

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60851-3:2009



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 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 Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

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.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

X

ICS 29.060.10

ISBN 978-2-88910-311-9

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 – Dynamic coefficient of friction test apparatus	40
Figure B.4 – Detail drawing of friction head assembly with mechanical dynamometer	41
Figure B.5 – Load block with sapphires.....	42
Figure B.6 – 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 – 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.

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

This third edition cancels and replaces the second edition, published in 1996, its amendment 1 (1997) and its amendment 2 (2003), and constitutes a technical revision.

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

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

CDV	Report on voting
55/1043/CDV	55/1059/RVC

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

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

A list of all 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 this publication will remain unchanged until the maintenance result 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60851-3:2009

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).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60851-3:2009

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.

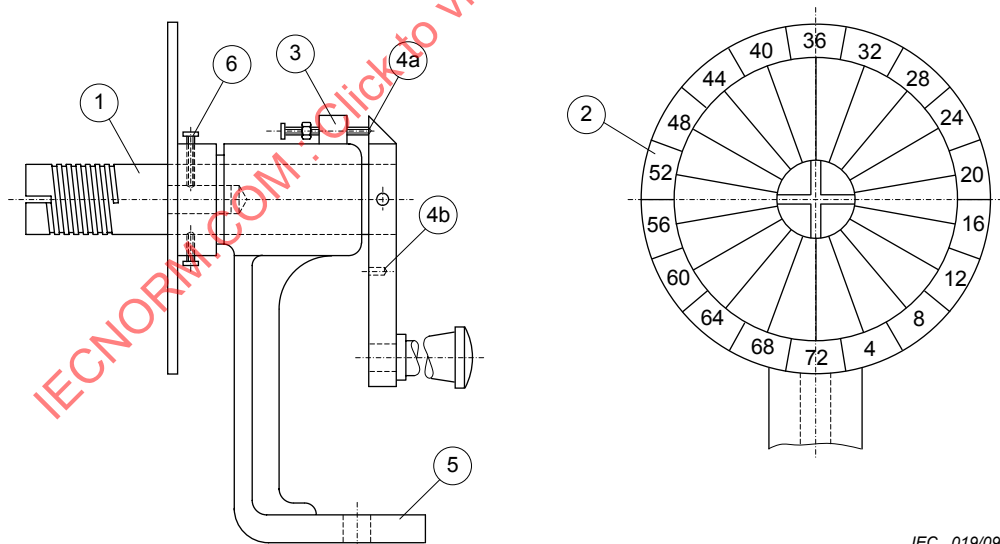
4.1 Round wire with a nominal conductor diameter from 0,080 mm up to and including 1,600 mm

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.

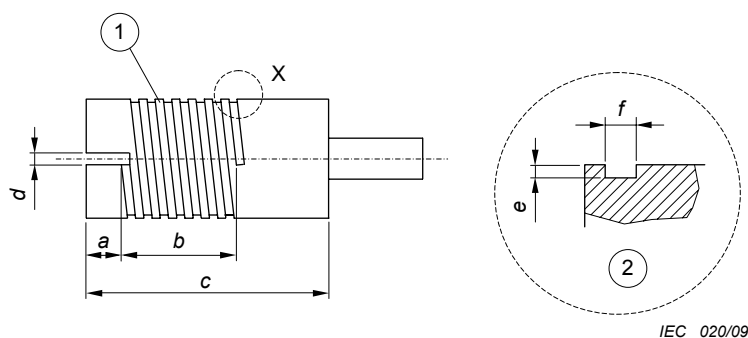


IEC 019/09

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



IEC 020/09

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

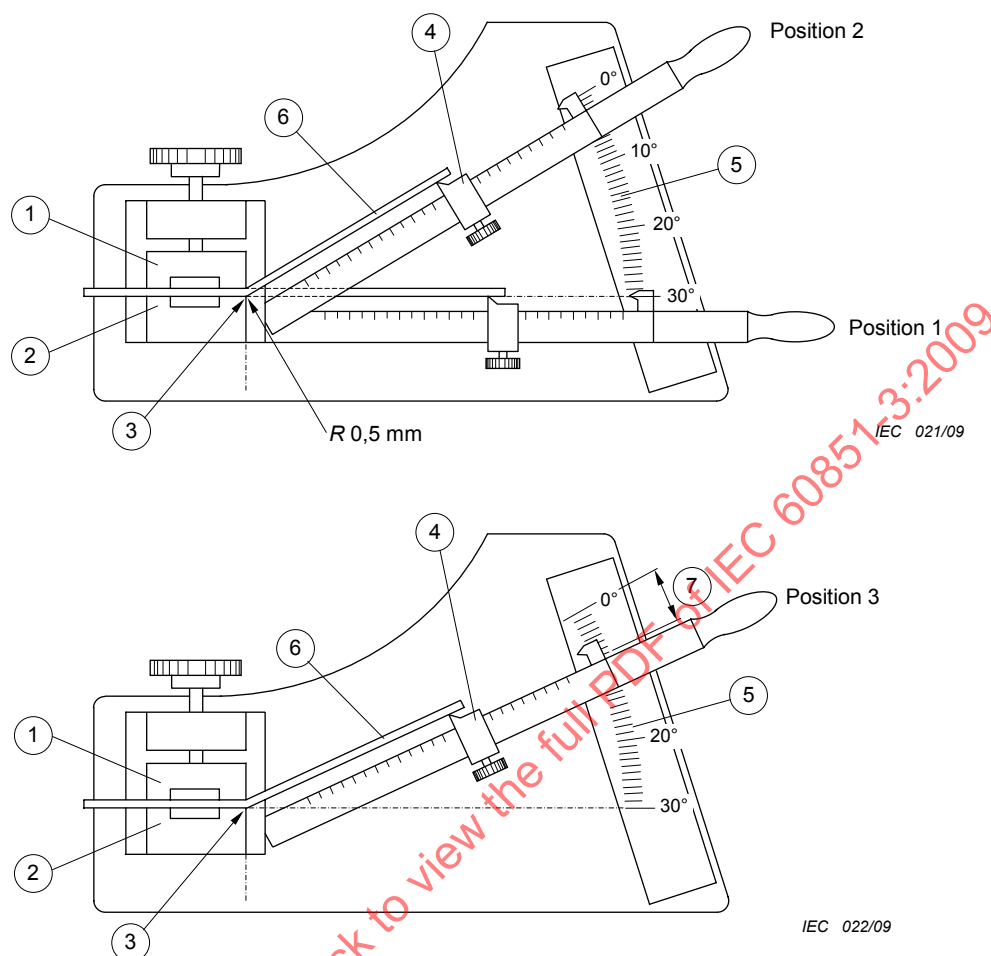
4.2.1 Principle

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 springback

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.

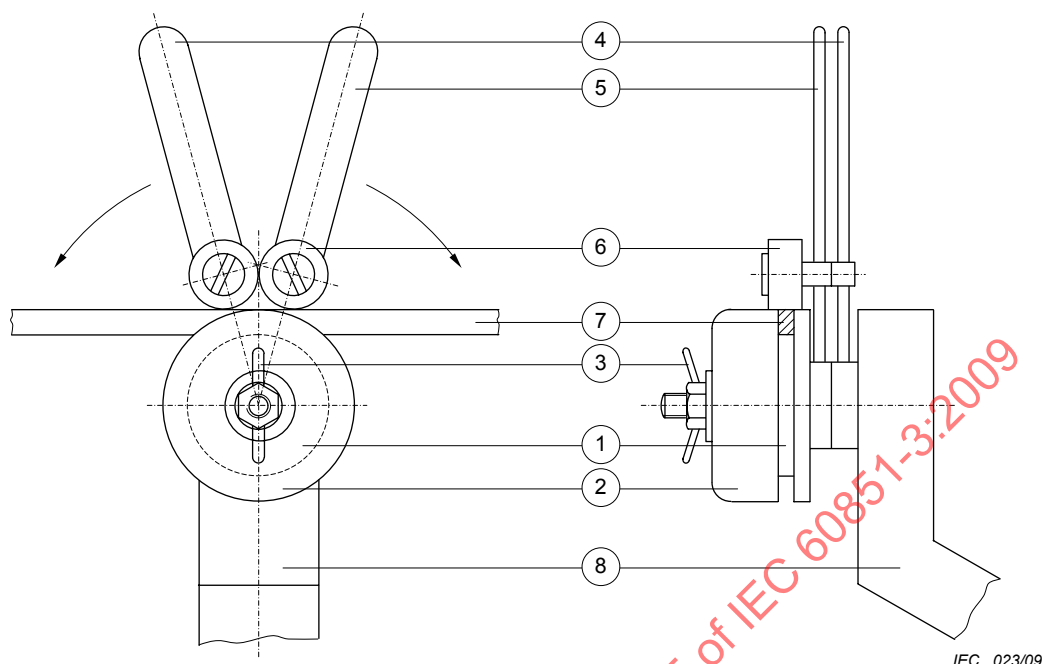
Three specimens shall be tested. Exposure of the bare conductor or any delamination shall be reported.

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)

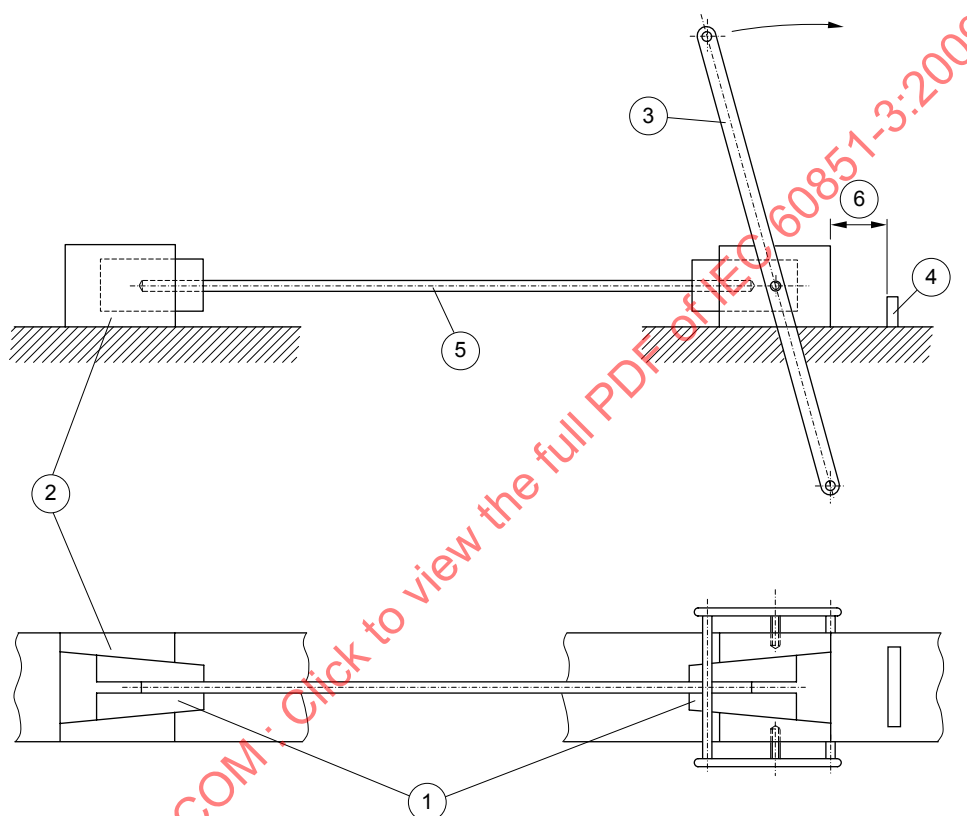
A straight piece of wire shall be elongated according to Clause 3 to the percentage specified in the relevant standard. After elongation, the specimen shall be examined for cracks or loss of adhesion with normal vision or with a magnification of up to six times.

