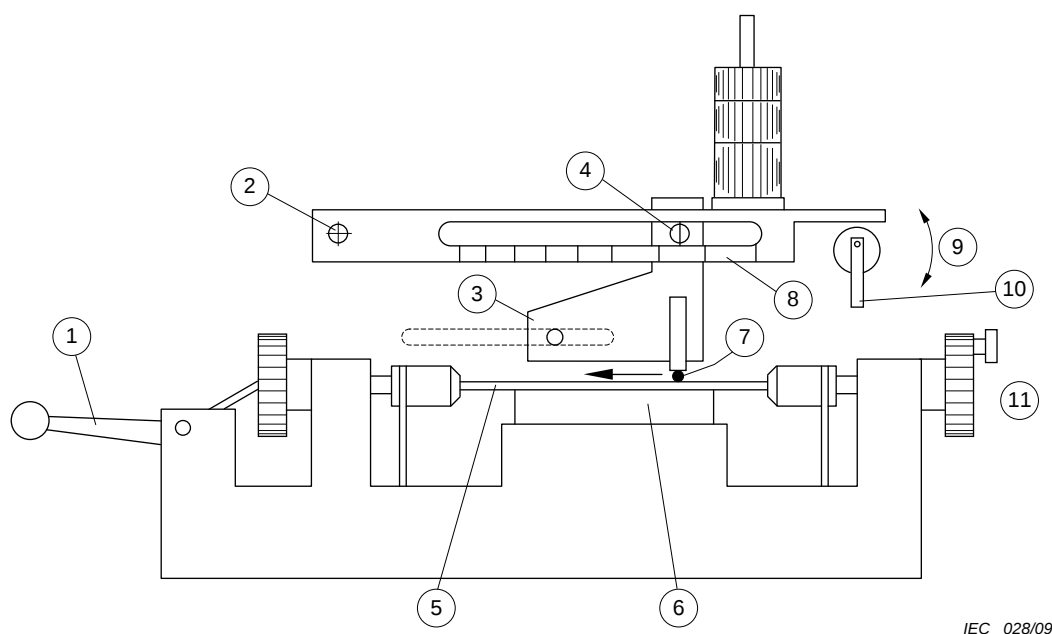
Une longueur de fil droit est soumise à un essai d'abrasion unidirectionnelle au moyen d'une aiguille sur laquelle on applique une charge progressivement croissante et qui racle la surface du fil. La charge qui provoque un court-circuit électrique entre l'aiguille et le conducteur est appelée «charge de rupture».

6.2 Equipement

La Figure 9 décrit une machine d'essai qui doit être utilisée. Cette machine doit être équipée d'un mécanisme ayant une action abrasive dans une seule direction à raison de (400 ± 40) mm/min. Le dispositif d'abrasion doit être constitué d'une corde à piano polie ou d'une aiguille de $(0,23 \pm 0,01)$ mm de diamètre placée entre deux mors qui maintiennent la corde à piano ou l'aiguille de façon rigide sans déformation ou courbure et à angle droit de la direction du mouvement. L'abrasion doit se faire dans la direction de l'axe du fil à essayer. Pour placer l'éprouvette, l'équipement doit comprendre deux mors sur l'enclume-support qui est abaissée quand un fil est mis en place dans les mors, et redressée.

L'équipement doit comprendre une alimentation en courant continu de $(6,5 \pm 0,5)$ V à appliquer entre le conducteur et la corde à piano ou l'aiguille. Le courant de court-circuit doit être limité à 20 mA, par exemple au moyen d'une résistance en série ou d'un relais. Le circuit doit être conçu de façon à détecter le court-circuit et à arrêter l'appareil quand la corde à piano ou l'aiguille est en contact avec le conducteur du fil sur environ 3 mm.

L'appareil doit comporter sur la partie inférieure du fléau une échelle graduée qui indique le facteur par lequel la charge initiale appliquée à la corde à piano ou à l'aiguille doit être multipliée pour donner la charge de rupture.



IEC 028/09

Le dispositif d'abrasion chargé augmente la charge sur le fil en se déplaçant de droite à gauche

Legende

- 1 manchon pour redresser l'éprouvette
- 2 point fixe du pivot
- 3 dispositif d'abrasion chargé
- 4 index
- 5 éprouvette
- 6 enclume à hauteur réglable pour des fils de diamètres différents
- 7 corde à piano
- 8 échelle indiquant le facteur de multiplication
- 9 arrêt/mise en marche
- 10 levier de mise en marche
- 11 bague indexée par palier de 120°

Figure 9 – Appareil pour l'essai d'abrasion unidirectionnelle

6.3 Procédure

Une longueur de fil droit doit être essuyée, placée dans l'appareil et redressée par un allongement maximal de 1 %. L'éprouvette doit alors être fixée par les mors, et l'enclume-support est amenée au contact de l'éprouvette. La charge initiale appliquée au dispositif d'abrasion doit être inférieure à 90 % de la charge minimale de rupture spécifiée dans la norme appropriée. La charge appliquée doit être telle que le conducteur soit mis à nu à une distance comprise entre 150 mm et 200 mm du point fixe du pivot. Le dispositif d'abrasion chargé doit être appliqué lentement sur la surface du fil puis l'action d'abrasion commence.

La valeur à laquelle l'appareil s'arrête est lue sur l'échelle graduée située à la partie inférieure du fléau. Le produit de cette valeur par la charge initiale appliquée doit être noté.

L'essai doit être répété deux fois sur la même éprouvette en faisant tourner le fil autour de son axe de 120° et 240° par rapport à la position initiale; les mêmes informations doivent être notées.

Une éprouvette doit être essayée. Les trois valeurs individuelles doivent être notées. La moyenne des valeurs est considérée comme la charge de rupture moyenne.

7 Essai 18: Thermo-adhérence (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal de conducteur supérieur à 0,050 mm jusqu'à 2,000 mm inclus)

La thermo-adhérence est l'aptitude des spires d'un bobinage à se coller ensemble sous l'influence de la chaleur.

7.1 Collage résiduel vertical d'un bobinage hélicoïdal

Le collage résiduel vertical d'un bobinage hélicoïdal est l'aptitude qu'a un bobinage collé de conserver son intégrité quand une charge est appliquée à son extrémité inférieure.

7.1.1 Diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,050 mm inclus

La méthode d'essai fera l'objet d'un accord entre acheteur et fournisseur.

7.1.2 Diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,050 mm jusqu'à 2,000 mm inclus

7.1.2.1 Principe

Les spires d'un bobinage hélicoïdal de fil bobiné sur un mandrin sont mises sous pression à l'aide d'une charge et ensuite collées sous l'influence de la chaleur ou de solvant. Après collage, l'éprouvette est retirée du mandrin et suspendue en position verticale. Une charge est appliquée à l'extrémité inférieure pour vérifier si l'éprouvette supporte ou non la charge. Cette procédure est répétée à température élevée.

7.1.2.2 Eprouvette

Une longueur de fil droit doit être bobinée sur un mandrin poli¹ de diamètre donné dans le Tableau 4. Le bobinage doit avoir au minimum une longueur de 20 mm. La vitesse d'enroulement du mandrin doit être comprise entre 1 r/s et 3 r/s; la traction du bobinage ne doit pas dépasser les valeurs indiquées dans le Tableau 4. Les extrémités du fil ne doivent pas être attachées de façon à permettre au bobinage de se détendre librement. Le bobinage toujours enroulé sur le mandrin doit être placé verticalement comme indiqué à la Figure 10a et avec une charge spécifiée dans le Tableau 4. La charge ne doit pas adhérer au mandrin et on doit maintenir un espace entre la charge et le mandrin. L'ensemble doit être alors placé dans une étuve électrique à ventilation forcée à la température prescrite dans la norme appropriée pendant une durée de

- 30 min pour les fils de diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,710 mm inclus;
- 1 h pour les fils de diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,710 mm jusqu'à 2,000 mm inclus, sauf autre accord entre acheteur et fournisseur.

Après refroidissement à température ambiante, le bobinage doit être retiré du mandrin.

7.1.2.3 Procédure à température ambiante

Une éprouvette doit être suspendue par l'une de ses extrémités (voir Figure 10b) et chargée comme exigé dans la norme appropriée. Tout choc supplémentaire doit être évité lorsqu'on applique la charge.

Trois éprouvettes doivent être essayées. On doit noter si des spires, autres que la première et la dernière, sont séparées. On doit noter la température à laquelle le collage est réalisé.

¹ Un mandrin d'acier convient aux fils les plus gros. Pour les fils les plus fins, des mandrins en cuivre peuvent faciliter le retrait du bobinage sur le mandrin en étirant le mandrin pour en réduire le diamètre.

7.1.2.4 Procédure à température élevée

Une éprouvette doit être suspendue par l'une de ses extrémités (voir Figure 10b) et chargée comme spécifié dans le Tableau 5. Tout choc supplémentaire doit être évité lorsqu'on applique la charge. L'éprouvette avec sa charge doit être placée pendant 15 min dans une étuve à ventilation forcée à la température spécifiée dans la norme appropriée.

