

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Magnetic materials –

Part 12: Methods of test for the assessment of the thermal endurance of surface insulation coatings on electrical steel strip and sheet

Matériaux magnétiques –

Partie 12: Méthodes d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des revêtements isolants superficiels des bandes et tôles en acier électrique

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-12:2023



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Magnetic materials –

Part 12: Methods of test for the assessment of the thermal endurance of surface insulation coatings on electrical steel strip and sheet

Matériaux magnétiques –

Partie 12: Méthodes d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des revêtements isolants superficiels des bandes et tôles en acier électrique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.01; 29.030

ISBN 978-2-8322-6445-4

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

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION	5
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 General principles	7
4.1 General.....	7
4.2 Preparation of clamped stacks of test specimens.....	7
4.2.1 Procedure of stacking test specimens.....	7
4.2.2 Clamping stacks for temperature ratings up to 500 °C	7
4.2.3 Clamping stacks for temperature ratings above 500 °C.....	8
4.3 Heat treatment.....	8
4.3.1 For time ratings up to 2 500 h.....	8
4.3.2 For continuous exposure	9
5 Standard temperature/time performance designations T/t	9
6 Method of the test for adhesion	9
6.1 General.....	9
6.2 Test specimens.....	9
6.3 Procedure of test	9
6.4 Test report	10
7 Method of the test for surface insulation resistance	10
7.1 General.....	10
7.2 Test specimens.....	10
7.3 Procedure of test	10
7.4 Test report.....	11
8 Method of the test for stacking factor.....	11
8.1 General.....	11
8.2 Test specimen.....	11
8.3 Procedure of test	11
8.4 Test report.....	11
Annex A (informative) Method of test for the assessment of the thermal endurance for continuous exposure to elevated temperatures	12
A.1 General.....	12
A.2 Procedure of test	12
A.3 Temperature/time performance designations T/t for continuous exposure	12
Bibliography.....	13
Figure 1 – Example of clamped stack for 100 mm square test specimens	8

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –

Part 12: Methods of test for the assessment of the thermal endurance of surface insulation coatings on electrical steel strip and sheet

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60404-12 has been prepared by IEC technical committee 68: Magnetic alloys and steels. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1992. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) the method of test for adhesion has been modified to match to the method of bend test specified in ISO 1519 using a cylindrical mandrel of 32 mm in diameter instead of the 30 mm diameter mandrel specified in the first edition;
- b) the method of test for interlaminar insulation resistance has been modified to match to the method specified in IEC 60404-11 and the modified Franklin test has been removed;
- c) the method of test for compressibility has been modified to match to the method of test for stacking factor specified in IEC 60404-13;

- d) the concept of "resistance grades" has been removed;
- e) the clamping pressure to be used at temperature ratings above 500 °C has been reduced to $(0,01 \pm 0,001)$ N/mm²;
- f) the testing for continuous exposure has been made a subject to an agreement between the manufacturer and the purchaser and the procedure has been moved to an informative Annex A.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
68/698/CDV	68/720/RVC

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

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/publications.

A list of all parts in the IEC 60404 series, published under the general title *Magnetic materials*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

INTRODUCTION

The surface insulation coatings on electrical steel strip and sheet are sometimes exposed to elevated temperatures in service or during processing by the purchaser. Therefore, the thermal endurance of the surface insulation coating is important.

Physicochemical models postulated for the aging processes lead to the almost universal assumption of the Arrhenius equations to describe the rate of aging (see Annex A of this document and IEC 60216-1).

Since the measurement of the properties of surface insulation coatings at elevated temperatures is expensive and time-consuming, the thermal endurance of a coating is usually assessed by evaluating the change of a specified coating property, at an ambient temperature, due to a heat treatment.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-12:2023

MAGNETIC MATERIALS –

Part 12: Methods of test for the assessment of the thermal endurance of surface insulation coatings on electrical steel strip and sheet

1 Scope

This part of IEC 60404 is applicable to surface insulation coatings on electrical steel strip and sheet classified in IEC 60404-1-1.

This document defines the general principles and technical details of the tests for the assessment of the thermal endurance of surface insulation coatings on electrical steel strip and sheet.

The assessment is made by evaluating the change of a specified property of the surface insulation coating due to a heat treatment at a specified temperature up to 850 °C for a specified duration time up to 2 500 h. The specified property is measured at an ambient temperature of (23 ± 5) °C both without heat treatment and after heat treatment.

This document is applicable to the following properties of surface insulation coatings:

- adhesion;
- surface insulation resistance;
- stacking factor.

This document is not applicable to other properties of surface insulation coatings, e.g. welding properties, or to other effects, e.g. discoloration and off-gassing, which can be caused by exposure to elevated temperatures.