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

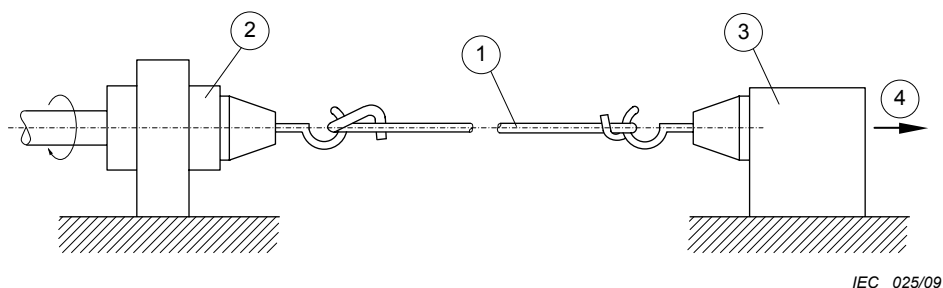
Key

- 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.

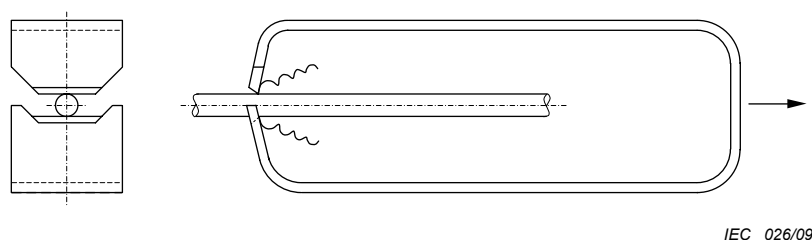


Figure 7 – Scraper

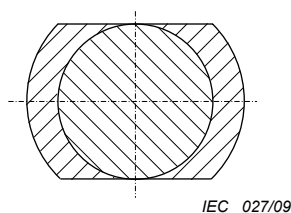


Figure 8 – Cross-section of the wire after removal of the coating

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

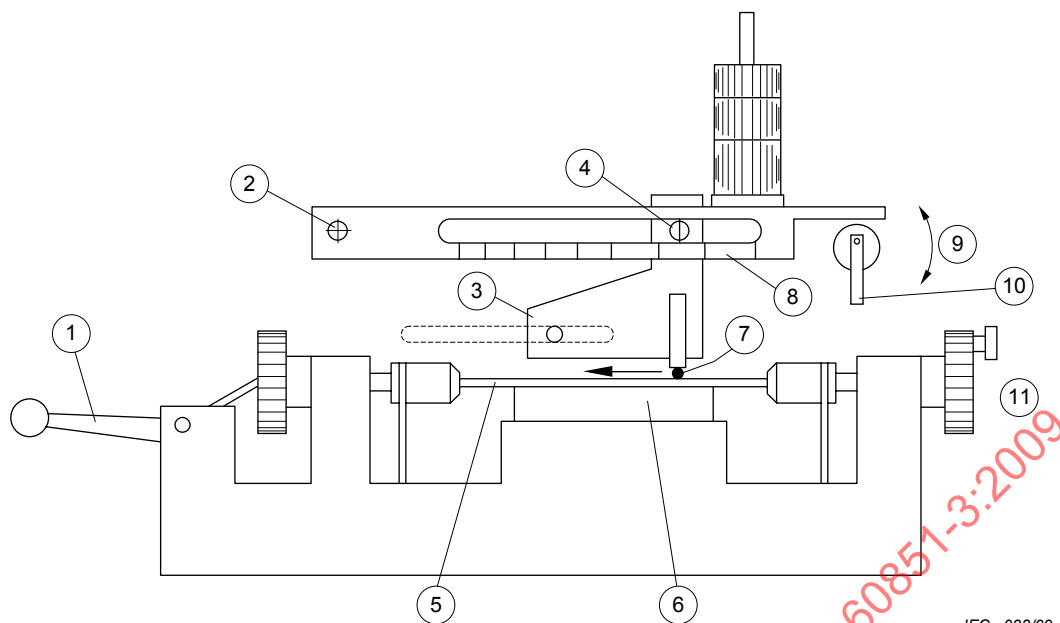
A straight piece of wire is subjected to a unidirectional scrape test, by a needle to which a progressively increasing load is applied and which scrapes along the wire surface. The load that causes an electrical contact of the needle with the conductor is called the load-to-failure.

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	Maximum winding force	Load on the coil during bonding
Over	Up to and including	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

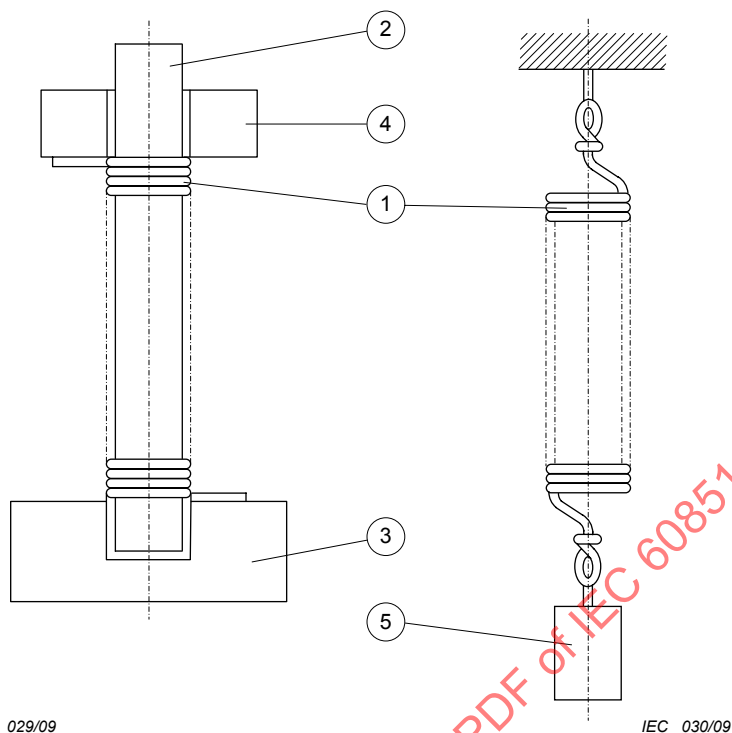


Figure 10a

Figure 10b

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.

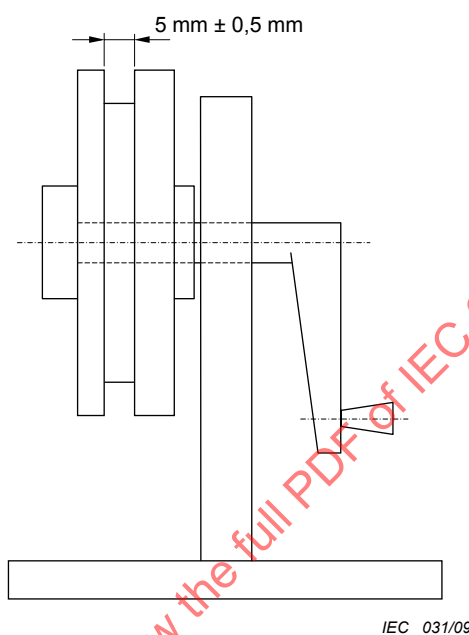


Figure 11a – Coil winder

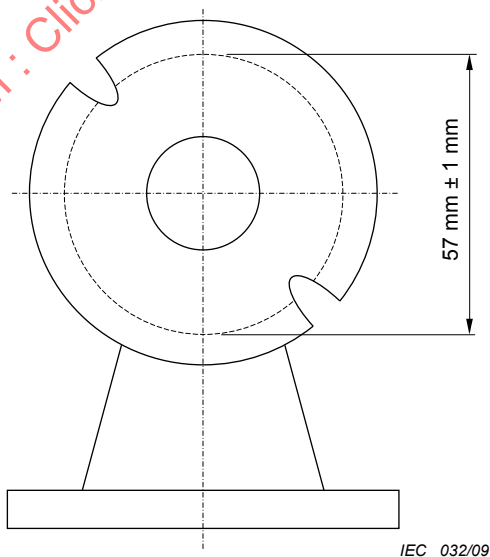


Figure 11b – Coil winder, front view

Figure 11 – Coil winder

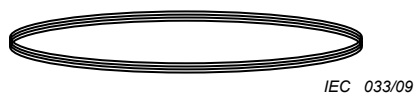
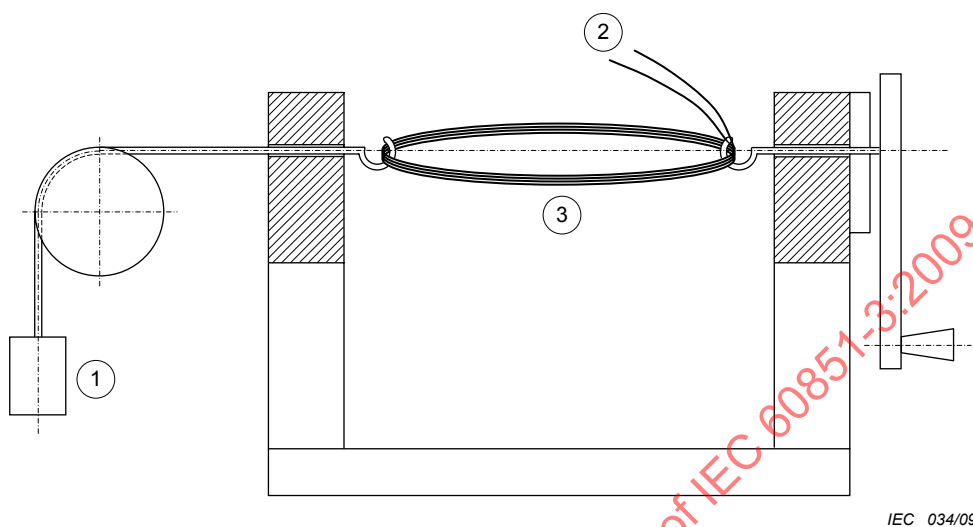