Trois éprouvettes doivent être essayées. On doit noter si des spires autres que la première et la dernière sont séparées. On doit noter la température à laquelle a été réalisé le collage.

Tableau 4 – Préparation des bobinages hélicoïdaux

Diamètre nominal du conducteur mm		Diamètre du mandrin	Traction maximale de bobinage	Charge appliquée au bobinage pendant le collage
A partir de	Jusqu'à et y compris	mm	N	N
0,050	0,071	1	0,05	0,05
0,071	0,100	1	0,05	0,05
0,100	0,160	1	0,12	0,15
0,160	0,200	1	0,30	0,25
0,200	0,315	2	0,80	0,35
0,315	0,400	3	0,80	0,50
0,400	0,500	4	2,00	0,75
0,500	0,630	5	2,00	1,25
0,630	0,710	6	5,00	1,75
0,710	0,800	7	5,00	2,00
0,800	0,900	8	5,00	2,50
0,900	1,000	9	5,00	3,25
1,000	1,120	10	12,00	4,00
1,120	1,250	11	12,00	4,50
1,250	1,400	12	12,00	5,50
1,400	1,600	14	12,00	6,50
1,600	1,800	16	30,00	8,00
1,800	2,000	18	30,00	10,00

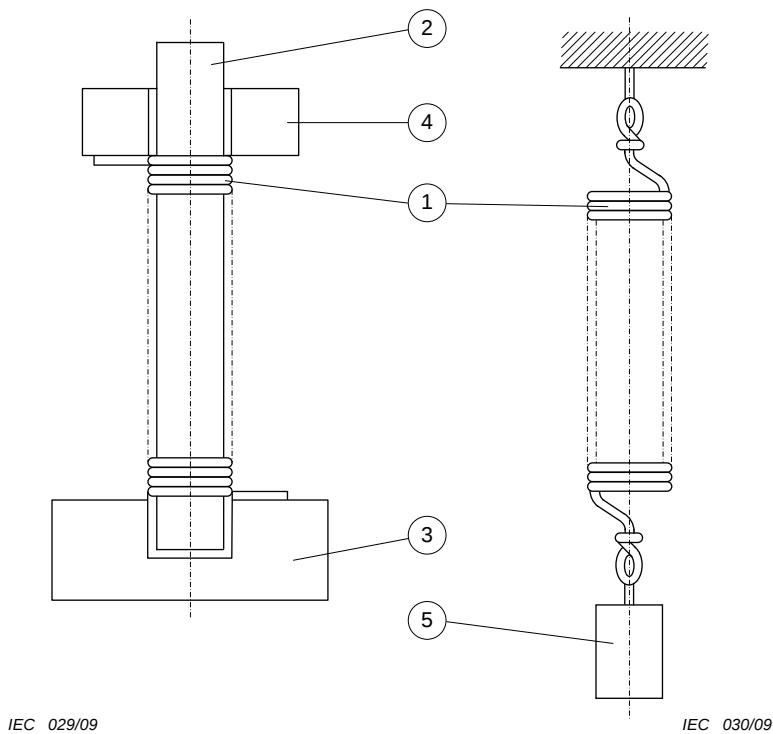


Figure 10a

Figure 10b

- Légende**
- 1 bobinage
 - 2 mandrin
 - 3 support de mandrin
 - 4 poids
 - 5 charge de séparation

Figure 10 – Dispositifs pour l'essai de thermo-adhérence d'un bobinage hélicoïdal

Tableau 5 – Collage résiduel à température élevée

Diamètre nominal du conducteur mm			Charge	Diamètre nominal du conducteur mm			Charge
A partir de	Jusqu'à et y compris	N		A partir de	Jusqu'à et y compris	N	
0,050	0,071	0,04		0,800	0,900	2,60	
0,071	0,100	0,06		0,900	1,000	3,20	
0,100	0,160	0,09		1,000	1,120	3,80	
0,160	0,200	0,19		1,120	1,250	4,40	
0,200	0,315	0,25		1,250	1,400	4,90	
0,315	0,400	0,55		1,400	1,600	6,40	
0,400	0,500	0,80		1,600	1,800	7,90	
0,500	0,630	1,20		1,800	2,000	7,90	
0,630	0,710	1,70					
0,710	0,800	2,10					

7.2 Force de collage d'un bobinage torsadé

La force de collage est la force maximale nécessaire pour briser un bobinage torsadé.

7.2.1 Principe

Un bobinage en vrac est réalisé avec le fil. Il est de forme ovale, torsadé et collé par l'application d'un courant continu. Cette éprouvette a la forme d'une tige qui est essayée sur une machine d'essai de traction. L'essai est réalisé en position horizontale de façon à obtenir la force de déviation maximale nécessaire à la rupture de la tige. Cet essai doit être répété à température élevée.

NOTE Cet essai est semblable à la méthode A (essai de bobinage torsadé) donnée en 2.1 de la CEI 61033, et est fondé sur le même principe. Il est différent de la méthode A de la CEI 61033 par les conditions de torsion et de collage de l'éprouvette et par la dimension du fil; la méthode A de la CEI 61033 spécifie que le diamètre nominal du conducteur du fil utilisé doit être de 0,315 mm.

7.2.2 Equipement

L'équipement suivant doit être utilisé:

- un appareil à bobiner conforme aux Figures 11a et 11b;
- un appareil de torsion conforme à la Figure 13;
- un appareil d'essai de traction conforme à l'ISO 178 avec un support conforme à la Figure 13;
- un transformateur de courant continu fournissant un courant de sortie constant d'une capacité minimale de 50 V et 15 A;
- associé à l'appareil d'essai de traction, une étuve à ventilation forcée qui doit maintenir la température d'essai dans les limites de ± 2 °C et qui doit permettre le chauffage simultané d'au moins cinq éprouvettes à la température d'essai, en 5 min à 10 min.

7.2.3 Eprouvette

Un bobinage en vrac doit être réalisé avec le fil en utilisant l'appareil à bobiner conformément aux Figures 11a et 11b. Le nombre de spires doit être calculé comme suit:

$$N = \frac{100 \times 0,315^2}{d^2}$$

où d est le diamètre nominal du conducteur du fil à essayer.

NOTE Pour un diamètre nominal de conducteur de $d = 0,315$ mm, N est égal à 100 spires. Pour les autres valeurs de d , l'équation ci-dessus donne un nombre N qui donne la même section totale de conducteur que pour $N = 100$ et $d = 0,315$ mm.

Pour éviter l'ouverture du bobinage après l'avoir retiré de l'appareil à bobiner, chaque extrémité du fil (ou de petits morceaux de fil émaillé) doit être enroulé autour du bobinage deux ou trois fois en directions opposées. Dans ce but, l'appareil à bobiner possède des encoches (voir Figure 11b).

Les dimensions suivantes doivent être utilisées pour le bobinage:

- diamètre d'enroulement: $(57 \pm 0,1)$ mm;
- largeur de la rainure: $(5 \pm 0,5)$ mm.

Après avoir été retiré de l'appareil à bobiner, le bobinage doit être formé en ovale (voir Figure 12) puis torsadé sur l'appareil à torsader dans son axe longitudinal conformément à la Figure 13. Ce dispositif permet d'appliquer une charge mécanique au bobinage

pendant qu'il est torsadé et ensuite collé. Cette charge doit être de 100 N. Le bobinage doit être torsadé de deux tours et demi avec retour en arrière de un demi-tour. Pendant que la charge mécanique est maintenue sur l'appareil à torsader, l'éprouvette doit être collée par l'application d'un courant continu au fil. Le courant doit être choisi de façon que le collage de l'éprouvette se fasse entre 30 s et 60 s.

NOTE L'utilisation du courant continu permet de déterminer facilement la température moyenne de l'éprouvette à la fin de la période de chauffage (voir Annexe A).

L'éprouvette est une tige d'environ 7 mm de diamètre et de 85 mm à 90 mm de long.