NOTE Some of the tests take a very long time to perform and therefore they are often not appropriate for acceptance tests of material supplied on a specific order.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60050-121, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 121: Electromagnetism*

IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 221: Magnetic materials and components*

IEC 60404-1-1, *Magnetic materials – Part 1-1: Classification – Surface insulations of electrical steel sheet, strip and laminations*

IEC 60404-11, *Magnetic materials – Part 11: Methods of measurement of the surface insulation resistance of electrical steel strip and sheet*

IEC 60404-13, *Magnetic materials – Part 13: Methods of measurement of resistivity, density and stacking factor of electrical steel strip and sheet*

ISO 1519, *Paints and varnishes – Bend test (cylindrical mandrel)*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-121, IEC 60050-221 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

3.1

temperature/time performance designation T/t

designation consisting of a temperature T , expressed in °C, and a duration of time t , expressed in hours, of a heat treatment that a surface insulation coating can withstand with respect to a specified coating property

EXAMPLE The designations 200/2500 and 800/2 mean that the surface insulation coating can withstand heat treatments at 200 °C for 2 500 h and 800 °C for 2 h, respectively, with respect to a specified coating property.

Note 1 to entry: This designation serves for rating of the thermal endurance of a surface insulation coating with respect to specified coating properties.

Note 2 to entry: More than one designation can be assigned to a coating.

4 General principles

4.1 General

The thermal endurance of a surface insulation coating shall be assessed by evaluating changes of specified coating properties due to a heat treatment at a specified temperature T °C for a specified duration time t h. The coating properties shall be measured at an ambient temperature of (23 ± 5) °C.

The thermal endurance for the following coating properties shall be assessed separately:

- adhesion;
- surface insulation resistance;
- stacking factor.

4.2 Preparation of clamped stacks of test specimens

4.2.1 Procedure of stacking test specimens

The test specimens shall be stacked between two similar sized or larger sheets made of the same material as the test specimens. The stack shall then be clamped between two steel pressure plates. The dimensions of the steel pressure plates shall be larger than the size of the part of the test specimens to be tested, e.g. it is permitted to clamp only the part of the test specimens that will be bent at the bend test (see 6.3).

4.2.2 Clamping stacks for temperature ratings up to 500 °C

The stack of test specimens shall be clamped homogeneously between the two steel pressure plates under a pressure of $(1 \pm 0,1)$ N/mm². Figure 1 illustrates an example of clamped stack for 100 mm square test specimens for temperature rating up to 500 °C.

The pressure shall be applied using suitable calibrated equipment such as a press, a tensile test machine or hydraulic jacks. The bolts shall be tightened while applying the pressure. The disk-springs, the bolts, the nuts and the steel pressure plates shall be made of suitable materials which can maintain a substantially constant pressure while the test specimens are subjected to the heat treatment.

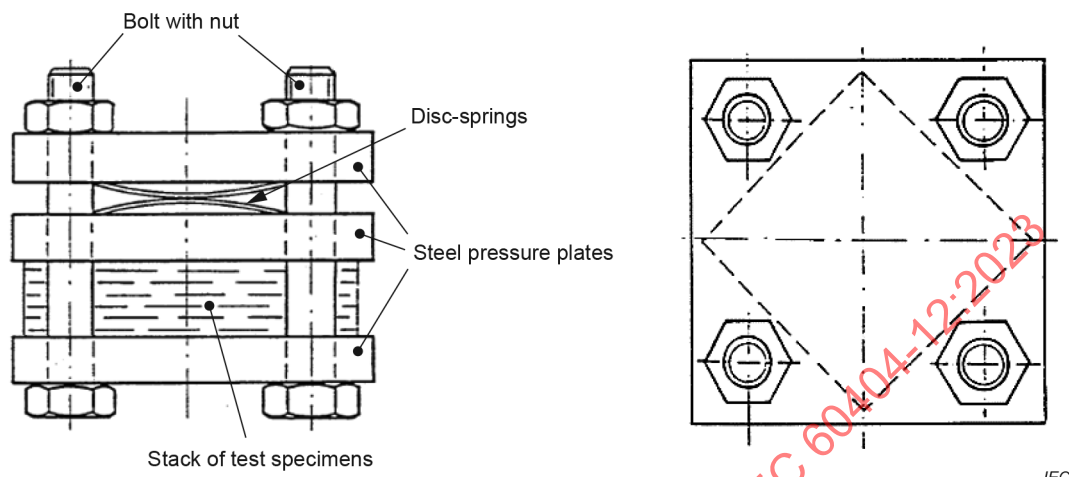


Figure 1 – Example of clamped stack for 100 mm square test specimens

In case the clamping method using screws causes problems during the test, the manufacturer and the purchaser can agree at the time of enquiry and order on using the clamping method for above 500 °C described in 4.2.3.

4.2.3 Clamping stacks for temperature ratings above 500 °C

The stack of test specimens shall be clamped homogeneously between the two steel pressure plates under a pressure of $(0,01 \pm 0,001) \text{ N/mm}^2$.

The pressure shall be applied by using a dead weight or by an externally applied force transmitted by suitable thermally insulated rods from the outside of the furnace used for the heat treatment.

4.3 Heat treatment

4.3.1 For time ratings up to 2 500 h

The clamped stack shall be placed in a furnace at near ambient temperature. The furnace shall be heated to the temperature T °C within $\pm 1,5$ % with a heating rate not exceeding 200 °C/h.