Figure 12 – Oval shape coil

**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

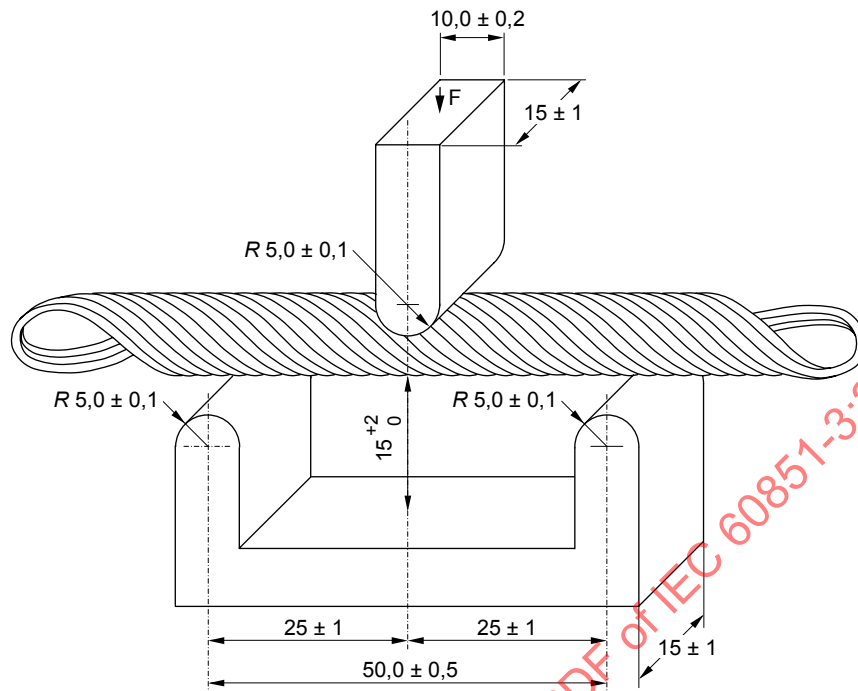
7.2.4 Procedure

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.



IEC 035/09

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:

$$U_t = U_o + 0,004 \times (T_t - T_o) U_o$$

The point of intersection of the voltage-time graph with the Y-axis corresponds to the value of U_o . 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.

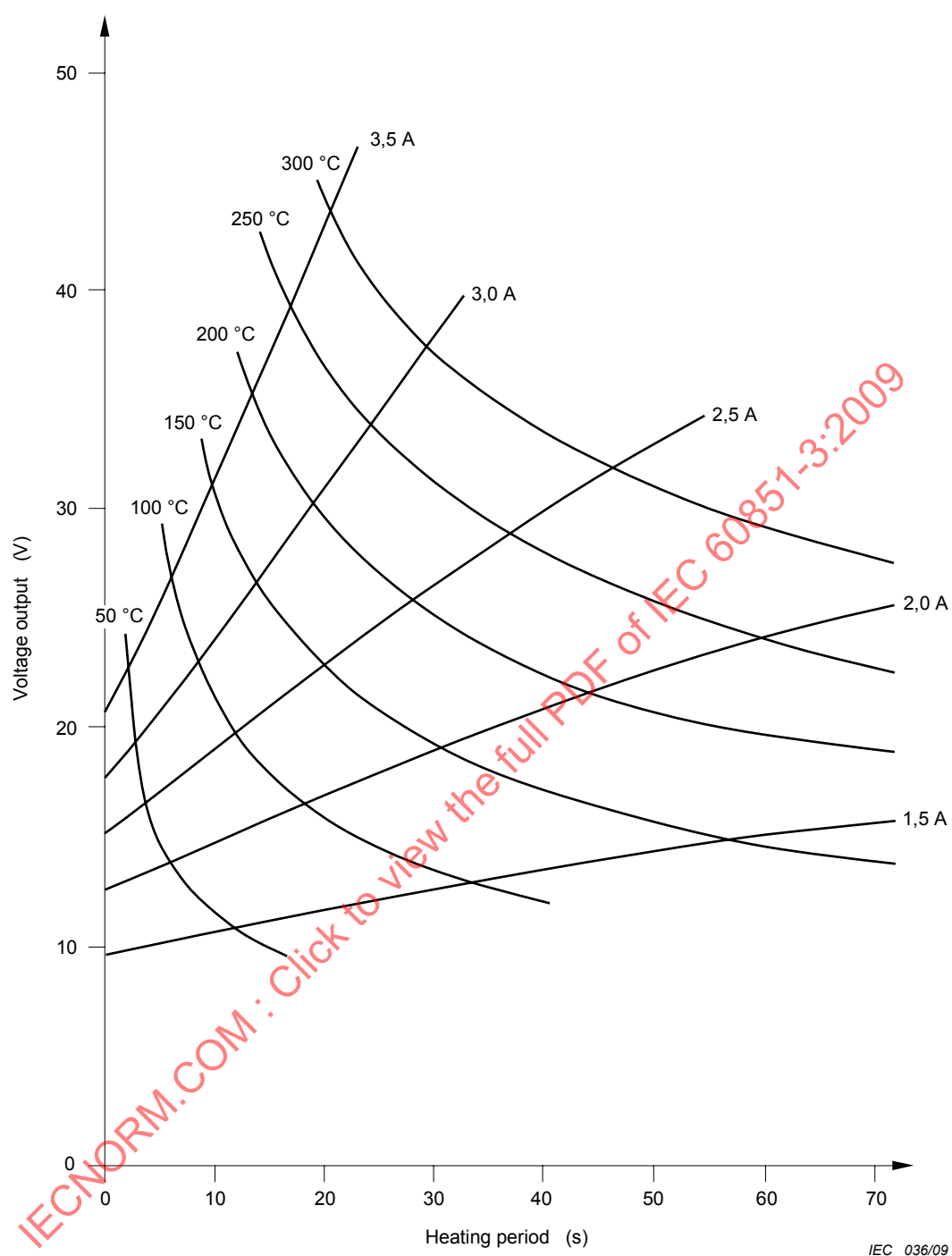


Figure A.1 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,300 mm with isothermic graphs

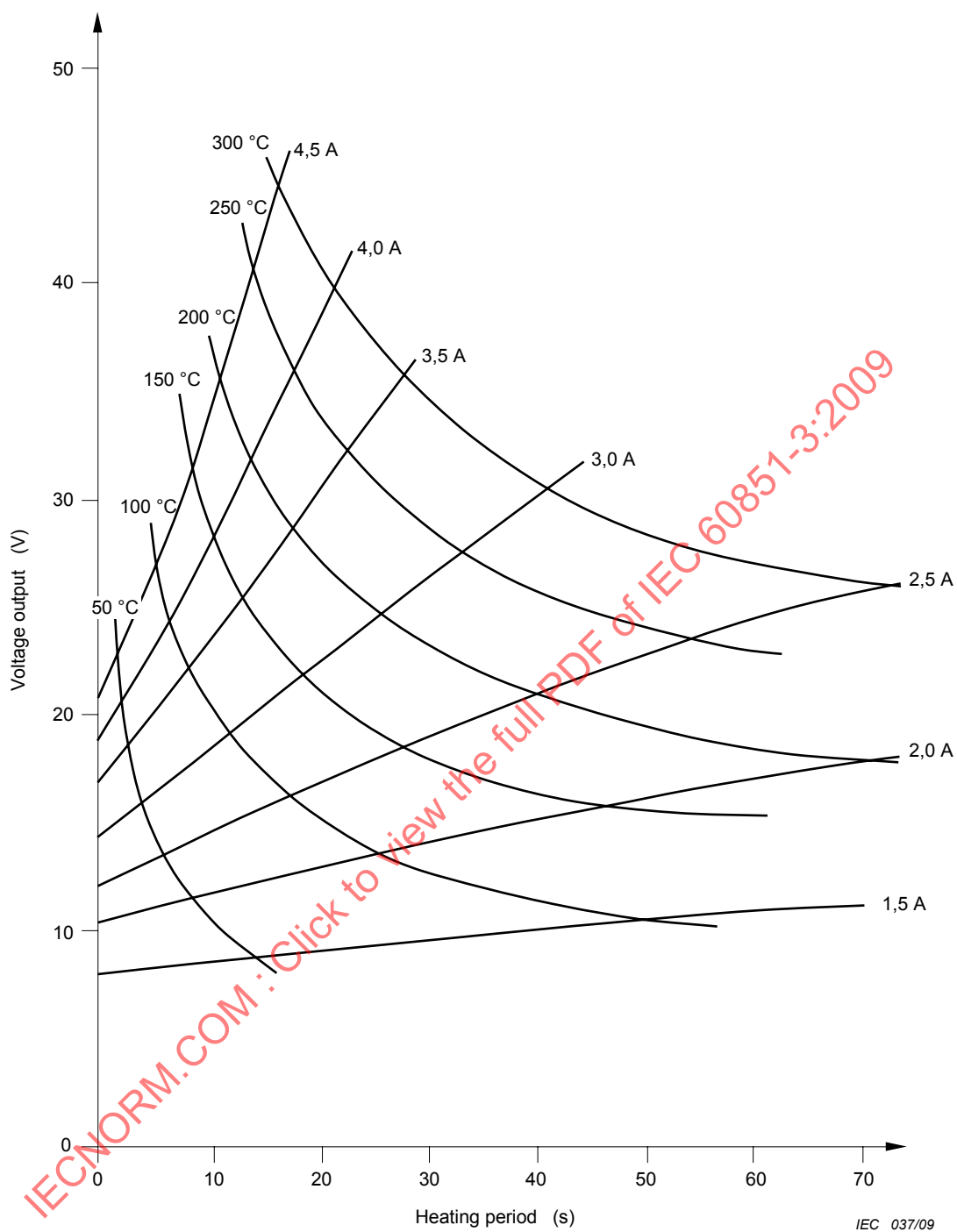


Figure A.2 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,315 mm with isothermic graphs