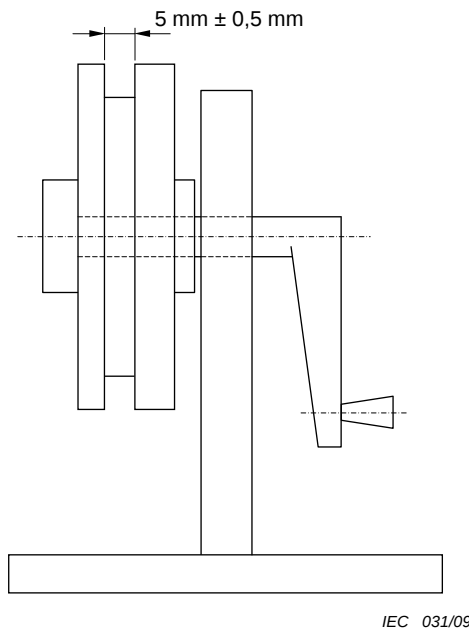


Figure 11a – Dispositif de bobinage

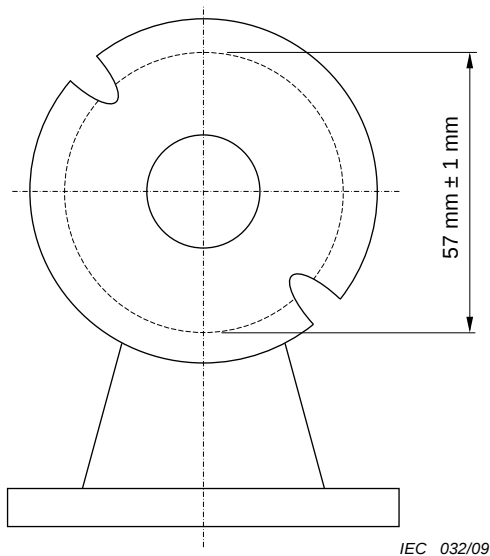


Figure 11b – Dispositif de bobinage, vue de face

Figure 11 – Dispositif de bobinage

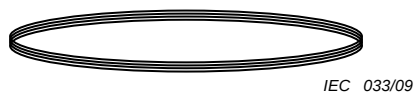
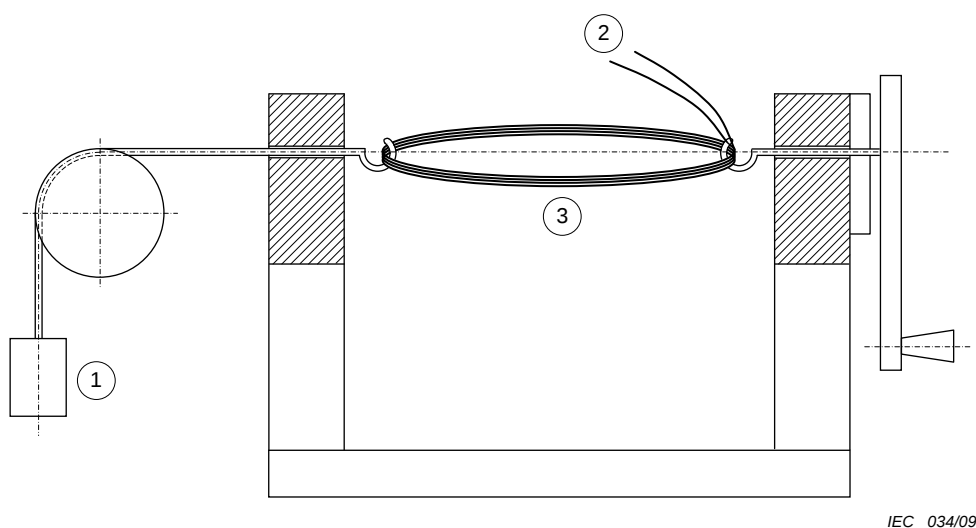


Figure 12 – Bobine de forme ovale

**Légende**

- 1 charge 100 N
- 2 courant continu
- 3 bobinage torsadé

Figure 13 – Dispositif de torsion avec une charge appliquée au bobinage torsadé

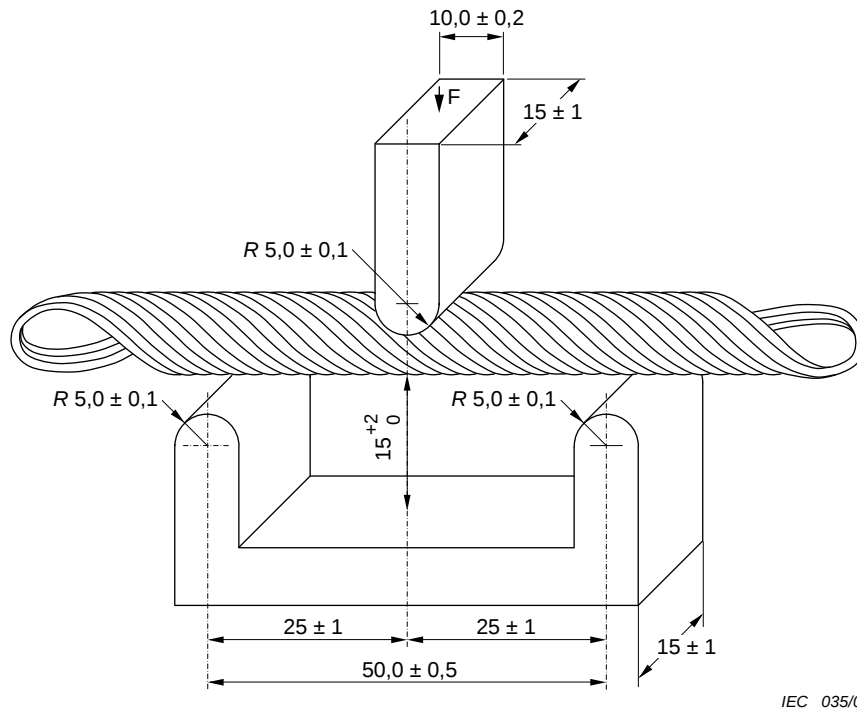
7.2.4 Procédure

Le bobinage torsadé est correctement placé sur le support conformément à la Figure 14; la force de collage de l'éprouvette doit alors être déterminée en réglant la vitesse de la tête d'appui transversal de façon que la force de déviation maximale soit obtenue après 1 min environ.

Pour les mesures à température élevée, l'éprouvette doit être placée dans une étuve préchauffée à la température spécifiée. L'éprouvette doit être contrôlée après avoir atteint la température de l'étuve sans que la durée dans l'étuve dépasse 15 min.

7.2.5 Résultats

Pour chaque température, cinq éprouvettes doivent être essayées. Les cinq valeurs individuelles pour chaque température doivent être notées. La moyenne des valeurs représente la force de collage. Le diamètre nominal du conducteur, le nombre de spires du bobinage, les conditions de collage du bobinage torsadé doivent aussi être notées.



IEC 035/09

Dimensions en millimètres

Figure 14 – Disposition des supports

Annexe A (informative)

Force de collage des fils thermo-adhérents

A.1 Calcul de la température d'un bobinage torsadé

Méthode

Pendant le chauffage d'un bobinage torsadé à l'aide d'un courant continu, la température moyenne du bobinage peut être calculée à partir de sa résistance en courant continu, qui est le rapport de la tension sur le courant constant appliqué. Ces rapports peuvent être déterminés au début et à la fin du temps de chauffage et permettent de calculer la température à la fin de ce temps.

Coefficient de température

Pour les calculs suivants, le coefficient de température du cuivre de $\alpha = 0,004 \text{ K}^{-1}$ est utilisé.

Calcul

Avec ce coefficient de température, la résistance de l'éprouvette à la fin du temps de chauffage se calcule à partir de l'équation suivante:

$$R_{T_t} = R_{T_0} + \alpha R_{T_0} \times (T_t - T_0)$$

où

R_{T_0} est la résistance du début (à température ambiante);

T_t est la température à la fin du temps de chauffage;

T_0 est la température au début du temps de chauffage (T_0 est normalement identique à la température ambiante, c'est-à-dire 23 °C).

L'indice t représente la fin du temps de chauffage.

Si le courant est constant, l'équation suivante s'applique:

$$\frac{R_{T_t}}{R_{T_0}} = \frac{U_t}{U_0}$$

où

U_t est la tension à la fin du temps de chauffage;

U_0 est la tension au début du temps de chauffage.

Cela donne une température à la fin du temps de chauffage de

$$T_t = T_0 + \left[250 \times \left(\frac{U_t}{U_0} - 1 \right) \right] \text{ en } ^\circ\text{C}$$

A.2 Détermination du temps de chauffage

Courbes tension-temps

Pendant le chauffage du bobinage torsadé à courant constant, la résistance électrique augmente avec la température. Pour maintenir le courant, la tension de sortie du transformateur à courant constant s'accroît en conséquence. Cela permet de représenter sous forme de courbe la tension continue de sortie en fonction du temps et donne le temps t de la durée du chauffage. Des courbes différentes peuvent être établies pour les différents courants et réunies sur le même diagramme.

Tension à la température maximale

Pour un cas particulier, on peut souhaiter coller l'éprouvette à une certaine température sans la dépasser. Si cette température maximale est définie, la dernière équation donnée en A.1 permet de calculer la tension exigée pour atteindre cette température avec un courant de chauffage particulier:

$$U_t = U_0 + 0,004 \times (T_t - T_0) U_0$$

Le point d'intersection de la courbe tension-temps avec l'axe des Y correspond à la valeur de U_0 . Avec cette lecture, la dernière équation permet de calculer la tension pour atteindre la température de l'éprouvette à la fin du temps de chauffage. La valeur correspondante de l'axe des X donne la durée de la période de chauffage requise pour atteindre la température T_t .

Si le même calcul est fait avec toutes les courbes tension-temps pour une même température T_t , les valeurs correspondantes peuvent être reliées en une courbe isotherme qui coupe les courbes tension-temps. Si le calcul est répété pour différentes températures, il donne un diagramme final qui est très utile pour choisir facilement un couple de valeurs pour le courant de chauffage en Ampères et sa durée en secondes pour porter l'éprouvette à la température choisie T_t .