When the furnace reaches the temperature T °C, this temperature shall be held for a specified duration time of t h within ± 1 %, where T and t constitute the temperature/time performance designation T/t .

The furnace shall have enough power and heating capacity to ensure that the surface of the clamped stack reaches at least 2,5 % below the temperature T °C when the furnace reaches the temperature T °C. The furnace capacity shall be confirmed, e.g. by means of a thermocouple applied to the clamped stack. A furnace with forced atmosphere convection is recommended.

After the duration time t h, the clamped stack is removed from the furnace and allowed to cool to ambient temperature.

For temperatures up to 500 °C, the heat treatment shall take place in air. For temperatures above 500 °C, other atmospheres, e.g. inert atmosphere, are recommended to avoid oxidation of the steel.

4.3.2 For continuous exposure

If agreed between the manufacturer and the purchaser at the time of enquiry and order, the assessment of the thermal endurance for continuous exposure to elevated temperatures can, as a guide, be carried out according to the procedure described in Annex A.

5 Standard temperature/time performance designations T/t

The recommended standard temperature/time performance designations T/t are:

150/168, 180/168, 200/168, 250/168, 150/2500, 180/2500, 200/2500, 250/2500, 400/6, 500/0,5, 750/2, 800/2 and 850/2.

6 Method of the test for adhesion

6.1 General

The test for assessment of the thermal endurance for adhesion shall be made by the method of bend test in accordance with ISO 1519 using the test apparatus with a mandrel with $(32 \pm 0,1)$ mm diameter specified in ISO 1519 at an ambient temperature of (23 ± 5) °C.

The manufacturer and the purchaser can agree at the time of enquiry and order to use a different diameter of the mandrel, e.g. 30 mm to comply with the requirements according to the first edition of IEC 60404-12 (IEC 60404-12:1992), or a smaller diameter to increase the severity of the test.

6.2 Test specimens

The test specimens shall be at least 30 mm in width, 280 mm to 320 mm in length. They shall be cut parallel to the rolling direction of the strip or sheet, and adjacent to each other, without causing damage to the coating. Four test specimens shall be cut from the strip or sheet at least 40 mm away from the edges of the strip or sheet.

NOTE A test applied to coated electrical steel sheets of one nominal thickness can be considered to be representative of the coated electrical steel sheets of other nominal thicknesses.

6.3 Procedure of test

Two of the four test specimens shall be tested without heat treatment. One test specimen shall be bent with one of the surfaces against the mandrel and another test specimen shall be bent with the opposite surface against the mandrel.

The test specimens shall be examined immediately after bending by the naked eye under sufficient illumination. There shall be no cracking and/or detachment of the coating from the base material visible to the naked eye, ignoring the surface of the coating within 2 mm from the edges of the test specimen.

The remaining two test specimens shall be stacked and clamped in accordance with 4.2, and then heat-treated at a specified temperature T °C for a specified duration time t h in accordance with 4.3.

After cooling the test specimens to $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, the test specimens shall be removed from the clamping device and tested in the same way as the first two test specimens are tested. If there is no cracking and/or detachment of the coating from the base material visible to the naked eye, ignoring the surface of the coating within 2 mm from the edges of the test specimen, the coating has a temperature/time performance designation T/t with respect to adhesion.

6.4 Test report

The test report for each temperature/time performance designation T/t shall include the following as applicable:

- the description of the surface insulation coating, including the coating thickness, and the type of base material (e.g. a steel name specified in IEC 60404-8-4);
- the number of this document (IEC 60404-12), including the year of publication;
- the diameter of the mandrel used for the bend test if different from the specified $(32 \pm 0,1) \text{ mm}$;
- the atmosphere used during the heat treatment;
- the description of any cracks or detachment of the coating from the base material without heat treatment and after the heat treatment, ignoring the surface of the coating within 2 mm from the edges of the test specimen;
- the temperature/time performance designation T/t with respect to adhesion.

7 Method of the test for surface insulation resistance

7.1 General

The test for assessment of the thermal endurance for surface insulation resistance shall be made in accordance with IEC 60404-11 at an ambient temperature of $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

7.2 Test specimens

A sufficient number of test specimens shall be prepared to provide a total area enabling 10 measurements of surface insulation resistance to fulfil the requirements of IEC 60404-11. Two sets of such test specimens shall be prepared.

7.3 Procedure of test

The first set of test specimens shall be tested without heat treatment. The value of the coefficient of the insulation resistance shall be calculated from 10 measurements (five measurements per side for materials coated on both sides).

The second set of test specimens shall be stacked and clamped in accordance with 4.2, and then heat-treated at a specified temperature $T ^\circ\text{C}$ for a specified duration time $t \text{ h}$ in accordance with 4.3.

After cooling the test specimens to $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, the second set of test specimens shall be removed from the clamping device and the value of the coefficient of the surface insulation resistance shall be measured in the same way as the first set of test specimens was measured.