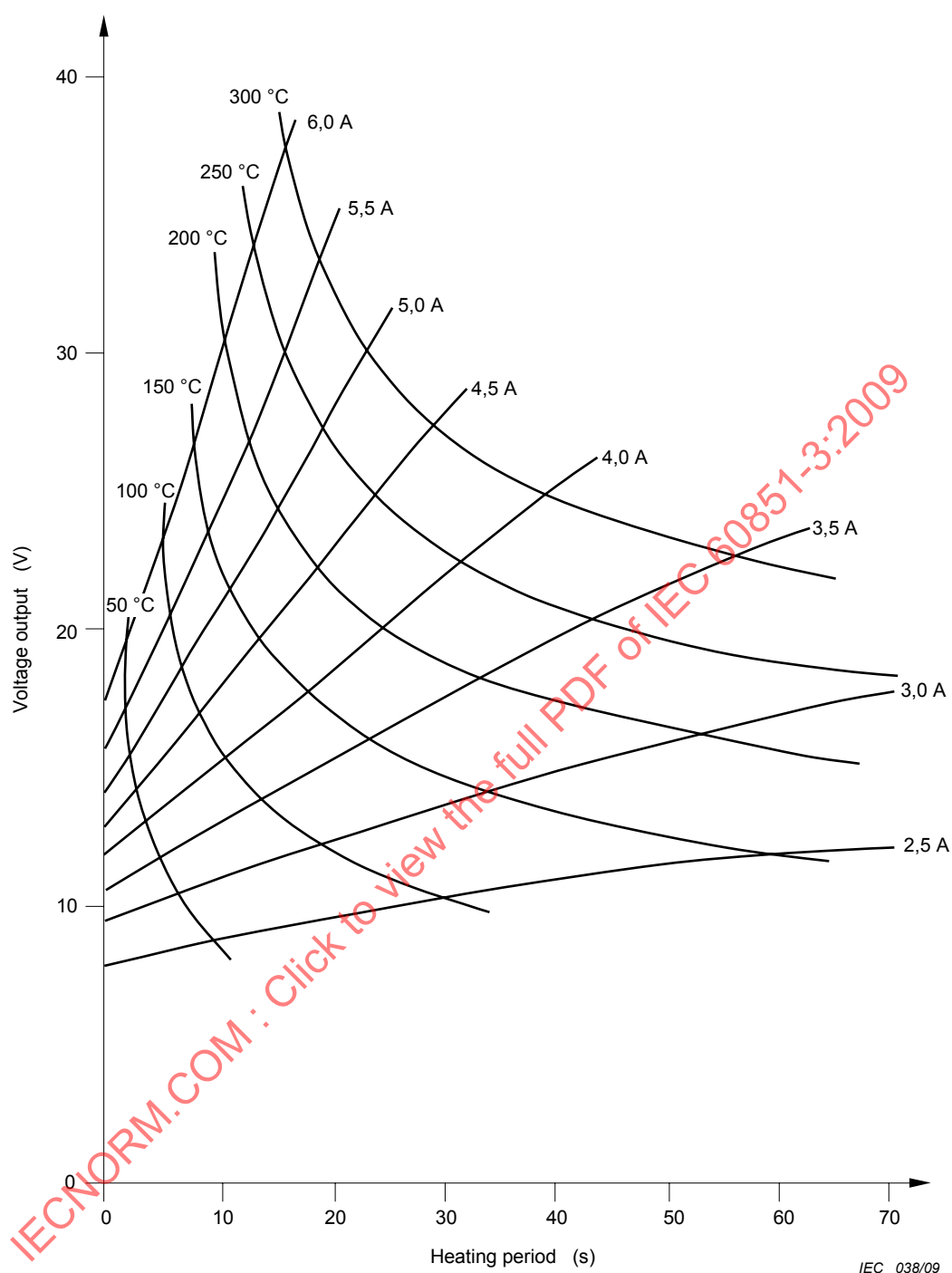
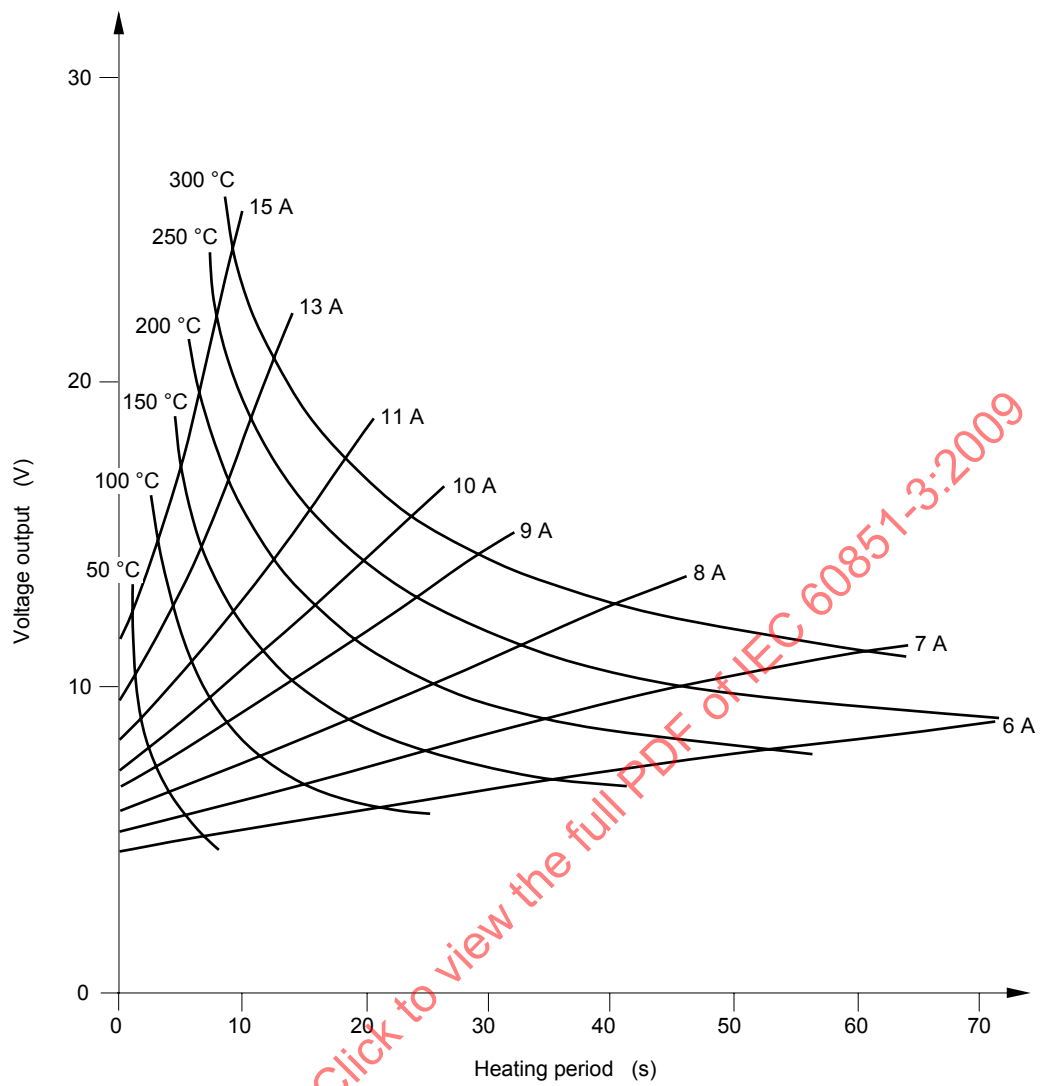


Figure A.3 – Example of voltage-time graphs of twisted coil specimens with a nominal conductor diameter of 0,355 mm with isothermic graphs



IEC 039/09

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.

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°/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

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 µm. 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.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.6. The force (weight) applied to the wire pair while being twisted and the number of twists are given in Table B.1.

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

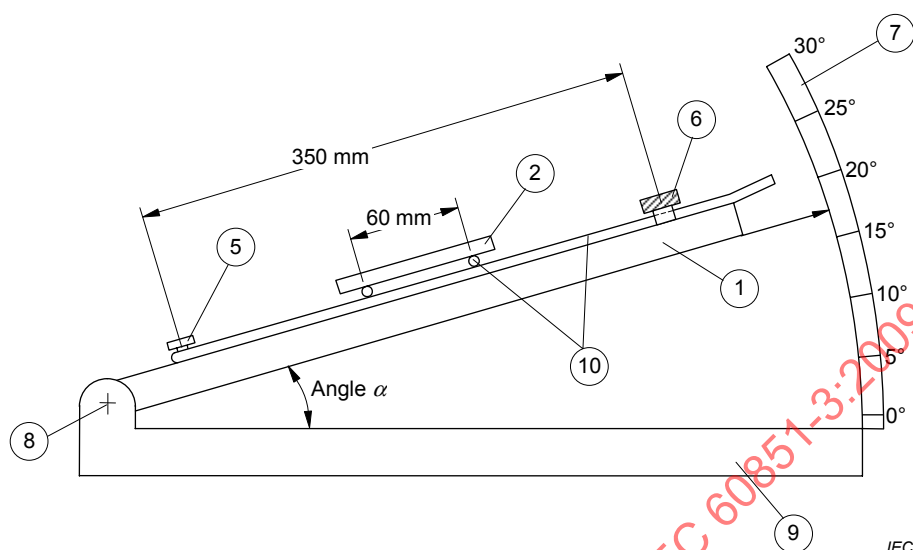
Any bending of the wires, at the cut end or at the other untwisted end, to ensure adequate separation between the wires, shall avoid sharp bends or damage to the insulation.