Les Figures A.1 à A.4 donnent des exemples de tels diagrammes qui concernent les dimensions 0,300 mm, 0,315 mm, 0,355 mm et 0,500 mm respectivement.

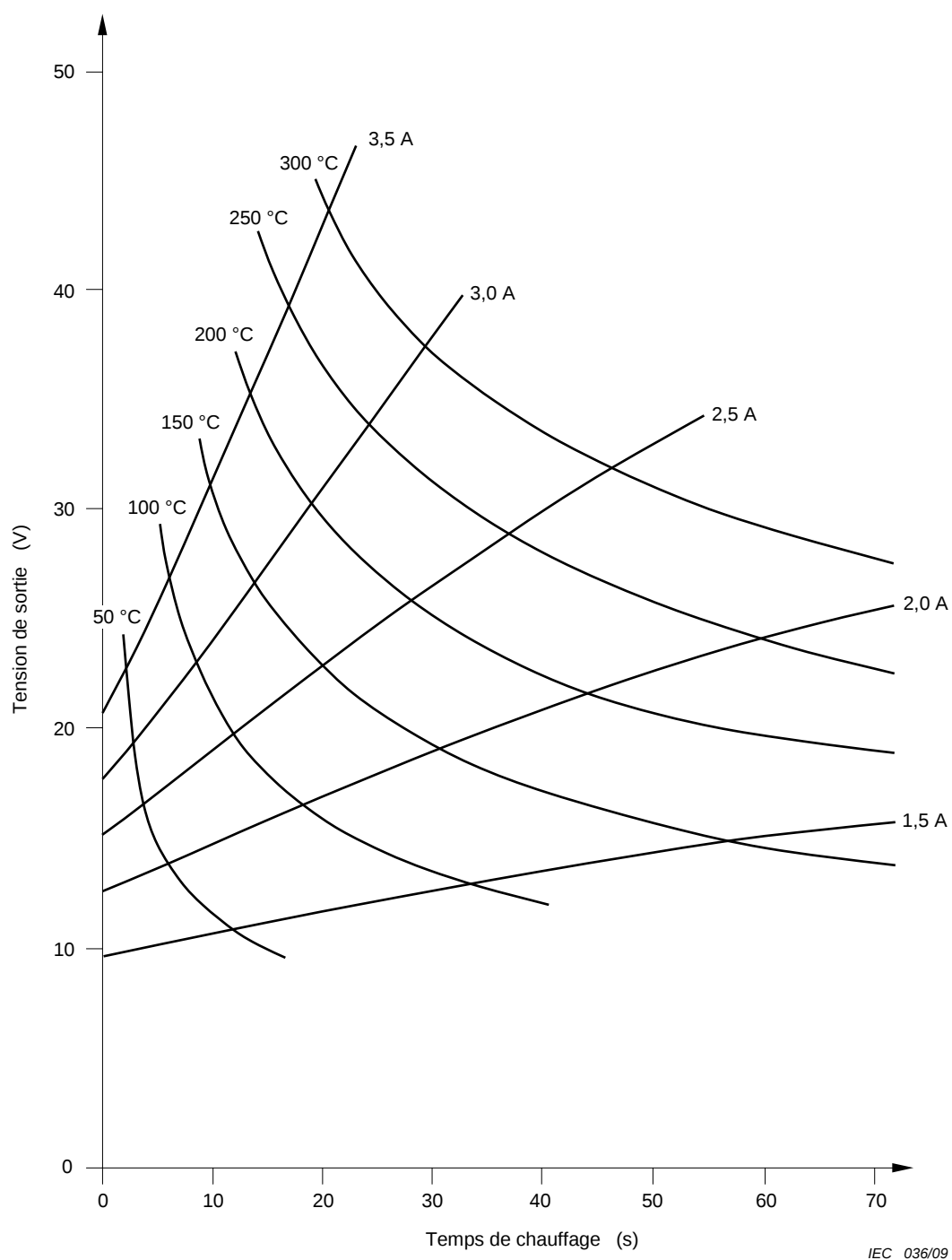


Figure A.1 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,300 mm

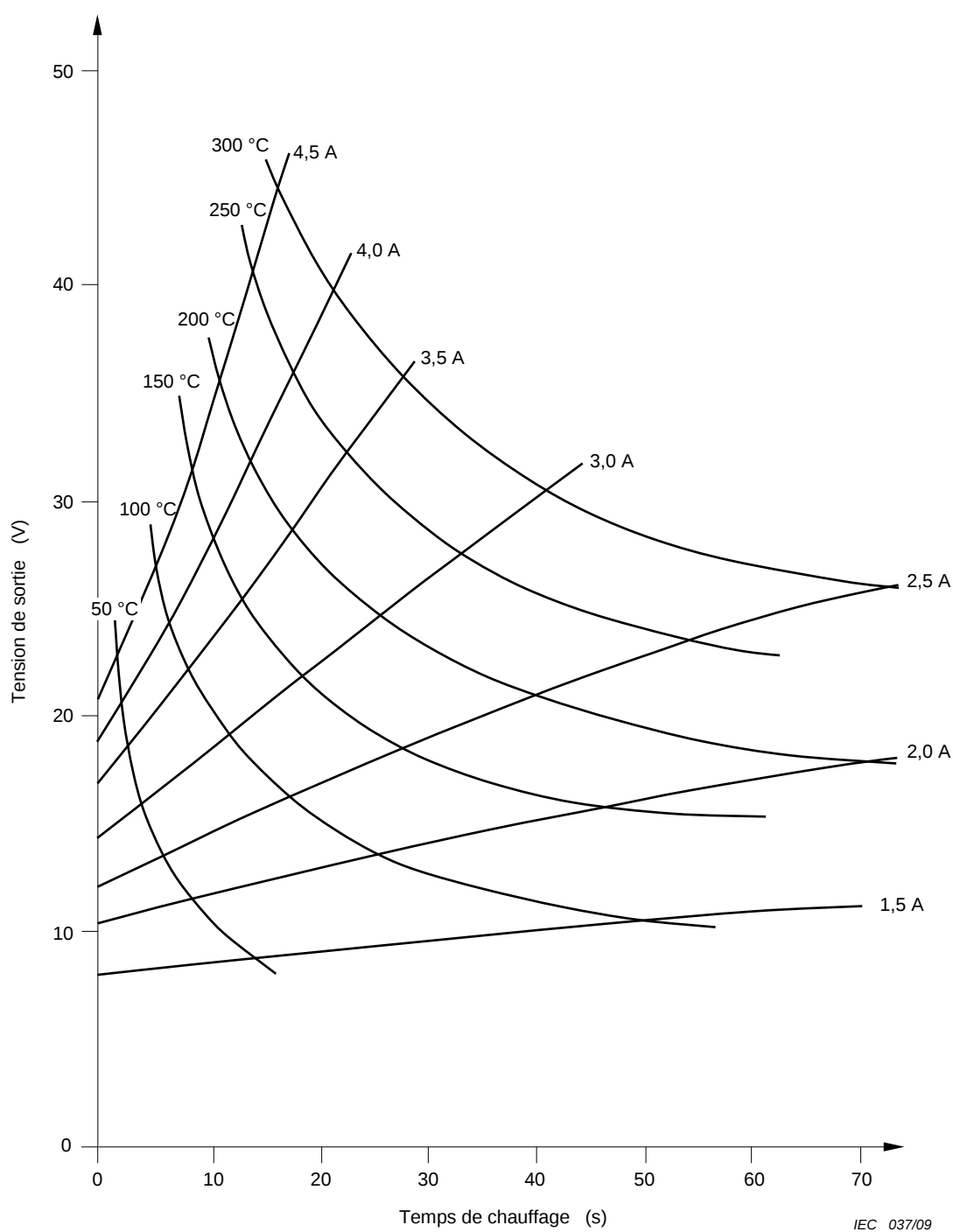


Figure A.2 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,315 mm

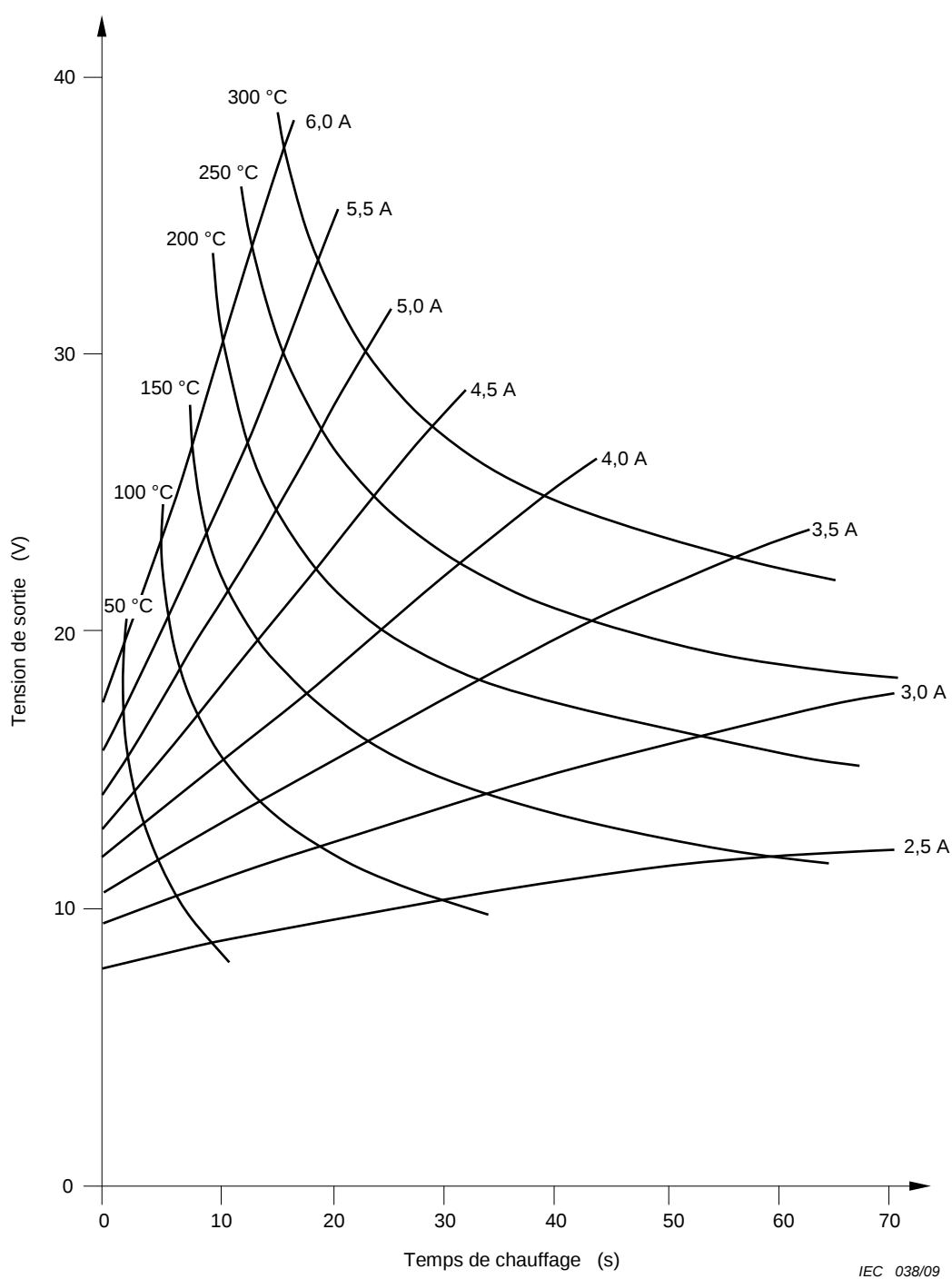
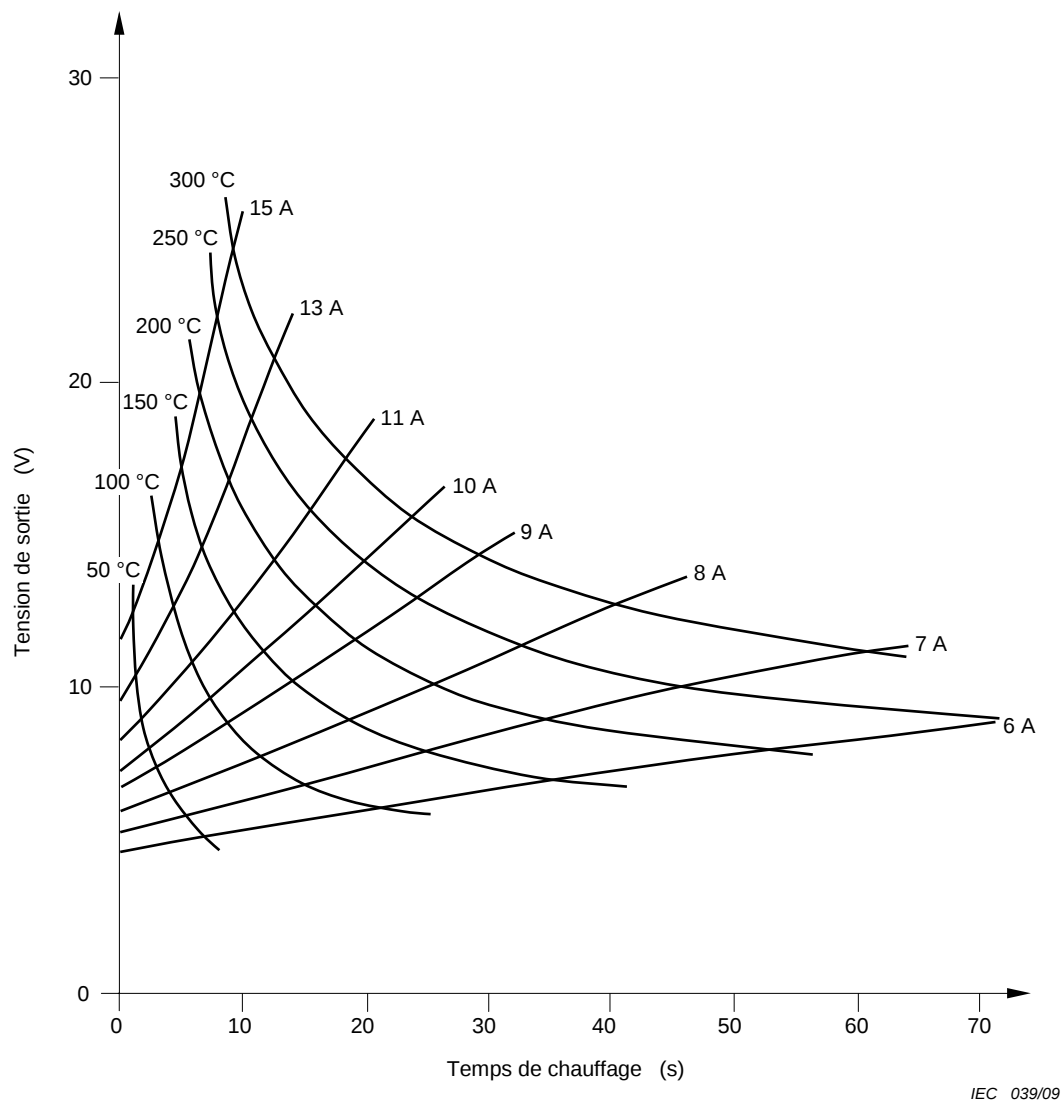


Figure A.3 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,355 mm



IEC 039/09

Figure A.4 – Exemple de courbes tension-temps et courbes isothermes pour des bobinages torsadés faits d'un fil de diamètre nominal du conducteur de 0,500 mm

Annexe B (informative)

Méthodes d'essai de frottement

B.1 Généralités

La présente annexe donne aux utilisateurs et aux fournisseurs des recommandations relatives aux méthodes d'essai pour le frottement à utiliser pour les fils de bobinage. L'utilisation de méthodes supplémentaires peut faire l'objet d'un accord entre acheteur et fournisseur.

B.2 Essai A: Méthode d'essai statique du coefficient de frottement

B.2.1 Méthode d'essai (applicable aux fils émaillés de section circulaire de diamètre nominal du conducteur à partir de 0,050 mm jusqu'à 1,600 mm inclus).