If the value of the coefficient of the surface insulation resistance has not decreased by more than 30 % due to the heat treatment, the coating has a temperature/time performance designation T/t with respect to surface insulation resistance.

7.4 Test report

The test report for each temperature/time performance designation T/t shall include the following as applicable:

- a) the description of the surface insulation coating, including the coating thickness, and the type of base material (e.g. a steel name specified in IEC 60404-8-4);
- b) the number of this document (IEC 60404-12), including the year of publication;
- c) the atmosphere used during the heat treatment;
- d) the value of the coefficient of the surface insulation resistance without heat treatment and after the heat treatment, in $\Omega \cdot \text{mm}^2$ or $\Omega \cdot \text{cm}^2$;
- e) the decrease in the value of the coefficient of the surface insulation resistance due to the heat treatment, expressed as a percentage;
- f) the temperature/time performance designation T/t with respect to surface insulation resistance.

8 Method of the test for stacking factor

8.1 General

The test for assessment of the thermal endurance for stacking factor shall be made in accordance with IEC 60404-13 at an ambient temperature of $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

8.2 Test specimen

A sufficient number of test specimens shall be prepared to fulfil the requirements of IEC 60404-13.

8.3 Procedure of test

The stacking factor of the test specimens shall first be measured prior to the heat treatment. After the measurement, the same test specimens shall be stacked and clamped in accordance with 4.2, and then heat-treated at a specified temperature $T ^\circ\text{C}$ for a specified duration time t h in accordance with 4.3.

After cooling the test specimens to $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, the stack of test specimens shall be removed from the clamping device and the stacking factor shall be measured in the same way as described above for the measurement before the heat treatment.

If the stacking factor has not changed more than 1,0 % due to the heat treatment, the coating has a temperature/time performance designation T/t with respect to stacking factor.

8.4 Test report

The test report for each temperature/time designation T/t shall include the following as applicable:

- a) the description of the surface insulation coating, including the coating thickness, and the type of base material (e.g. a steel name specified in IEC 60404-8-4);
- b) the number of this document (IEC 60404-12), including the year of publication;
- c) the atmosphere used during the heat treatment;
- d) the stacking factor before and after the heat treatment;
- e) the change in stacking factor due to the heat treatment, expressed as a percentage;
- f) the temperature/time performance designation T/t with respect to stacking factor.

Annex A (informative)

Method of test for the assessment of the thermal endurance for continuous exposure to elevated temperatures

A.1 General

This Annex A describes the method of test for the assessment of the thermal endurance for continuous exposure to elevated temperature which has been common practise and used empirically in the industry according to IEC 60404-12:1992. The method is based on a generalized and simplified practically linear relationship between the logarithm of the time required to cause a change in the specific property under investigation and the reciprocal of the corresponding absolute temperature which can be derived from the Arrhenius equation:

$$t = t_0 + e^{\frac{E_a}{kT_k}} \quad (\text{A.1})$$

where

t is the time required to cause the change of the property;

t_0 is a constant;

E_a is the activation energy for the thermal process causing the change of the property;

k is the Boltzmann constant;

T_k is the temperature in kelvin.

See IEC 60216-1.

For indicating that the coating can withstand a continuous exposure at a specified temperature, the designation T/t (see 3.1) is replaced by $T/\text{continuous}$.

NOTE It is impractical and uneconomic to execute a continuous exposure test at elevated temperatures. However, there can be situations where the generalized and simplified method described in this Annex A can give misleading results. In the case of critical applications with very long exposure times to elevated temperatures, the manufacturer and the purchaser can agree, at the time of enquiry and order, on a different method of assessing the temperature/time performance designation T/t in accordance with the procedures described in IEC 60216-1.

A.2 Procedure of test

The test procedure is in accordance with that described in Clause 4, except that the clamped stack is heat-treated at a temperature $(T + 30)^\circ\text{C}$ within $\pm 1,5\%$ for a duration time of 2 500 h within $\pm 1\%$. The range of the temperature T is usually up to 250°C .

A.3 Temperature/time performance designations T/t for continuous exposure

The temperature/time performance designations T/t for continuous exposure are: 150/continuous, 180/continuous, 200/continuous and 250/continuous.

EXAMPLE The designation 180/continuous means that the coating can withstand a continuous exposure at 180°C , with respect to a specified coating property.

Bibliography

IEC 60404-8-4, *Magnetic materials – Part 8-4: Specifications for individual materials – Cold-rolled non-oriented electrical steel strip and sheet delivered in the fully-processed state*

IEC 60216-1, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 1: Ageing procedures and evaluation of test results*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-12:2023