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.1 – Twisted pair method

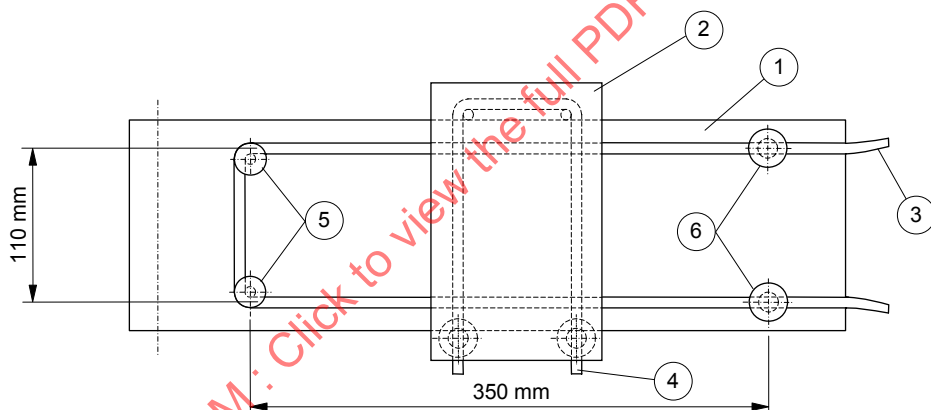
Nominal conductor diameter mm		Force applied to wire pairs N	Number of twists per 125 mm
Over	Up to and including		
0,10	0,25	0,85	17
0,25	0,315	1,40	15
0,315	0,40	2,40	13
0,40	0,50	3,40	12
0,50	0,71	6,00	11
0,71	0,80	8,50	10
0,80	0,90	10,00	9
0,90	1,00	12,50	8
1,00	1,12	15,00	7
1,12	1,25	20,00	6
1,25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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60851-3:2009



IEC 040/09

Figure B.1a – Side view



IEC 041/09

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

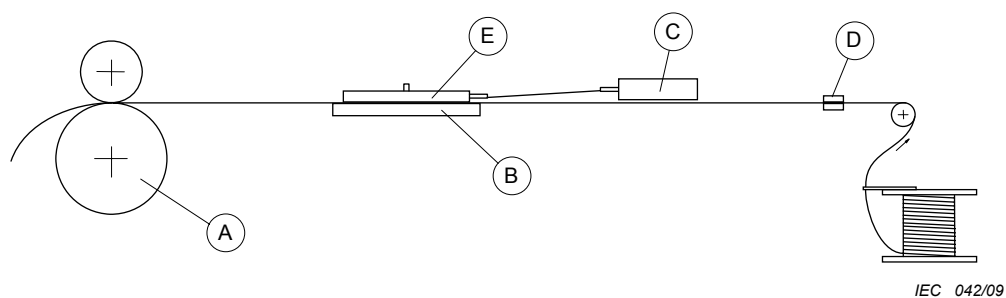


Figure B.2a – Side view

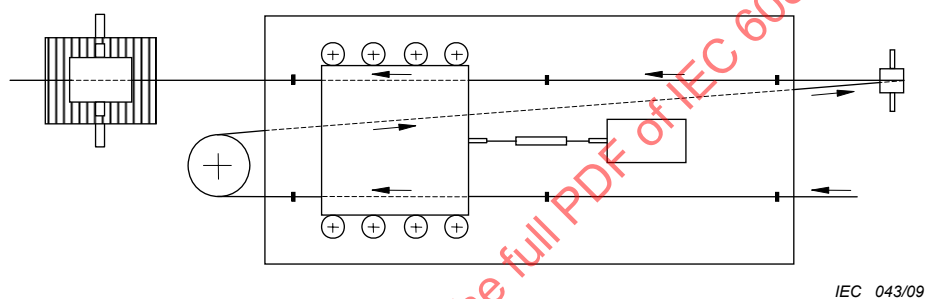
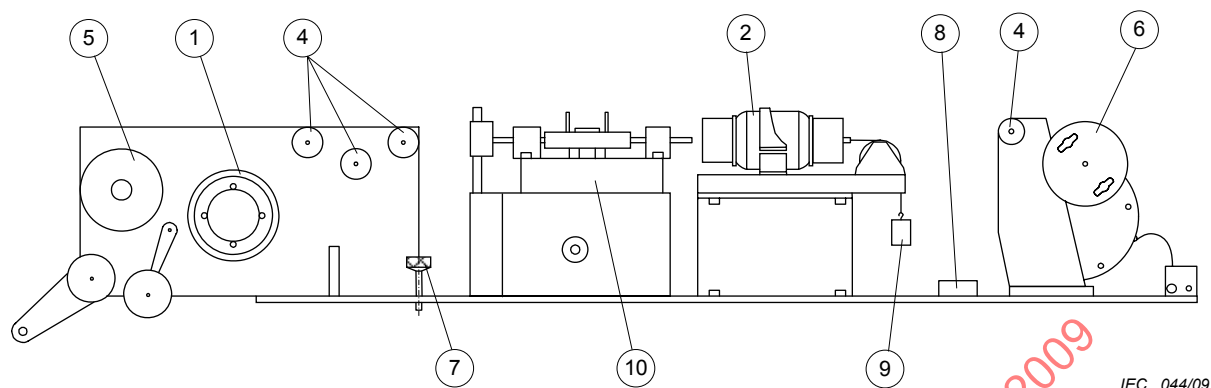


Figure B.2b – Top view

Components

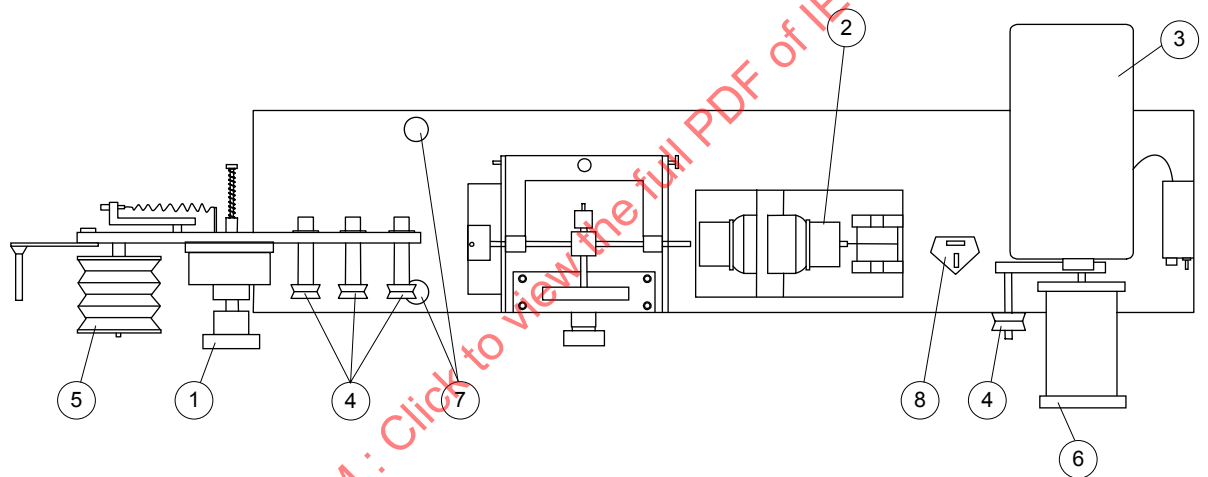
- A capstan
- B plate
- C force indication meter
- D brake
- E mass

Figure B.2 – Dynamic coefficient of friction test apparatus



IEC 044/09

Figure B.3a – Side view



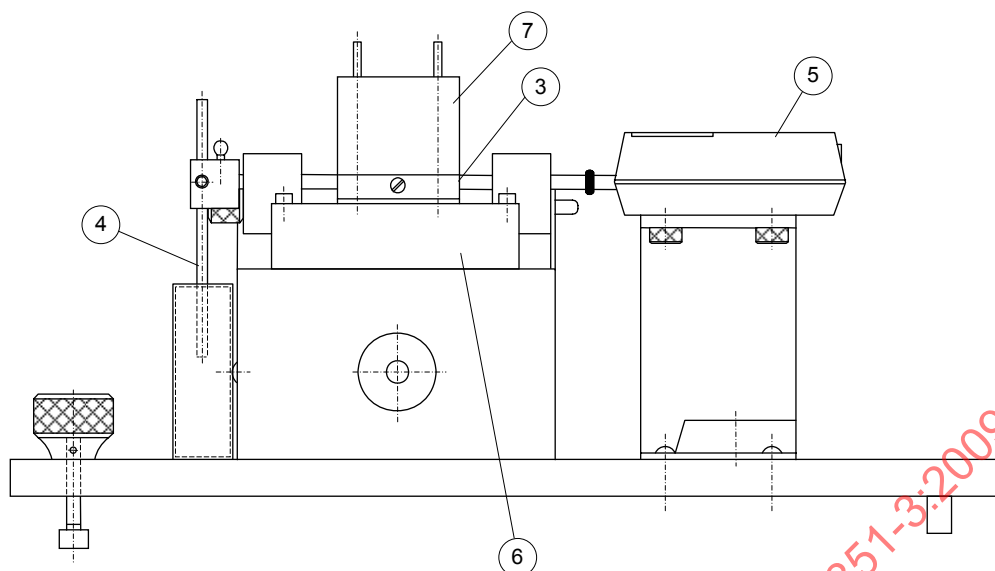
IEC 045/09

Figure B.3b – Top view

Key

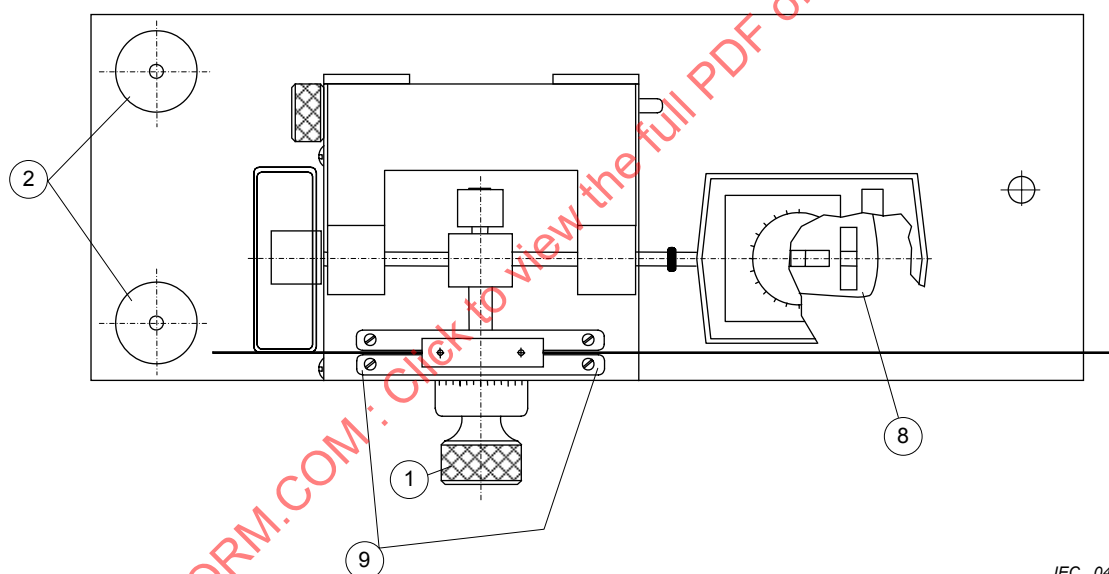
- | | |
|---------------------|--|
| 1 tension capstan | 6 wire take-up |
| 2 transducer | 7 leg levellers |
| 3 motor | 8 float level |
| 4 wire guide pulley | 9 calibration weight |
| 5 pay-off pulley | 10 test bed (consisting of 2 positions depending on wire diameter) |