Le coefficient de frottement statique (μ_s) est déterminé par la mesure de l'angle d'inclinaison (α) d'un plan au moment où un bloc commence à glisser sur une piste faite par l'éprouvette de fil. L'éprouvette de fil doit être retirée de la bobine de livraison par dévidage par le dessus de la joue. Les couches supérieures de la bobine doivent être retirées avant l'essai quand la surface du fil est sale ou poussiéreuse. Une partie de l'éprouvette de fil est redressée et fixée sur le plan incliné au moyen de deux guides et de deux attaches, elle constitue la piste de glissement. L'autre partie de l'éprouvette de fil est montée de la même façon sur le bloc glissant.

Le bloc glissant avec l'éprouvette de fil est alors placé sur la piste de glissement de façon que le fil du bloc et celui du plan se croisent à angle droit aux points de contact.

Le plan est alors incliné lentement (1 °/s environ) jusqu'à ce que le bloc commence à glisser sur la piste vers le bas. A ce moment l'angle d'inclinaison (α) est lu sur l'échelle.

Le coefficient de frottement statique est calculé comme suit:

$$\mu_s = \tan \alpha$$

B.2.2 Appareil d'essai

La Figure B.1 donne un croquis de l'appareil d'essai.

L'appareil comprend un plan (1) qui peut être incliné d'un angle (α) par rotation autour de l'axe (8). Le support (9) porte l'échelle (7) qui indique l'angle d'inclinaison (α) ou le coefficient de frottement ($\tan \alpha$).

Le plan comporte les moyens de fixation de l'éprouvette de fil (3), par exemple les deux guides (5) et les deux attaches (6). Les parties de fil parallèles doivent être séparées de 110 mm. Elles forment une piste de glissement allant de l'extrémité de l'échelle jusqu'à l'axe du plan.