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	15
INTRODUCTION.....	17
1 Domaine d'application	18
2 Références normatives	18
3 Termes et définitions	19
4 Principes généraux	19
4.1 Généralités	19
4.2 Préparation de piles d'éprouvettes serrées	19
4.2.1 Procédure d'empilage des éprouvettes	19
4.2.2 Serrage des piles pour des températures assignées allant jusqu'à 500 °C	20
4.2.3 Serrage des piles pour des températures assignées supérieures à 500 °C	20
4.3 Traitement thermique	20
4.3.1 Pour des durées assignées maximales de 2 500 h	20
4.3.2 Pour une exposition continue	21
5 Désignations normales de performance température/temps T/t	21
6 Méthode d'essai d'adhérence	21
6.1 Généralités	21
6.2 Eprouvettes	21
6.3 Mode opératoire d'essai	21
6.4 Rapport d'essai	22
7 Méthode d'essai pour la résistance d'isolement superficiel	22
7.1 Généralités	22
7.2 Eprouvettes	22
7.3 Mode opératoire d'essai	22
7.4 Rapport d'essai	23
8 Méthode d'essai pour le facteur de foisonnement	23
8.1 Généralités	23
8.2 Eprouvettes	23
8.3 Mode opératoire d'essai	23
8.4 Rapport d'essai	24
Annexe A (informative) Méthode d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique pour une exposition continue à des températures élevées	25
A.1 Généralités	25
A.2 Mode opératoire d'essai	25
A.3 Désignations de performance température/temps T/t pour une exposition continue	26
Bibliographie.....	27
Figure 1 – Exemple de pile serrée d'éprouvettes carrées de 100 mm de côté	20

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 12: Méthodes d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des revêtements isolants superficiels des bandes et tôles en acier électrique

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60404-12 a été établie par le comité d'études 68 de l'IEC: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1992. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) la méthode d'essai d'adhérence a été modifiée afin de correspondre à la méthode d'essai de pliage spécifiée dans l'ISO 1519, qui utilise un mandrin cylindrique d'un diamètre de 32 mm en lieu et place du mandrin d'un diamètre de 30 mm spécifié dans la première édition;
- b) la méthode d'essai de résistance d'isolation interlaminaire a été modifiée afin de correspondre à la méthode spécifiée dans l'IEC 60404-11 et l'essai de Franklin modifié a été supprimé;
- c) la méthode d'essai de compressibilité a été modifiée afin de correspondre à la méthode d'essai du facteur de foisonnement spécifiée dans l'IEC 60404-13;
- d) le concept de "niveaux de résistance" a été supprimé;
- e) la pression de serrage à utiliser à des températures assignées supérieures à 500 °C a été réduite à $(0,01 \pm 0,001) \text{ N/mm}^2$;
- f) L'essai d'exposition continue a fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur et la procédure a été déplacée vers une Annexe A informative.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
68/698/CDV	68/720/RVC

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

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/publications.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60404, publiées sous le titre général *Matériaux magnétiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

INTRODUCTION

Les revêtements isolants superficiels des bandes et tôles en acier électrique sont parfois exposés à des températures élevées en service ou lors d'un traitement par l'acheteur. Par conséquent, l'endurance thermique du revêtement isolant superficiel est importante.

Les processus de vieillissement proposés comme relevant de modèles physico-chimiques ont conduit à décrire la vitesse de vieillissement selon les hypothèses presque universelles des équations d'Arrhenius (voir l'Annexe A du présent document et l'IEC 60216-1).

Étant donné que le mesurage des propriétés des revêtements isolants superficiels à températures élevées est long et onéreux, l'appréciation de l'endurance thermique d'un revêtement s'effectue habituellement par l'évaluation de la variation d'une propriété de revêtement spécifiée à température ambiante du fait d'un traitement thermique.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-12:2023

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 12: Méthodes d'essai pour l'évaluation de l'endurance thermique des revêtements isolants superficiels des bandes et tôles en acier électrique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60404 s'applique aux revêtements isolants superficiels des bandes et tôles en acier électrique classées dans l'IEC 60404-1-1.

Le présent document définit les principes généraux et les éléments techniques des essais relatifs à l'évaluation de l'endurance thermique des revêtements isolants superficiels des bandes et tôles en acier électrique.

L'évaluation consiste à apprécier la variation d'une propriété spécifiée du revêtement isolant superficiel du fait d'un traitement thermique à une température spécifiée allant jusqu'à 850 °C pendant une durée spécifiée maximale de 2 500 h. La propriété spécifiée est mesurée à une température ambiante de (23 ± 5) °C sans traitement thermique et après un traitement thermique.

Le présent document s'applique aux propriétés suivantes des revêtements isolants superficiels:

- adhérence;
- résistance d'isolement superficiel;
- facteur de foisonnement.

Le présent document ne s'applique pas aux autres propriétés des revêtements isolants superficiels, par exemple, propriétés de soudage, ou aux autres effets, par exemple décoloration et dégazement, qui peuvent être provoqués par une exposition à des températures élevées.