Figure B.3 – Dynamic coefficient of friction test apparatus



IEC 046/09

Figure B.4a – Side view



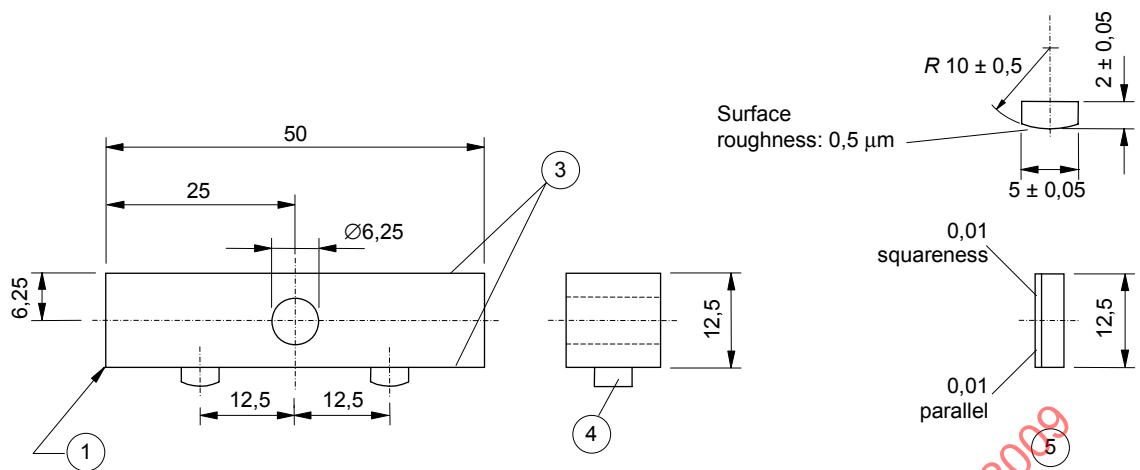
IEC 047/09

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

Figure B.4 – Detail drawing of friction head assembly with mechanical dynamometer



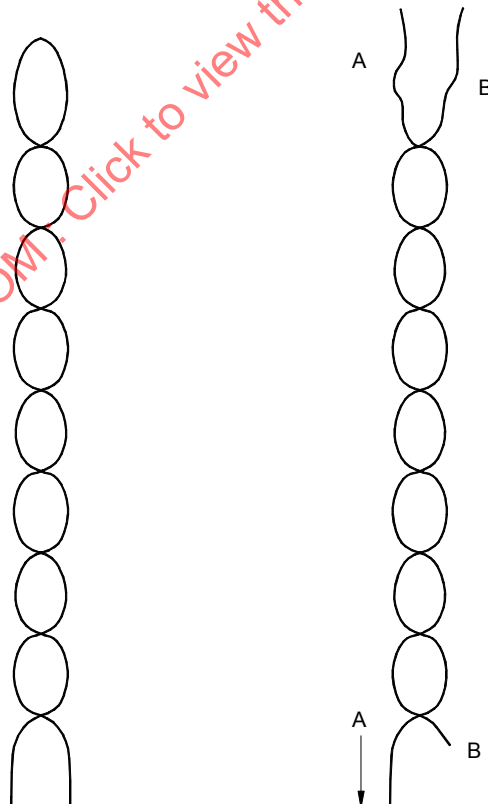
IEC 048/09

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 sapphires



IEC 049/09

Figure B.6 – 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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60851-3:2009

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
4.2.2 Equipement	53
4.2.3 Eprouvette	54
4.2.4 Procédure	55
5 Essai 8: Souplesse et adhérence	55
5.1 Essai d'enroulement sur mandrin	55
5.1.1 Fil de section circulaire	55
5.1.2 Fil de section rectangulaire	56
5.1.3 Fil toronné avec enveloppe	57
5.2 Essai d'étirement (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,600 mm)	57
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)	58
5.4 Essai de pelage (applicable au fil de section circulaire émaillé de diamètre nominal du conducteur supérieur à 1,000 mm)	59
5.5 Essai d'adhérence	60
5.5.1 Fil de section rectangulaire émaillé	60
5.5.2 Fil de section circulaire ou rectangulaire recouvert d'une enveloppe fibreuse imprégnée	60
5.5.3 Fil de section circulaire ou rectangulaire émaillé recouvert d'une enveloppe fibreuse	61
5.5.4 Fil de section circulaire ou rectangulaire recouvert d'un ruban (uniquement pour ruban adhésif)	61
6 Essai 11: Résistance à l'abrasion (applicable au fil de section circulaire émaillé)	61
6.1 Principe	61
6.2 Equipement	61
6.3 Procédure	62
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)	63
7.1 Collage résiduel vertical d'un bobinage hélicoïdal	63
7.1.1 Diamètre nominal du conducteur jusqu'à 0,050 mm inclus	63
7.1.2 Diamètre nominal du conducteur supérieur à 0,050 mm jusqu'à 2,000 mm inclus	63

7.2	Force de collage d'un bobinage torsadé	66
7.2.1	Principe	66
7.2.2	Équipement	66
7.2.3	Eprouvette	66
7.2.4	Procédure	69
7.2.5	Résultats	69
Annexe A (informative)	Force de collage des fils thermo-adhérents	71
Annexe B (informative)	Méthodes d'essai de frottement	77
Bibliographie		87
Figure 1	– Appareil pour la mesure de l'effet de 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	57
Figure 5	– Appareil pour l'essai de traction brusque	58
Figure 6	– Appareil pour l'essai de pelage	59
Figure 7	– Racloir	60
Figure 8	– Section droite du fil dont on a retiré l'émail	60
Figure 9	– Appareil pour l'essai d'abrasion unidirectionnelle	62
Figure 10	– Dispositifs pour l'essai de thermo-adhérence d'un bobinage hélicoïdal	65
Figure 11	– Dispositif de bobinage	68
Figure 12	– Bobine de forme ovale	69
Figure 13	– Dispositif de torsion avec une charge appliquée au bobinage torsadé	69
Figure 14	– Disposition des supports	70
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	73
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	74
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	75
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	76
Figure B.1	– Appareil pour l'essai statique du coefficient de frottement	82
Figure B.2	– Appareil pour l'essai dynamique du coefficient de frottement	83
Figure B.3	– Appareil pour l'essai dynamique du coefficient de frottement	84
Figure B.4	– Détail montrant la liaison entre le banc de friction et le dynamomètre mécanique	85
Figure B.5	– Charge montée sur saphirs	86
Figure B.6	– Eprouvette torsadée	86
Tableau 1	– Mandrins pour l'effet de ressort	52
Tableau 2	– Grossissement pour détecter les craquelures	55
Tableau 3	– Charge pour l'essai de pelage	59
Tableau 4	– Préparation des bobinages hélicoïdaux	64
Tableau 5	– Collage résiduel à température élevée	66
Tableau B.1	– Méthode du fil torsadé	81

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.

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

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1996, son amendement 1 (1997) et son amendement 2 (2003), et constitue une révision technique.

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

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
55/1043/CDV	55/1059/RVC

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

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

Une liste de toutes les parties de la 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 cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60851-3:2009

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).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60851-3:2009

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.

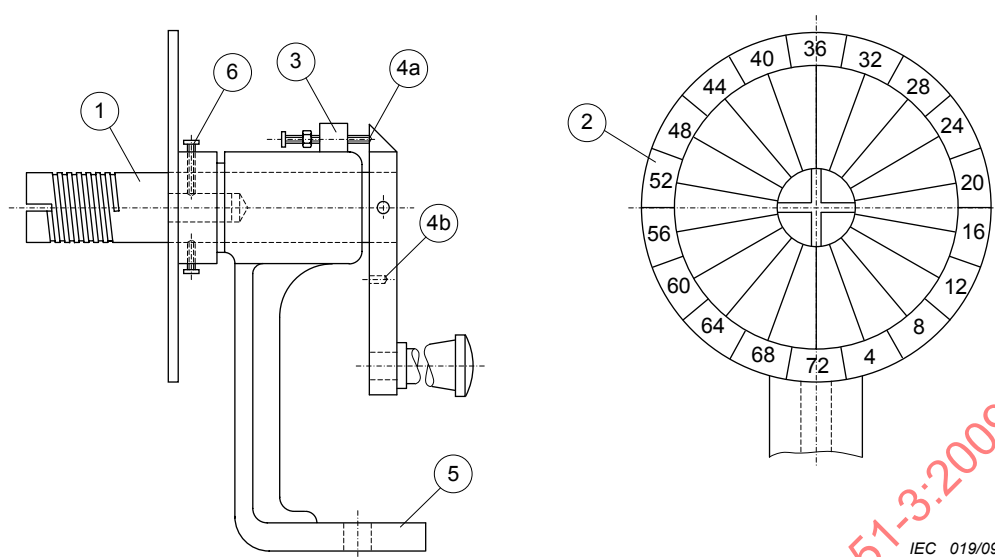
4.1 Fil de section circulaire de diamètre nominal du conducteur de 0,080 mm jusqu'à 1,600 mm inclus

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

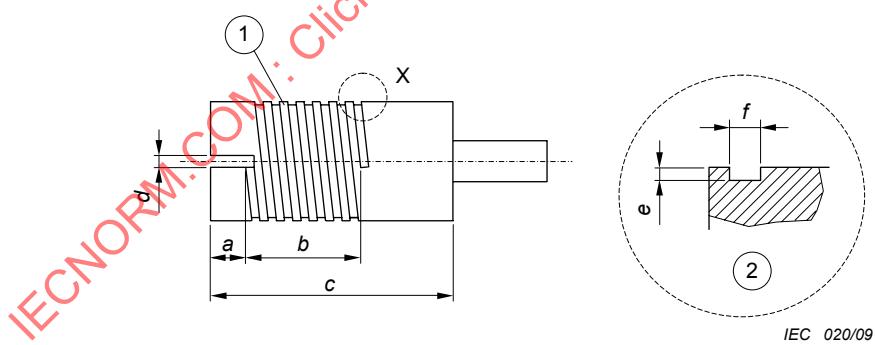
La Figure 1 décrit un exemple d'équipement d'essai. Les détails du mandrin sont donnés à la Figure 2 et dans le Tableau 1. La Figure 2 mentionne une gorge en hélice qui peut être utilisée pour faciliter le bobinage. Toutefois, cette gorge n'est pas obligatoire. Le cadran porte 72 divisions équidistantes 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

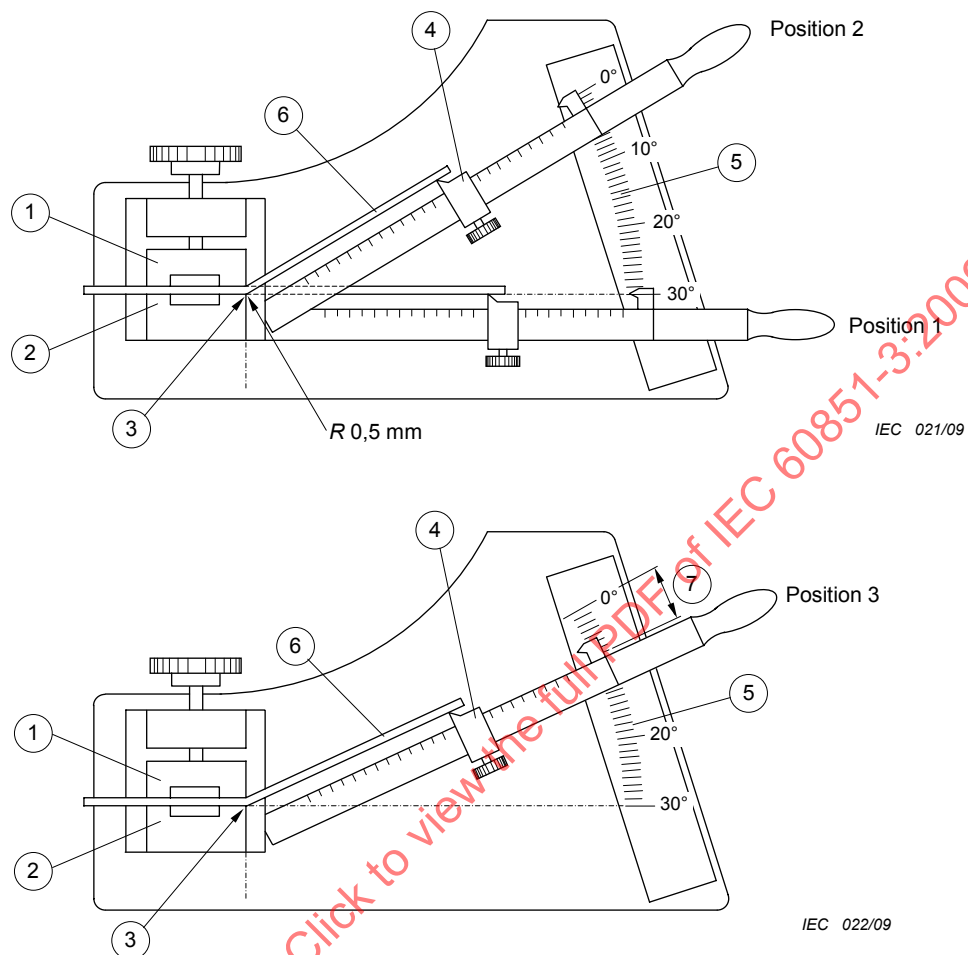
Une longueur de fil droit doit être courbée d'un angle de 30°. Après avoir supprimé la contrainte, la mesure de l'effet de ressort est indiquée par l'angle de retour en arrière.

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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60851-3:2009



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 Eprouvette

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 détecter 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.

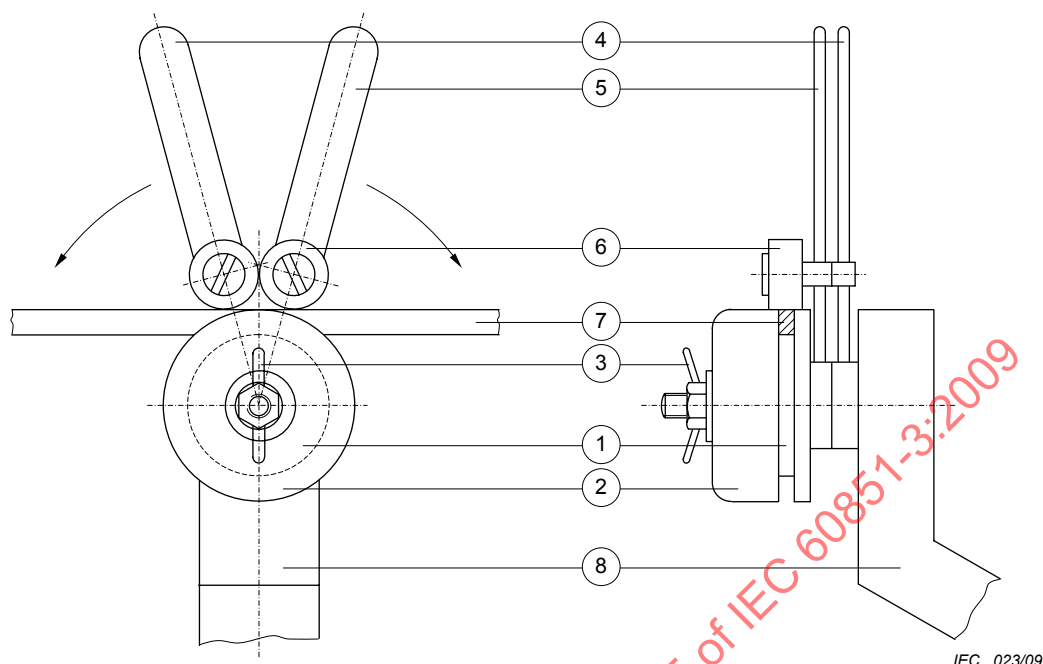
Trois éprouvettes doivent être essayées. L'apparition du conducteur nu ou le pelage doivent être notés.

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)

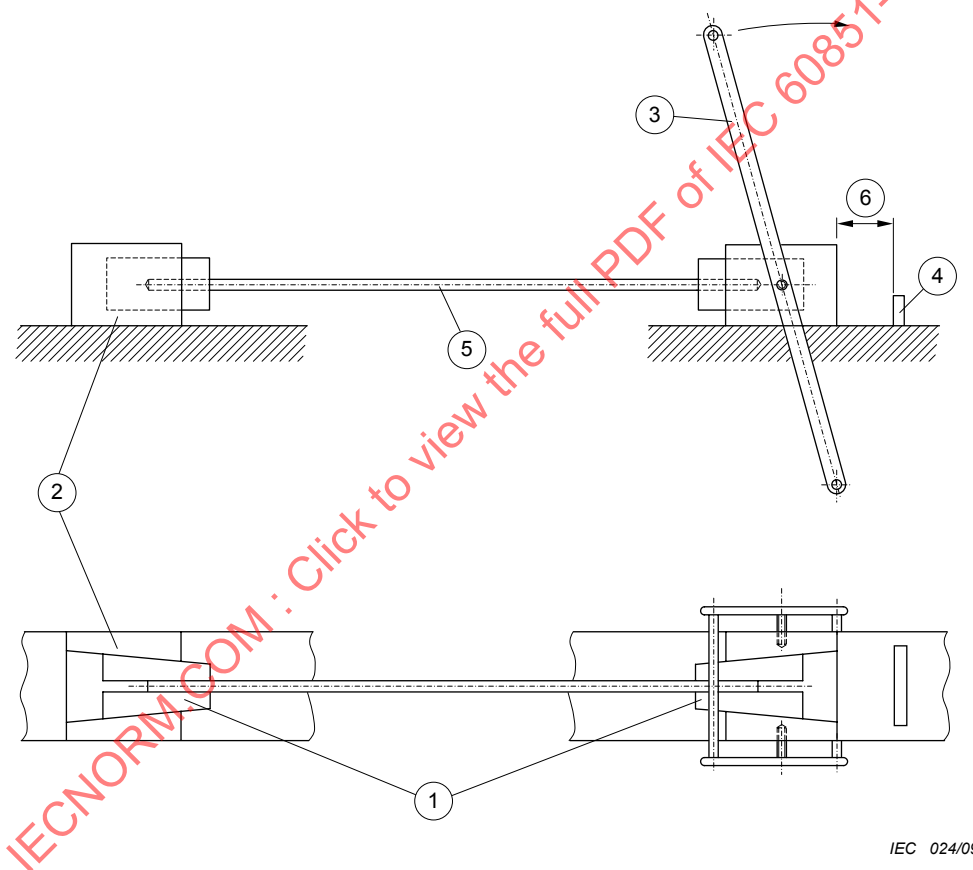
Une longueur de fil droit doit être allongée conformément à l'Article 3 au pourcentage spécifié dans la norme appropriée. Après allongement, l'éprouvette doit être examinée en vue de déceler les craquelures éventuelles ou les pertes d'adhérence à l'oeil nu ou avec un grossissement maximal de six fois.

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 détecter 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

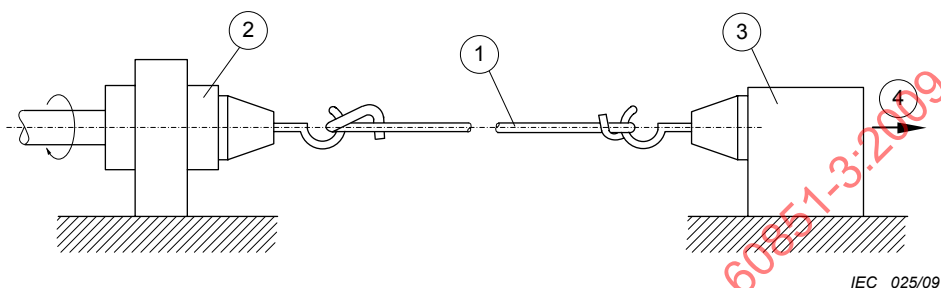
Légende

- 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.



IEC 025/09

Légende

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

Figure 6 – Appareil pour l'essai de pelage

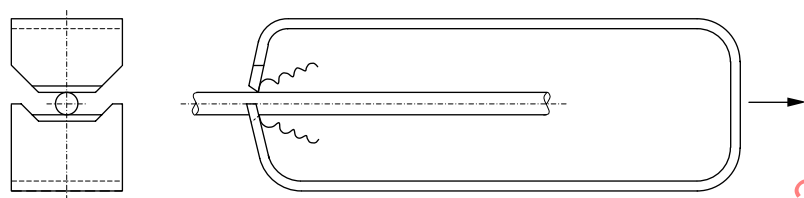
Tableau 3 – Charge pour l'essai de pelage

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.

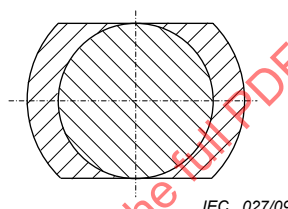
Après pelage et rotation, l'éprouvette doit être examinée en vue de détecter une perte d'adhérence. Le revêtement qui peut être enlevé du fil sans difficulté (par exemple avec l'ongle du pouce) doit être considéré comme ayant perdu son adhérence même s'il ne s'est pas complètement détaché du fil.