Le bloc (2) est pourvu de guides et d'attaches pour fixer l'autre partie du fil (4). Les parties parallèles de l'éprouvette doivent être séparées de 60 mm. La dimension du bloc doit être telle que les guides et attaches soient loin du plan (1) pour éviter tout frottement additionnel. Le bloc doit avoir

- une masse d'environ 50 g pour un fil de diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,150 mm inclus;

- une masse d'environ 500 g pour un fil de diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,150 mm.

La masse n'est pas critique étant de toute façon modifiée par la masse de l'autre partie du fil.

L'angle d'inclinaison est commandé par un équipement motorisé et doit varier lentement.

B.3 Essai B: Première méthode d'essai dynamique du coefficient de frottement

B.3.1 Principe

Le coefficient de frottement μ_d est déterminé en mesurant la force de frottement C exercée sur le fil en cours de défilement sous l'action d'une masse connue E . Il est donné par la formule suivante:

$$\mu_d = \frac{C}{9,81 \times E}$$

B.3.2 Méthode d'essai

La Figure B.2 donne un croquis de l'appareil d'essai.

Le fil émaillé passe par une poulie de guidage et dans un frein (D) puis sur une plaque métallique (B). Au moyen d'une autre poulie de guidage, le fil revient au-dessous de la plaque (B) puis à nouveau au-dessus de la plaque parallèlement au premier passage (voir Figure B.2). Le fil est tiré à l'aide du cabestan (A) à la vitesse de 0,25 m/s. Une masse (E), reliée à un indicateur de force (C), est placée sur le fil en cours de défilement à l'aplomb de la plaque (B).

L'indicateur de force peut être relié à un enregistreur graphique (gamme de mesure 1 mV - 250 mV). Cet enregistreur montre les variations du poli et le niveau du glissement sur une grande longueur.

B.4 Essai C: Deuxième méthode d'essai dynamique du coefficient de frottement (applicable aux fils émaillés de section circulaire d'un diamètre nominal du conducteur à partir de 0,050 mm jusqu'à 1,600 mm inclus)

B.4.1 Equipement d'essai

La conception de l'équipement d'essai type est illustrée sur la Figure B.3. La Figure B.4 contient des dessins détaillés de saphirs synthétiques et la Figure B.5 est une photographie du bloc de charge. Le dispositif d'essai est fourni avec un système de guidage de fil et un bobinage qui entraîne le fil sur la surface d'appui à 15 m/min, tel que représenté sur la Figure B.6. La charge d'essai est alignée parallèlement à la surface d'appui, et les poids d'essai sont perpendiculaires à l'éprouvette de fil.

A mesure que le fil est tiré sous la charge d'essai (saphirs synthétiques), le frottement entre la surface du fil et la surface du saphir crée une force longitudinale, qui est transférée vers le système de mesure par un axe soutenu par deux ensembles de roulements à billes linéaires en contact avec le système de mesure. La force indiquée par le système de mesure est divisée par la charge sur la surface d'essai, afin d'obtenir le coefficient dynamique de frottement.

Le système de mesure de la Figure B.3 montre le dispositif d'essai du coefficient dynamique de frottement avec un capteur de charge en place pour mesurer la force. Un transformateur différentiel à variation linéaire (LVDT, linear variable-differential transformer) peut également être utilisé pour mesurer la force à la place d'un capteur de charge. La sortie électrique provenant du dispositif de mesure de la force est fournie à un ordinateur ou à un microprocesseur qui recueille les mesures des données, généralement 1 000 points. Les

statistiques sont réalisées sur cet ensemble de données, de sorte qu'il soit possible de réaliser une interprétation correcte des résultats.

NOTE 1 Les valeurs du coefficient dynamique de frottement sont caractéristiques du type de lubrification et de la surface de l'éprouvette de fil de bobinage. Les valeurs du coefficient dynamique de frottement ne dépendent pas généralement de la taille du fil.

NOTE 2 Les fils lubrifiés avec une huile minérale auront généralement un coefficient dynamique de frottement moyen compris entre 0,09 et 0,16. Les fils lubrifiés avec de la paraffine auront généralement un coefficient dynamique de frottement moyen compris entre 0,03 et 0,06 et auront une valeur plus cohérente, mise en évidence par un écart type inférieur. La valeur moyenne, la valeur maximale et la valeur de l'écart type peuvent être utilisées pour évaluer l'application du lubrifiant sur le fil et de l'aspect de surface du fil.

La procédure d'essai est conçue pour fournir une mesure de la lubrification et de l'aspect de surface d'émaille comme une valeur combinée. On suppose que le fil sera débobiné de son emballage avec un contact minimal avec les surfaces autres que celles associées au dispositif d'essai et à l'emballage.

Si l'on soupçonne que la présence de poussières ou de saletés influe sur le coefficient de frottement, il convient de retirer une ou deux couches extérieures de fil de l'emballage, et de soumettre l'échantillon à de nouveaux essais.

Les surfaces d'essai en contact avec le fil doivent être propres et sèches au début de chaque essai. Il convient que le solvant utilisé pour nettoyer la surface de la charge d'essai élimine les différents types de lubrifiants utilisés, et qu'il sèche sans laisser de résidus.

B.4.2 Epreuve

Il convient d'examiner la surface du fil pour rechercher d'éventuels dommages, enchevêtrements, ou une quantité excessive de poussières ou de saletés. Si l'une de ces conditions se présente, il convient de retirer les spires supérieures de la bobine de fil d'essai avant les essais. Il convient que l'éprouvette de fil à essayer soit retirée de l'emballage d'expédition, en dévidant le fil par le dessus de la joue ou en le tirant de la bobine ou du fût de livraison.

B.4.3 Préparation de l'éprouvette

L'éprouvette de fil est tirée sur une surface d'appui, sous une charge d'essai (L). Une force de frottement (F_d) est créée entre les surfaces du fil, et transférée vers un dispositif de mesure approprié. La lecture (F_d) en grammes-force est divisée par la charge d'essai (L) en grammes-force, afin d'obtenir le coefficient dynamique de frottement μ_d .

$$\mu_d = \frac{F_d}{L}$$

Il convient qu'un moteur entraîne l'éprouvette de fil à $15 \pm 1,5$ m/min sur une surface lisse à l'aide d'un enrouleur motorisé.

Il convient que des poids divers qui fourniront une force comprise entre 100 et 1 000 g soient disponibles.

Il convient que la charge d'essai soit composée de deux saphirs synthétiques montés ayant une rugosité de surface inférieure ou égale à 2,4 microns. Les saphirs sont décrits sur la Figure B.4 et sont montés conformément à la Figure B.5.

Il convient qu'il y ait des moyens permettant de guider le fil et de maintenir une légère traction, si nécessaire.

Un dispositif électrique de mesure de la force ou un transducteur mesure la force due au frottement. Il convient d'installer un transducteur de force avec une plage de mesure comprise

entre 0 et 500 grammes-force, un dispositif de stockage des données, et un microprocesseur ou un ordinateur pour analyser statistiquement les ensembles de données.

Un système d'amortissement mécanique comprenant une palette et un récipient rempli d'huile peut être utilisé. Les signaux électriques en provenance du capteur de charge ou du transformateur différentiel à variation linéaire peuvent également être amortis électroniquement.

Il convient d'utiliser un solvant de nettoyage approprié pour dissoudre le lubrifiant soumis aux essais, pour le nettoyage des saphirs et des surfaces métalliques entre les essais.

B.4.4 Procédure

Il convient que le dispositif d'essai du coefficient de frottement soit mis à niveau, de sorte que la seule force mesurée par le transducteur de pression soit celle qui est perpendiculaire à la charge appliquée et que la gravité ne soit pas un facteur.

Étalonner le transducteur de pression en réglant le zéro sans aucune charge, et en réglant la plage en faisant pendre un poids de 100 ou 200 grammes. Retirer le poids, et il convient que l'affichage indique à nouveau zéro.

Entrer les paramètres de l'essai dans le microprocesseur ou l'ordinateur.

Dévider le fil de son emballage en le tirant par le dessus de la joue, en le faisant passer à travers l'équipement tendeur et les guides, jusqu'au mandrin de bobinage.

Ajuster les poulies guides, de sorte que le fil soit parallèle à la surface d'appui. Nettoyer la surface d'appui, les poulies guides et les surfaces du saphir à l'aide d'un solvant adapté.

Placer le poids approprié du Tableau B.1 sur le bloc de charge:

Tableau B.1 – Poids du bloc de charge pour les essais du coefficient dynamique de frottement

Diamètre du conducteur mm		Poids g	
1)	0,050 – 0,071	2)	100
3)	0,071 – 0,125	4)	200
5)	0,125 – 0,450	6)	600
7)	0,450 – 1,600	8)	1 000

Ajuster la surface d'appui, afin que la charge d'essai soit parallèle à la surface d'essai. Mettre en marche le dispositif de bobinage du fil et commencer à recueillir des données après stabilisation et alignement du montage, et continuer jusqu'à ce que le nombre souhaité de points de données soit recueilli.