NOTE Certains essais ont une durée de réalisation très longue et par conséquent ne sont souvent pas adaptés aux essais d'acceptation de matériaux fournis dans le cadre d'une commande spécifique.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60050-121, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 121: Electromagnétisme*

IEC 60050-221, *Vocabulaire électrotechnique international – Chapitre 221: Matériaux et composants magnétiques*

IEC 60404-1-1, *Matériaux magnétiques – Partie 1-1: Classification – Isolations de surface des tôles, bandes et lamelles magnétiques en acier*

IEC 60404-11, *Matériaux magnétiques – Partie 11: Méthodes de mesurage de la résistance d'isolement superficiel des bandes et tôles en acier électrique*

IEC 60404-13, *Matériaux magnétiques – Partie 13: Méthodes de mesure de la résistivité, de la masse volumique et du facteur de foisonnement des bandes et tôles en acier électrique*

ISO 1519, *Peintures et vernis – Essai de pliage sur mandrin cylindrique*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050-121 et de l'IEC 60050-221, ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1

désignation de performance température/temps T/t

désignation consistant en une température T , exprimée en °C, et une durée t , exprimée en heures, d'un traitement thermique auquel un revêtement isolant superficiel peut résister par rapport à une propriété de revêtement spécifiée

EXEMPLE Les désignations 200/2 500 et 800/2 signifient respectivement que le revêtement isolant superficiel peut résister à des traitements thermiques à 200 °C pendant 2 500 h et à 800 °C pendant 2 h par rapport à une propriété de revêtement spécifiée.

Note 1 à l'article: Cette désignation sert à évaluer l'endurance thermique d'un revêtement isolant superficiel par rapport à des propriétés de revêtement spécifiées.

Note 2 à l'article: Plusieurs désignations peuvent être attribuées à un revêtement.

4 Principes généraux

4.1 Généralités

L'endurance thermique d'un revêtement isolant superficiel doit être appréciée par l'évaluation des variations des propriétés de revêtement spécifiées dues à un traitement thermique à une température T °C spécifiée pendant une durée spécifiée t h. Les propriétés de revêtement doivent être mesurées à une température ambiante de (23 ± 5) °C.

L'endurance thermique doit être évaluée séparément pour les propriétés de revêtement suivantes:

- adhérence;
- résistance d'isolement superficiel;
- facteur de foisonnement.

4.2 Préparation de piles d'éprouvettes serrées

4.2.1 Procédure d'empilage des éprouvettes

Les éprouvettes doivent être empilées entre deux tôles de dimensions similaires ou plus grandes, constituées du même matériau qu'elles. La pile doit alors être serrée entre deux plaques de pression en acier. Les dimensions des plaques de pression en acier doivent être supérieures à la dimension de la partie des éprouvettes à soumettre à l'essai, par exemple il est permis de ne serrer que la partie des éprouvettes soumises à un pliage lors de l'essai de même nature (voir 6.3).

4.2.2 Serrage des piles pour des températures assignées allant jusqu'à 500 °C

La pile d'éprouvettes doit être serrée de manière homogène entre les deux plaques de pression en acier sous une pression de $(1 \pm 0,1) \text{ N/mm}^2$. La Figure 1 représente un exemple de pile serrée d'éprouvettes carrées de 100 mm de côté pour des températures assignées allant jusqu'à 500 °C.

La pression doit être appliquée au moyen d'un matériel étalonné approprié comme une presse, une machine d'essai de traction ou des vérins hydrauliques. Le serrage des boulons doit s'effectuer sous application de la pression. Les disques-ressorts, les boulons, les écrous et les plaques de pression en acier doivent être constitués de matériaux appropriés qui peuvent maintenir une pression sensiblement constante sur les éprouvettes soumises au traitement thermique.

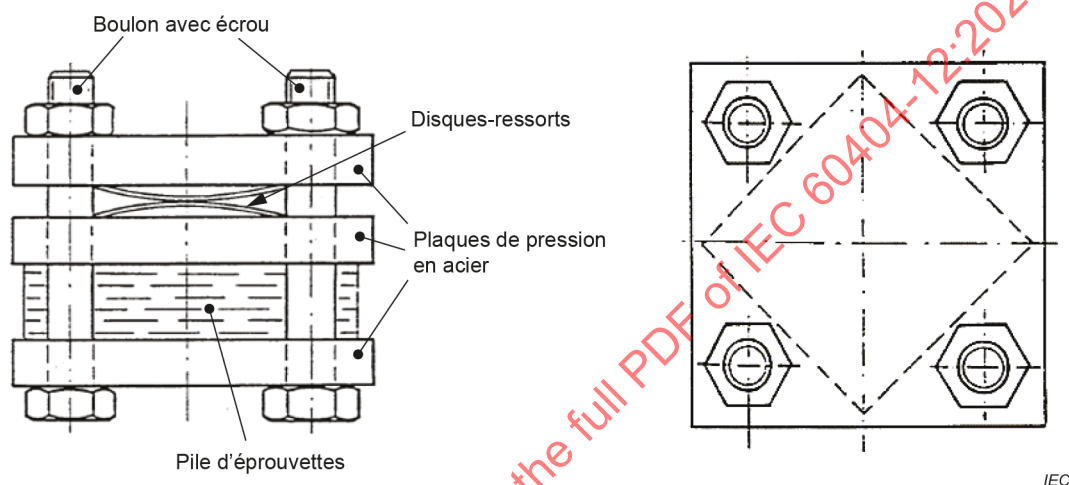


Figure 1 – Exemple de pile serrée d'éprouvettes carrées de 100 mm de côté

Lorsque la méthode de serrage au moyen de vis est source de problèmes au cours de l'essai, le fabricant et l'acheteur peuvent convenir, au moment de l'appel d'offres et de la commande, d'utiliser la méthode de serrage pour une température supérieure à 500 °C décrite en 4.2.3.