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



IEC 026/09

Figure 7 – Racloir



IEC 027/09

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

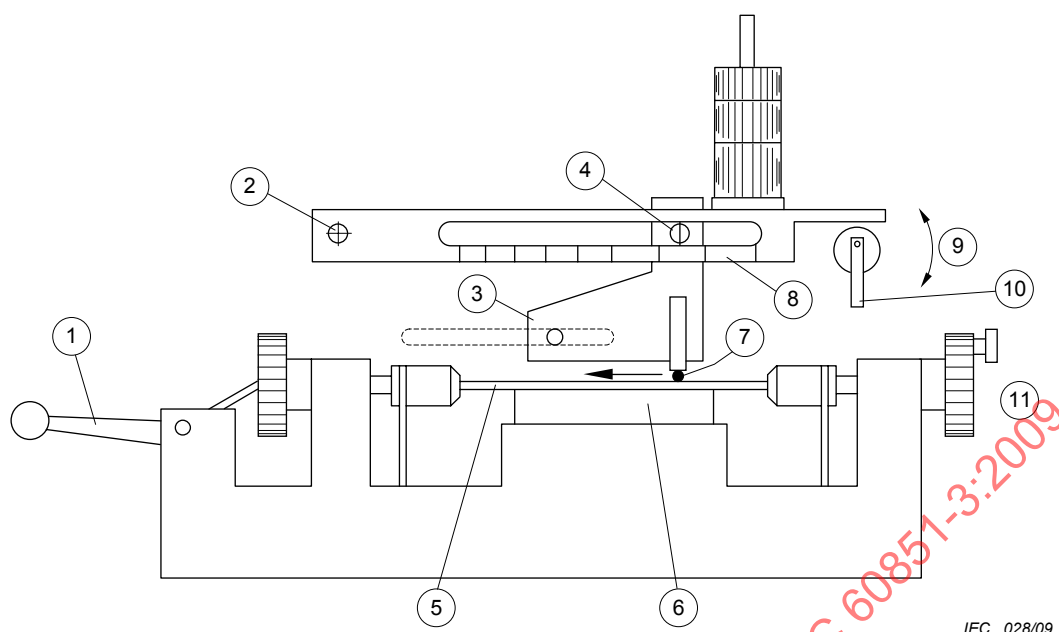
Une longueur de fil droit est soumise à un essai d'abrasion unidirectionnelle au moyen d'une aiguille sur laquelle on applique une charge progressivement croissante et qui racle la surface du fil. La charge qui provoque un court-circuit électrique entre l'aiguille et le conducteur est appelée «charge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



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.

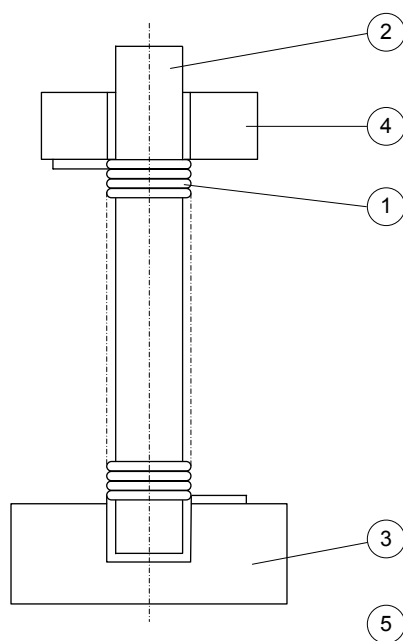
7.1.2.4 Procédure à température élevée

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.

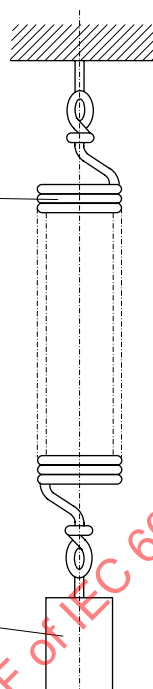
Tableau 4 – Préparation des bobinages hélicoïdaux

Diamètre nominal du conducteur mm		Diamètre du mandrin mm	Traction maximale de bobinage N	Charge appliquée au bobinage pendant le collage N
A partir de	Jusqu'à et y compris			
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



IEC 029/09

Figure 10a



IEC 030/09

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 N	Diamètre nominal du conducteur mm		Charge N
A partir de	Jusqu'à et y compris		A partir de	Jusqu'à et y compris	
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.

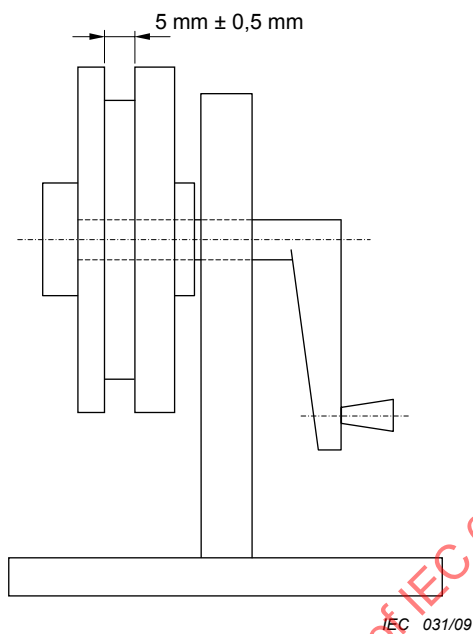


Figure 11a – Dispositif de bobinage

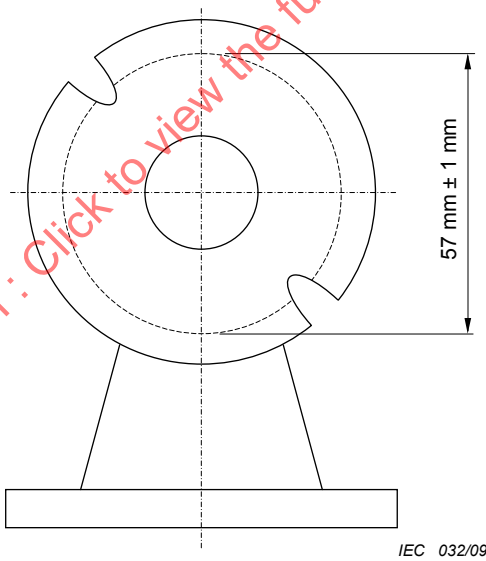
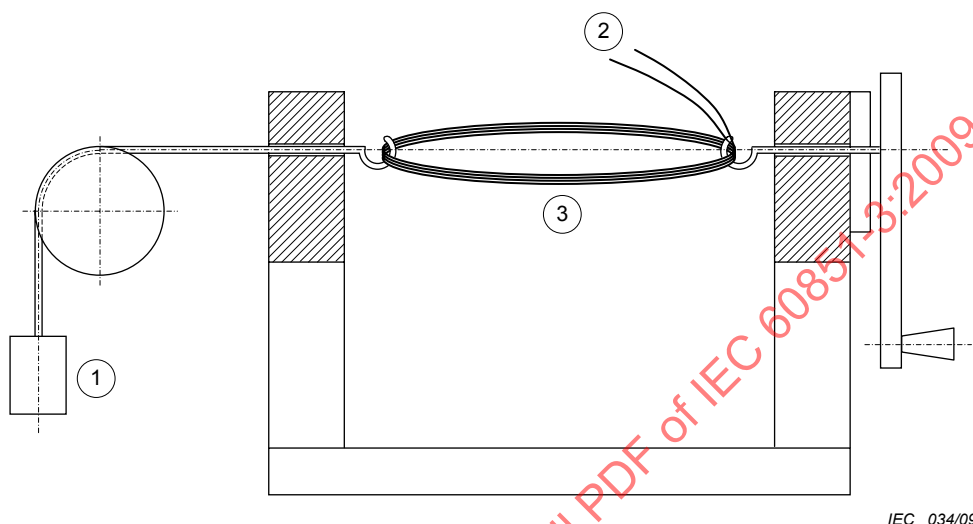


Figure 11b – Dispositif de bobinage, vue de face

Figure 11 – Dispositif de bobinage



IEC 033/09

Figure 12 – Bobine de forme ovale

IEC 034/09

Légende

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

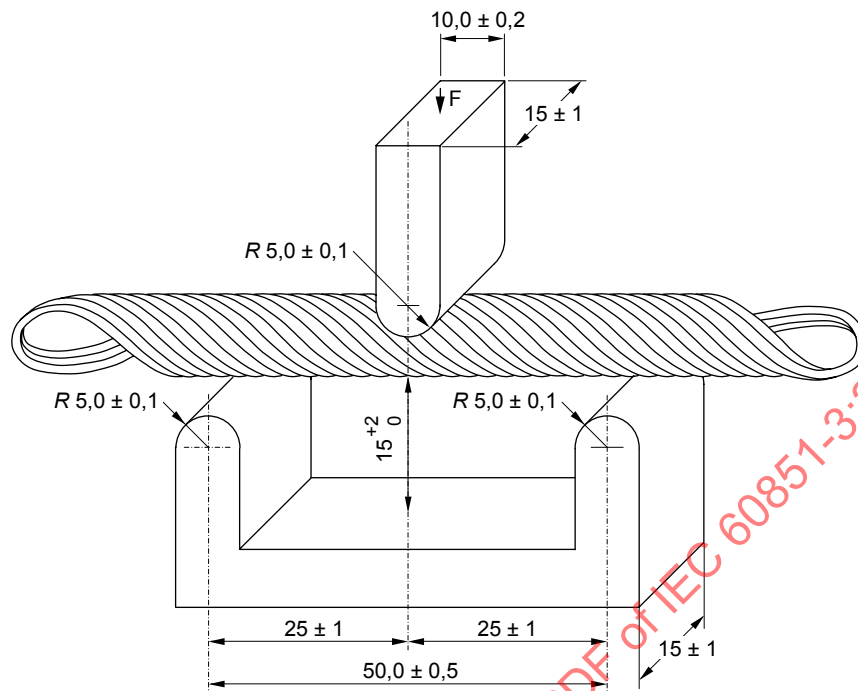
Figure 13 – Dispositif de torsion avec une charge appliquée au bobinage torsadé**7.2.4 Procédure**

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:

$$R_{Tt} = R_{To} + \alpha R_{To} \times (T_t - T_o)$$

où

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

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

T_o est la température au début du temps de chauffage (T_o est normalement identique à la température ambiante, c'est-à-dire $23 \text{ }^\circ\text{C}$).

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

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

$$\frac{R_{Tt}}{R_{To}} = \frac{U_t}{U_o}$$

où

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

U_o est la tension au début du temps de chauffage.

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

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