Analyser les données concernant la valeur lue minimale, la valeur lue maximale, la valeur moyenne et l'écart type.

Il convient de calculer le coefficient dynamique de frottement μ_d comme suit:

$$\mu_d = \frac{F_d}{L}$$

où

F_d = force lue, en grammes-force

L = charge d'essai, en grammes-force

B.5 Essai D: Méthode du fil torsadé pour la mesure de la force de frottement

B.5.1 Fils de section circulaire émaillés de diamètre nominal du conducteur à partir de 0,1 mm jusqu'à 1,500 mm inclus

Une éprouvette torsadée de fil émaillé est réalisée comme celle utilisée pour l'essai 13 (tension de claquage) en 4.3 de la CEI 60851-5. L'extrémité du premier brin de la torsade est fixée dans une mâchoire fixe et une force est appliquée à l'extrémité opposée du deuxième brin qui a la possibilité par traction de glisser mais pas celle de tourner; un dynamomètre peut par exemple être utilisé. La force de glissement est la force nécessaire pour séparer les deux brins.

B.5.2 Méthode d'essai

Une éprouvette d'une longueur d'environ 400 mm est torsadée sur elle-même, sur une distance de 125 mm avec l'appareil indiqué à la Figure B.7. La force exercée sur les brins pendant la torsion et le nombre de tours sont donnés au Tableau B.2.

La boucle à l'extrémité de la section torsadée est coupée en deux endroits (et non un seul) afin d'obtenir un espacement maximal entre les deux extrémités coupées.

A cette extrémité ou à l'extrémité non torsadée, les fils peuvent être recourbés de manière à assurer un écartement approprié entre ces fils, en évitant toute courbure aiguë et toute détérioration de l'isolant.

L'une des extrémités d'un brin est fixée fortement dans une mâchoire tandis qu'à l'extrémité opposée de l'autre brin est appliquée une force (poids) pour obliger ce brin à glisser sans rotation. Trois éprouvettes sont essayées.

Tableau B.2 – Méthode du fil torsadé

Diamètre nominal du conducteur mm		Force totale appliquée sur les deux fils N	Nombre de tours par 125 mm
De	Jusqu'à et y compris		
0,10	0,25	0,85	17
0,25	0,315	1,40	15
0,315	0,40	2,40	13
0,40	0,50	3,40	12
0,50	0,71	6,00	11
0,71	0,80	8,50	10
0,80	0,90	10,00	9
0,90	1,00	12,50	8
1,00	1,12	15,00	7
1,12	1,25	20,00	6
1,25	1,50	27,00	5

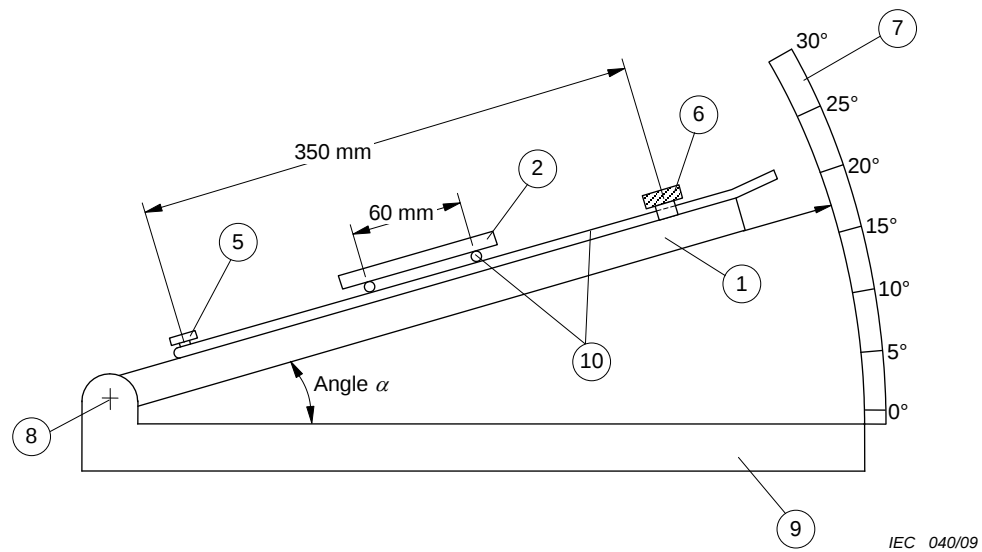


Figure B.1a – Vue de côté

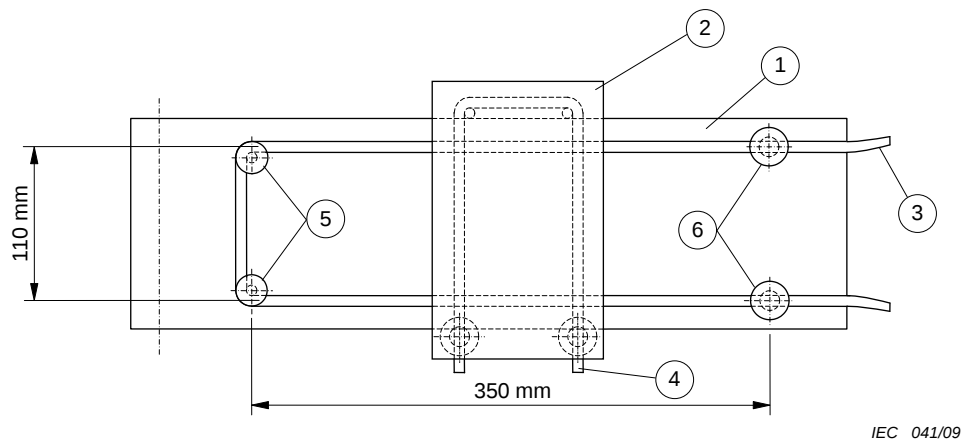


Figure B.1b – Vue de dessus

Légende

- | | |
|--------------|----------------|
| 1 plan | 6 attaches |
| 2 bloc | 7 échelle |
| 3 éprouvette | 8 axe |
| 4 fil | 9 support |
| 5 guides | 10 éprouvettes |