4.2.3 Serrage des piles pour des températures assignées supérieures à 500 °C

La pile d'éprouvettes doit être serrée de manière homogène entre les deux plaques de pression en acier sous une pression de $(0,01 \pm 0,001) \text{ N/mm}^2$.

La pression doit être appliquée au moyen d'un poids mort ou en exerçant une force externe transmise par des tiges adaptées et isolées thermiquement de l'extérieur du four utilisé pour le traitement thermique.

4.3 Traitement thermique

4.3.1 Pour des durées assignées maximales de 2 500 h

La pile serrée doit être placée dans un four à une température proche de la température ambiante. Le four doit être chauffé à la température $T \text{ °C} \pm 1,5 \%$ avec une vitesse de chauffage qui ne dépasse pas 200 °C/h .

Lorsque le four atteint la température $T \text{ °C}$, cette dernière doit être maintenue pendant une durée spécifiée de $t \text{ h} \pm 1 \%$, où T et t constituent la désignation de performance température/temps T/t .

La puissance et le pouvoir calorifique du four doivent être suffisants pour assurer que la surface de la pile serrée atteigne une température au moins 2,5 % inférieure à la température T °C lorsque le four atteint cette température. Le pouvoir calorifique du four doit être confirmé par exemple au moyen d'un thermocouple appliqué à la pile serrée. Un four à convection atmosphérique forcée est recommandé.

Après la durée t h, la pile serrée est retirée du four et l'opérateur la laisse refroidir à la température ambiante.

Pour des températures allant jusqu'à 500 °C, le traitement thermique doit avoir lieu à l'air. Pour des températures supérieures à 500 °C, d'autres atmosphères, par exemple une atmosphère inerte, sont recommandées afin d'éviter l'oxydation de l'acier.

4.3.2 Pour une exposition continue

Lorsqu'elle fait l'objet d'un accord entre le fabricant et l'acheteur au moment de l'appel d'offres et de la commande, l'évaluation de l'endurance thermique pour une exposition continue à des températures élevées peut, à titre de guide, être effectuée selon la procédure décrite à l'Annexe A.

5 Désignations normales de performance température/temps T/t

Les désignations normales recommandées de performance température/temps T/t sont les suivantes:

150/168, 180/168, 200/168, 250/168, 150/2500, 180/2500, 200/2500, 250/2500, 400/6, 500/0,5, 750/2, 800/2 et 850/2.

6 Méthode d'essai d'adhérence

6.1 Généralités

L'essai d'évaluation de l'endurance thermique pour adhérence doit être réalisé par application de la méthode de pliage conformément à l'ISO 1519, qui utilise l'appareillage d'essai avec un mandrin d'un diamètre de $(32 \pm 0,1)$ mm spécifié dans l'ISO 1519 à une température ambiante de (23 ± 5) °C.

Le fabricant et l'acheteur peuvent convenir, au moment de l'appel d'offres et de la commande, d'utiliser un diamètre de mandrin différent, par exemple, 30 mm, afin de satisfaire aux exigences conformes à la première édition de l'IEC 60404-12 (IEC 60404-12:1992), ou un diamètre plus petit afin de rendre l'essai plus sévère.

6.2 Eprouvettes

Les échantillons doivent avoir une largeur d'au moins 30 mm, et une longueur comprise entre 280 mm et 320 mm. Elles doivent être découpées parallèlement à la direction du laminage de la bande ou de la tôle, et être adjacentes l'une à l'autre, sans endommager le revêtement. Quatre échantillons doivent être découpés dans la bande ou la tôle à au moins 40 mm des bords de ladite bande ou tôle.

NOTE Un essai appliqué à des tôles en acier électrique revêtues avec une épaisseur nominale donnée peut être considéré comme représentatif des tôles en acier électrique revêtues avec d'autres épaisseurs nominales.

6.3 Mode opératoire d'essai

Deux sur les quatre échantillons utilisés doivent être soumises à l'essai sans traitement thermique. Une échantillon doit être pliée avec l'une des surfaces contre le mandrin, et l'autre échantillon doit être pliée avec la surface opposée contre le mandrin.

Les éprouvettes doivent être examinées à l'œil nu sous un éclairage suffisant immédiatement après l'opération de pliage. Il ne doit pas y avoir de fissure et/ou de détachement du revêtement du matériau de base visible à l'œil nu, sans prendre en compte la surface du revêtement à moins de 2 mm des bords de l'éprouvette.

Les deux éprouvettes restantes doivent être empilées et serrées selon 4.2, puis soumises à un traitement thermique à une température T °C spécifiée pendant une durée t h spécifiée selon 4.3.

Après leur refroidissement à une température de (23 ± 5) °C, les éprouvettes doivent être retirées du dispositif de serrage et soumises à l'essai selon le même mode que les deux premières éprouvettes. En l'absence de fissure et/ou de détachement du revêtement du matériau de base visible à l'œil nu, sans prendre en compte la surface du revêtement à moins de 2 mm des bords de l'éprouvette, le revêtement a une désignation de performance température/temps T/t par rapport à l'adhérence.

6.4 Rapport d'essai

Le rapport d'essai pour chaque désignation de performance température/temps T/t doit inclure les informations suivantes, le cas échéant:

- a) la description du revêtement isolant superficiel, y compris son épaisseur, et le type de matériau de base (par exemple, une désignation symbolique de l'acier spécifiée dans l'IEC 60404-8-4);
- b) le numéro du présent document (IEC 60404-12), y compris l'année de publication;
- c) le diamètre du mandrin utilisé pour l'essai de pliage s'il est différent du diamètre de $(32 \pm 0,1)$ mm spécifié;
- d) l'atmosphère effective de traitement thermique;
- e) la description de toute fissure ou de tout détachement du revêtement du matériau de base sans traitement thermique et après le traitement thermique, sans prendre en compte la surface du revêtement à moins de 2 mm des bords de l'éprouvette;
- f) la désignation de performance température/temps T/t par rapport à l'adhérence.

7 Méthode d'essai pour la résistance d'isolement superficiel

7.1 Généralités

L'essai d'évaluation de l'endurance thermique pour la résistance d'isolement superficiel doit être réalisé conformément à l'IEC 60404-11 à une température ambiante de (23 ± 5) °C.

7.2 Eprouvettes

Un nombre suffisant d'éprouvettes doit être préparé afin d'obtenir une surface totale qui permet d'effectuer 10 mesurages de la résistance d'isolement superficiel afin de satisfaire aux exigences de l'IEC 60404-11. Deux séries d'éprouvettes de ce type doivent être préparées.

7.3 Mode opératoire d'essai

Les éprouvettes de la première série doivent être soumises à l'essai sans traitement thermique. La valeur du coefficient de la résistance d'isolement doit être calculée sur la base de 10 mesurages (cinq mesurages par côté pour les matériaux dont les deux côtés comportent un revêtement).

Les éprouvettes de la seconde série doivent être empilées et serrées selon 4.2 et soumises à un traitement thermique à une température T °C spécifiée pendant une durée t h spécifiée selon 4.3.

Après leur refroidissement à $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, les éprouvettes de la seconde série doivent être retirées du dispositif de serrage et la valeur du coefficient de la résistance d'isolement superficiel doit être mesurée selon le même mode que les éprouvettes de la première série.

Si la diminution de la valeur du coefficient de la résistance d'isolement superficiel, du fait du traitement thermique, ne dépasse pas 30 %, le revêtement a une désignation de performance température/temps T/t par rapport à la résistance d'isolement superficiel.

7.4 Rapport d'essai

Le rapport d'essai pour chaque désignation de performance température/temps T/t doit inclure les informations suivantes, le cas échéant:

- la description du revêtement isolant superficiel, y compris son épaisseur, et le type de matériau de base (par exemple, une désignation symbolique de l'acier spécifiée dans l'IEC 60404-8-4);
- le numéro du présent document (IEC 60404-12), y compris l'année de publication;
- l'atmosphère effective de traitement thermique;
- la valeur du coefficient de la résistance d'isolement superficiel sans traitement thermique et après le traitement thermique, en $\Omega \cdot \text{mm}^2$ ou $\Omega \cdot \text{cm}^2$;
- la diminution de la valeur du coefficient de la résistance d'isolement superficiel, du fait du traitement thermique, exprimée en pourcentage;
- la désignation de performance température/temps T/t par rapport à la résistance d'isolement superficiel.

8 Méthode d'essai pour le facteur de foisonnement

8.1 Généralités

L'essai d'évaluation de l'endurance thermique pour le facteur de foisonnement doit être réalisé conformément à l'IEC 60404-13 à une température ambiante de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

8.2 Eprouvettes

Un nombre suffisant d'éprouvettes doit être préparé pour satisfaire aux exigences de l'IEC 60404-13.

8.3 Mode opératoire d'essai

En premier lieu, le facteur de foisonnement des éprouvettes doit être mesuré avant le traitement thermique. Après le mesurage, les mêmes éprouvettes doivent être empilées et serrées selon 4.2, puis soumises à un traitement thermique à une température $T ^\circ\text{C}$ spécifiée pendant une durée t h spécifiée selon 4.3.

Après le refroidissement des éprouvettes à $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$, la pile d'éprouvettes doit être retirée du dispositif de serrage et le facteur de foisonnement doit être mesuré comme cela est décrit ci-dessus pour le mesurage avant le traitement thermique.

Si la variation du facteur de foisonnement, du fait du traitement thermique, ne dépasse pas 1,0 %, le revêtement a une désignation de performance température/temps T/t par rapport au facteur de foisonnement.