Figure B.1 – Appareil pour l'essai statique du coefficient de frottement

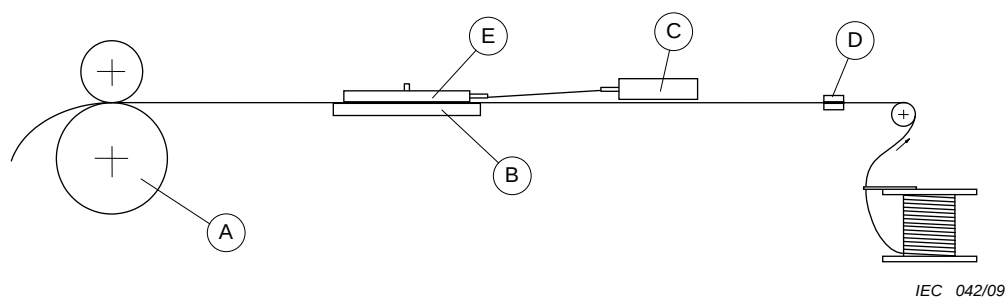


Figure B.2a – Vue de côté

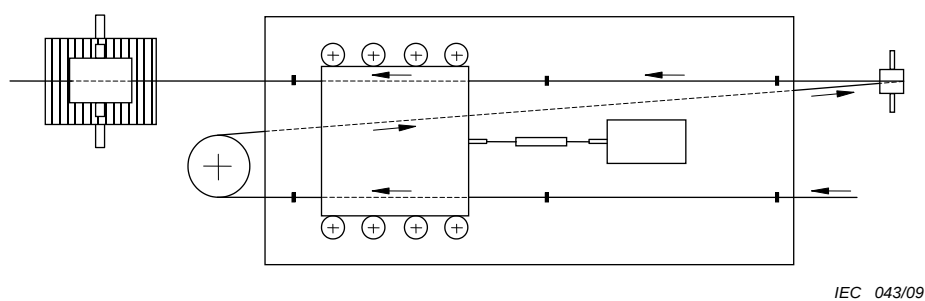
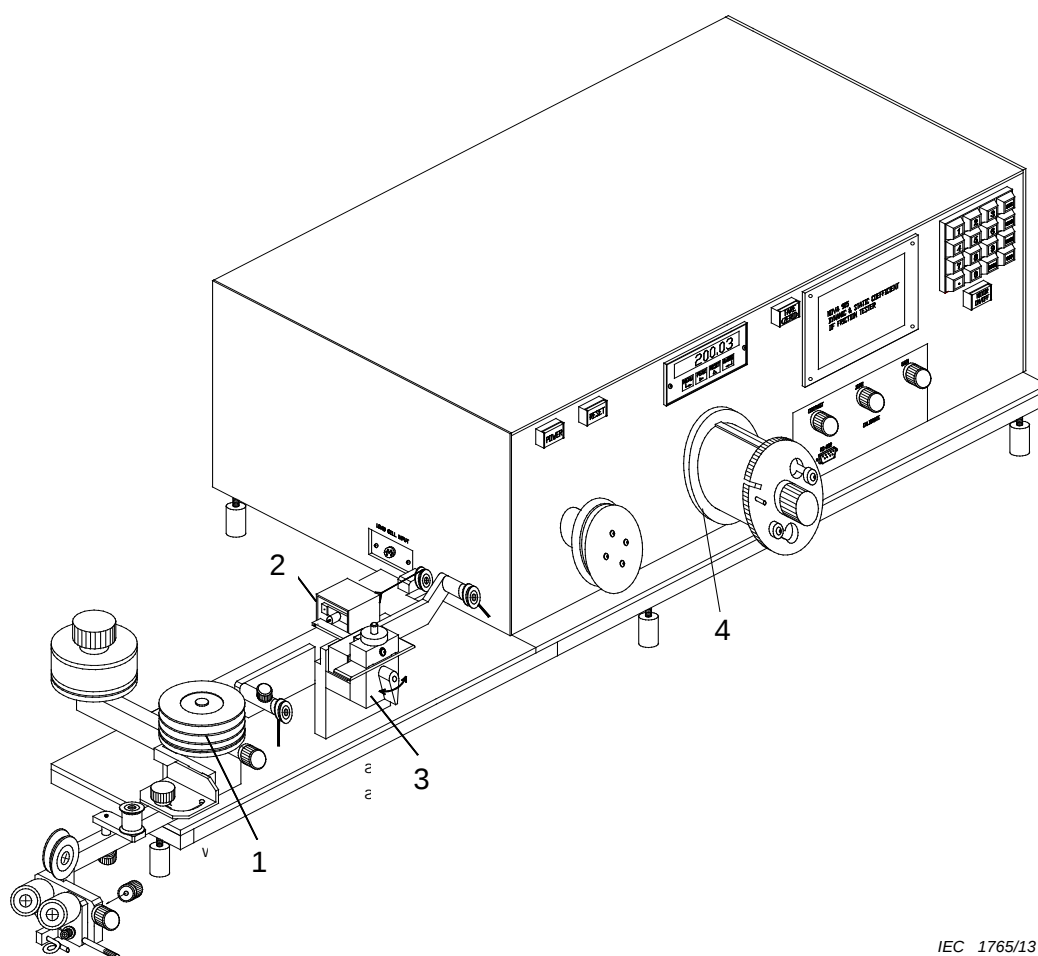


Figure B.2b – Vue de dessus

Composants

- A cabestan
- B plaque
- C indicateur de force
- D frein
- E masse

Figure B.2 – Appareil pour l'essai dynamique du coefficient de frottement

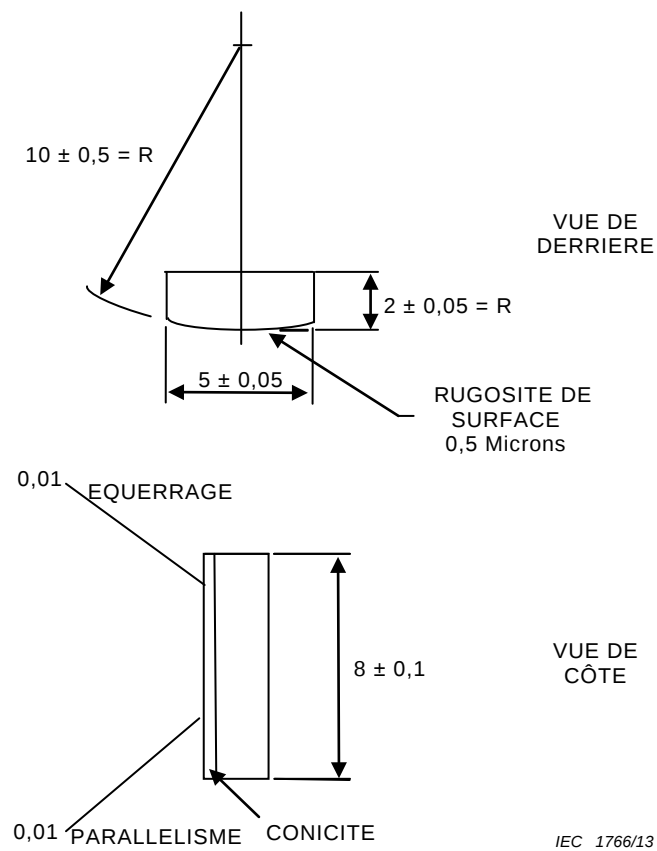


IEC 1765/13

Légende

- 1 Tendeur de fil
- 2 Ensemble de cellules de charge
- 3 Tête d'essai en saphir et porte charge
- 4 Mandrin de bobinage du fil

Figure B.3 – Schéma d'un dispositif d'essai type du coefficient dynamique de frottement



NOTE Les dimensions utilisées dans la figure sont des millimètres.

Figure B.4 – Matériau – saphir (synthétique)

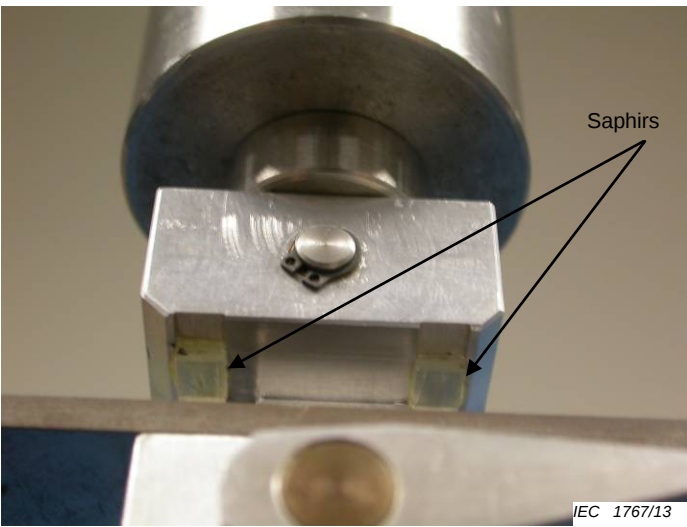
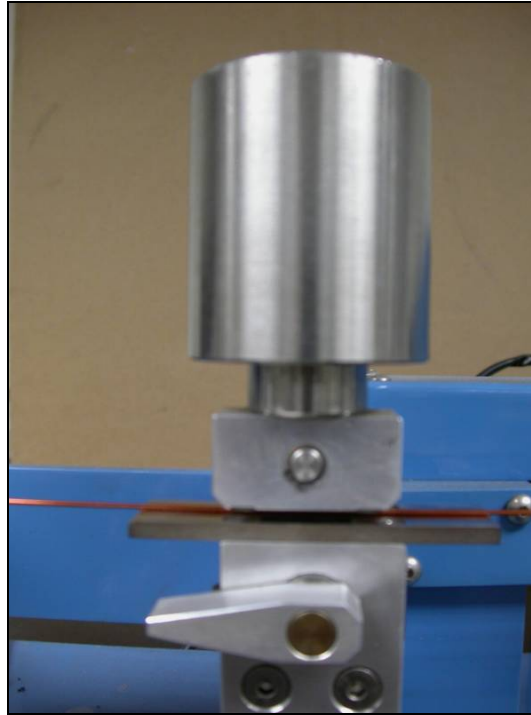
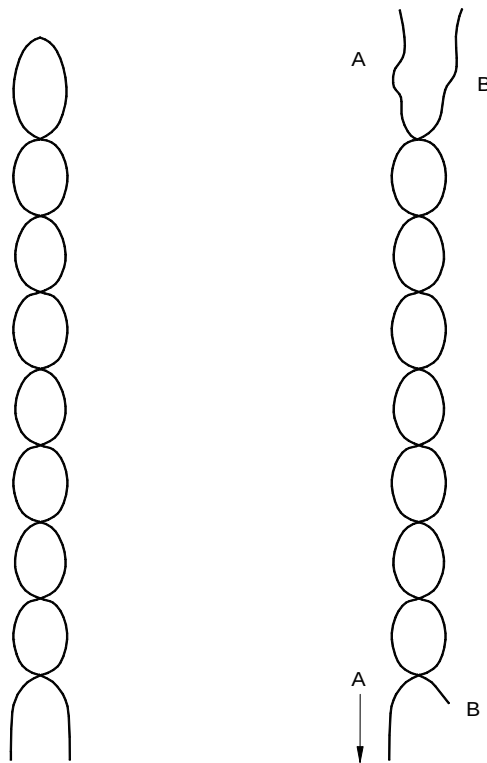


Figure B.5 – Saphirs synthétiques montés sur un bloc de charge



IEC 1768/13

Figure B.6 – Charge appliquée perpendiculairement au trajet du fil



IEC 049/09

Figure B.7 – Epreuve torsadée

Bibliographie

CEI 60851-5:2008, *Fils de bobinage – Méthodes d'essai – Partie 5: Propriétés électriques*

CEI 61033:1991, *Méthodes d'essai pour la détermination du pouvoir agglomérant des agents d'imprégnation sur fil émaillé*
Amendement 1:2006

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch