

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

**Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products –
Ignitability – Summary and relevance of test methods**

Essais relatifs aux risques du feu –

**Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits
électrotechniques – Allumabilité – Résumé et pertinence des méthodes d'essais**

IECNORM.COM : Click to view the PDF of IEC 60695-1-21:2016



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 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 Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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: csc@iec.ch.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

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

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC SAFETY PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE DE SÉCURITÉ

Fire hazard testing –

**Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products –
Ignitability – Summary and relevance of test methods**

Essais relatifs aux risques du feu –

**Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits
électrotechniques – Allumabilité – Résumé et pertinence des méthodes d'essais**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 13.220.40, 29.020

ISBN 978-2-8322-3617-8

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	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Summary of published test methods	12
4.1 General	12
4.2 Tests using heated air or electrical heating.....	12
4.2.1 Determination of ignition temperature using a hot-air furnace, ISO 871	12
4.2.2 Differential scanning calorimetry (DSC), ISO 11357 [1].....	13
4.3 Tests using radiant heat.....	14
4.3.1 Heat release rate – Cone calorimeter method, ISO 5660-1 [4]	14
4.3.2 Heat release of insulating liquids, IEC TS 60695-8-3 [5].....	15
4.3.3 Standard test method for determining material ignition and flame spread properties, ASTM E 1321 [6].....	16
4.3.4 Determination of the characteristic heat flux for ignition from a non-contacting flame source, IEC TS 60695-11-11 [7]	17
4.4 Oxygen index tests	17
4.4.1 Oxygen index – Ambient temperature test, ISO 4589-2 [8]	17
4.4.2 Oxygen index – Elevated temperature test, ISO 4589-3 [10]	18
4.5 Glowing/hot-wire based test methods.....	20
4.5.1 Glow wire tests, IEC 60695-2-11 [14], IEC 60695-2-12 [15] and IEC 60695-2-13 [16].....	20
4.5.2 Hot wire coil ignitability test, IEC 60695-2-20 and ASTM D 3874 [17].....	22
4.6 Flame tests.....	23
4.6.1 Needle flame test, IEC 60695-11-5 [18]	23
4.6.2 50 W Horizontal and vertical flame test methods, IEC 60695-11-10 [19] 500 W flame test methods, IEC 60695-11-20 [20]	24
4.6.3 1 kW nominal pre-mixed flame, IEC 60695-11-2 [23]	25
4.6.4 Vertical and 60° tests for aircraft components, FAR 25 [25]	25
4.7 Tests using an electrical arc.....	26
4.7.1 Tracking index tests, IEC 60112 [26], ASTM D 3638 [27]	26
4.7.2 High-Current Arc Ignition (HAI), UL 746A – Sec. 32 [30]	28
4.7.3 High-voltage arc resistance to ignition (HVAR), UL 746A – Sec. 33 [31].....	28
Annex A (informative) Applicability of test methods	30
A.1 Applicability of test methods.....	30
Bibliography	32
Table 1 – Main differences between IEC 60112 and ASTM D 3638.....	27
Table A.1 – Applicability of test methods (1 of 2).....	30

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIRE HAZARD TESTING –

**Part 1-21: Guidance for assessing
the fire hazard of electrotechnical products –
Ignitability – Summary and relevance of test methods**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60695-1-21 has been prepared by IEC technical committee 89: Fire hazard testing.

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

FDIS	Report on voting
89/1336/FDIS	89/1339/RVD

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

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

It has the status of a basic safety publication in accordance with IEC Guide 104 and ISO/IEC Guide 51.

This first edition of IEC 60695-1-21 cancels and replaces the first edition of IEC TR 60695-1-21 published in 2008. It constitutes a technical revision.

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

- a) Change from a TR to an international standard;
- b) Modified Introduction;
- c) Modified Scope;
- d) Updated normative references;
- e) Updated terms and definitions;
- f) Updates and new text in Clause 4;
- g) Addition of text concerning ASTM D 3638;
- h) Updates to Annex A;
- i) Updates to the bibliography.

A list of all the parts in the IEC 60695 series, under the general title *Fire hazard testing*, can be found on the IEC website.

The IEC 60695-1 series, under the general title *Fire hazard testing*, consists of the following parts:

- Part 1-10: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – General guidelines
- Part 1-11: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire hazard assessment
- Part 1-12: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Fire safety engineering
- Part 1-20: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – General guidance
- Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – Summary and relevance of test methods
- Part 1-30: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Preselection testing procedures – General guidelines
- Part 1-40: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Insulating liquids

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

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

INTRODUCTION

Fires are responsible for creating hazards to life and property as a result of the generation of heat (thermal hazard), and also as a result of the production of toxic effluent, corrosive effluent and smoke (non-thermal hazard). Fires start with ignition and then can grow, leading in some cases to flash-over and a fully developed fire. Ignition resistance is therefore one of the most important parameters of a material to be considered in the assessment of fire hazard. If there is no ignition, there is no fire.

For most materials (other than metals and some other elements), ignition occurs in the gas phase. Ignition occurs when combustible vapour, mixed with air, reaches a high enough temperature for exothermic oxidation reactions to rapidly propagate. The ease of ignition is a function of the chemical nature of the vapour, the fuel/air ratio and the temperature.

In the case of liquids, the combustible vapour is produced by vaporization of the liquid, and the vaporization process is dependent on the temperature and chemical composition of the liquid.

In the case of solids, the combustible vapour is produced by pyrolysis when the temperature of the solid is sufficiently high. The vaporization process is dependent on the temperature and chemical composition of the solid, and also on the thickness, density, specific heat, and thermal conductivity of the solid.

The ease of ignition of a test specimen depends on many variables. Factors that need to be considered for the assessment of ignitability are:

- a) the geometry of the test specimen, including thickness and the presence of edges, corners or joints;
- b) the surface orientation;
- c) the rate and direction of air flow;
- d) the nature and position of the ignition source;
- e) the magnitude and position of any external heat flux; and
- f) whether the combustible material is a solid or a liquid.

In the design of an electrotechnical product the risk of fire and the potential hazards associated with fire need to be considered. In this respect the objective of component, circuit and equipment design, as well as the choice of materials, is to reduce the risk of fire to a tolerable level even in the event of reasonably foreseeable (mis)use, malfunction or failure.

Fires involving electrotechnical products can also be initiated from external non-electrical sources. Considerations of this nature are dealt with in an overall fire hazard assessment.

The aim of the IEC 60695 series of standards is to save lives and property by reducing the number of fires or reducing the consequences of the fire. This can be accomplished by:

- trying to prevent ignition caused by an electrically energised component part and, in the event of ignition, to confine any resulting fire within the bounds of the enclosure of the electrotechnical product.
- trying to minimise flame spread beyond the product's enclosure and to minimise the harmful effects of fire effluents including heat, smoke, and toxic or corrosive combustion products.

For these reasons there are many tests used to evaluate the ignitability of electrotechnical products and of the materials used in their construction. This part of IEC 60695 describes ignitability test methods in common use to assess electrotechnical products, or materials used in electrotechnical products. It also includes test methods in which, by design,

ignitability is a significant quantifiable characteristic. It forms part of the IEC 60695-1 series, which gives guidance to product committees wishing to incorporate fire hazard test methods in product standards.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-21:2016

FIRE HAZARD TESTING –

Part 1-21: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – Summary and relevance of test methods

1 Scope

This part of IEC 60695 provides a summary of test methods that are used to determine the ignitability of electrotechnical products or materials from which they are formed. It also includes test methods in which, by design, ignitability is a significant quantifiable characteristic.

It represents the current state of the art of the test methods and, where available, includes special observations on their relevance and use. The list of test methods is not to be considered exhaustive, and test methods which were not developed by the IEC are not to be considered as endorsed by the IEC unless this is specifically stated.

This basic safety publication is intended for use by technical committees in the preparation of standards in accordance with the principles laid down in IEC Guide 104 and ISO/IEC Guide 51.

One of the responsibilities of a technical committee is, wherever applicable, to make use of basic safety publications in the preparation of its publications.

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 60695-1-20, *Fire hazard testing – Part 1-20: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Ignitability – General guidance*

IEC 60695-1-30, *Fire hazard testing – Part 1-30: Guidance for assessing the fire hazard of electrotechnical products – Use of preselection testing procedures*

IEC 60695-4:2012, *Fire hazard testing – Part 4: Terminology concerning fire tests for electrotechnical products*

IEC Guide 104, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications*

ISO/IEC Guide 51, *Safety aspects – Guidelines for their inclusion in standards*

ISO 13943:2008, *Fire safety – Vocabulary*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO 13943:2008 and IEC 60695-4:2012 (some of which are reproduced below) and the following apply.

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

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

3.1

combustion

exothermic reaction of a substance with an oxidizing agent

Note 1 to entry: Combustion generally emits fire effluent accompanied by **flames** (3.10) and/or glowing.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.46]

3.2

end product

product that is ready for use without modification

Note 1 to entry: An end product can be a component of another end product.

[SOURCE: IEC 60695-4:2012, 3.2.7]

3.3

fire

⟨general⟩ process of **combustion** (3.1) characterized by the emission of heat and fire effluent and usually accompanied by smoke, **flame** (3.10), glowing or a combination thereof

Note 1 to entry: In the English language the term “fire” is used to designate three concepts, two of which, **fire** (3.4) and **fire** (3.5), relate to specific types of self-supporting combustion with different meanings and two of them are designated using two different terms in both French and German.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.96]

3.4

fire

⟨controlled⟩ self-supporting **combustion** (3.1) that has been deliberately arranged to provide useful effects and is limited in its extent in time and space

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.97]

3.5

fire

⟨uncontrolled⟩ self-supporting **combustion** (3.1) that has not been deliberately arranged to provide useful effects and is not limited in its extent in time and space

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.98]

3.6

fire hazard

physical object or condition with a potential for an undesirable consequence from **fire** (3.3)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.7

fire point

minimum temperature at which a material ignites and continues to burn for a specified time after a standardized small **flame** (3.10) has been applied to its surface under specified conditions

cf. **flash point** (3.15)

Note 1 to entry: In some countries the term "fire point" has an additional meaning: a location where fire fighting equipment is sited, which may also comprise a fire-alarm call point and fire instruction notices.

Note 2 to entry: The typical units are degrees Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.119]

3.8

fire retardant, noun

substance added or a treatment applied to a material in order to delay **ignition** (3.19) or to reduce the rate of combustion (3.1)

cf. **flame retardant** (3.11)

Note 1 to entry: The use of (a) fire retardant(s) does not necessarily suppress **fire** (3.3) or terminate **combustion** (3.1).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.123]

3.9

fire scenario

qualitative description of the course of a **fire** (3.5) with respect to time, identifying key events that characterise the studied fire and differentiate it from other possible fires

Note 1 to entry: It typically defines the **ignition** (3.19) and fire growth processes, the **fully developed fire** (3.16) stage, the fire decay stage, and the environment and systems that impact on the course of the fire.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.129]

3.10

flame, noun

zone in which there is rapid, self-sustaining, sub-sonic propagation of **combustion** (3.1) in a gaseous medium, usually with emission of light

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.133, modified (addition of "zone in which there is")]

3.11

flame retardant, noun

substance added, or a treatment applied, to a material in order to suppress or delay the appearance of a **flame** (3.10) and/or reduce the flame spread rate

cf. **fire retardant** (3.8)

Note 1 to entry: The use of (a) flame retardant(s) does not necessarily suppress **fire** (3.3) or terminate **combustion** (3.1).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.139]

3.12

flaming combustion

combustion (3.1) in the gaseous phase, usually with emission of light

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.148]

3.13

flash-ignition temperature

FIT

minimum temperature at which, under specified test conditions, sufficient flammable gases are emitted to ignite momentarily on application of a pilot **flame** (3.10)

[SOURCE: ISO 871:2006, 3.1]

3.14

flash-over

⟨stage of fire⟩ transition to a state of total surface involvement in a **fire** (3.3) of combustible materials within an enclosure

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.157]

3.15

flash point (°C)

minimum temperature to which it is necessary to heat a material or a product for the vapours emitted to ignite momentarily in the presence of **flame** (3.10), under specified test conditions

Note 1 to entry: The typical units are degrees Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.154]

3.16

fully developed fire

state of total involvement of combustible materials in a **fire** (3.5)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.164]

3.17

glowing combustion

combustion (3.1) of a material in the solid phase without **flame** (3.10) but with emission of light from the combustion zone

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.169]

3.18

ignitability

ease of ignition

measure of the ease with which a test specimen can be ignited, under specified conditions

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.182]

3.19

ignition

sustained ignition (deprecated)

⟨general⟩ initiation of **combustion** (3.1)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.187]

3.20

ignition

sustained ignition (deprecated)

⟨flaming combustion⟩ initiation of sustained **flame** (3.10)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.188]

3.21

ignition source

source of energy that initiates **combustion** (3.1)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.189]

3.22

lower flammability limit

LFL

minimum concentration of fuel vapour in air below which propagation of a **flame** (3.10) does not occur in the presence of an **ignition source** (3.21)

Note 1 to entry: The concentration is usually expressed as a volume fraction at a defined temperature and pressure, and expressed as a percentage.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.216]

3.23

minimum ignition temperature

ignition point

minimum temperature at which sustained **combustion** (3.1) can be initiated under specified test conditions

Note 1 to entry: The minimum ignition temperature implies the application of a thermal stress for an infinite length of time.

Note 2 to entry: The typical units are degrees Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.231]

3.24

spontaneous-ignition temperature

SIT

minimum temperature at which **ignition** (3.19) is obtained by heating, under specified test conditions, in the absence of any additional **flame** (3.10) **ignition source** (3.21)

[SOURCE: ISO 871, 3.2]

3.25

thermal inertia

product of thermal conductivity, density and specific heat capacity

EXAMPLES The thermal inertia of steel is $2,3 \times 10^8 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$. The thermal inertia of polystyrene foam is $1,4 \times 10^3 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$.

Note 1 to entry: When a material is exposed to a heat flux, the rate of increase of surface temperature depends strongly on the value of the thermal inertia of the material. The surface temperature of a material with a low thermal inertia rises relatively quickly when it is heated, and vice versa.

Note 2 to entry: The typical units are joules squared per second per metre to the fourth power per Kelvin squared ($\text{J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.326]

3.26**tracking****arc tracking**

(electrotechnical) progressive formation of conducting paths that are produced on the surface and/or within a solid insulating material, due to the combined effects of electric stress and electrolytic contamination

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.342]

3.27**upper flammability limit****UFL**

maximum concentration of fuel vapour in air above which propagation of a **flame** (3.10) will not occur in the presence of an **ignition source** (3.21)

Note 1 to entry: The concentration is usually expressed as a volume fraction at a defined temperature and pressure, and expressed as a percentage.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.349]

4 Summary of published test methods**4.1 General**

This summary cannot be used in place of published standards which are the only valid reference documents. It represents the current state of the art of the test methods and, where available, includes special observations on their relevance and use. The list of test methods is not to be considered exhaustive, and test methods which were not developed by the IEC are not to be considered as endorsed by the IEC unless this is specifically stated. General guidance on ignitability is given in IEC 60695-1-20.

Some test methods are material tests and some are end product tests. Table A.1 lists the test methods described below and distinguishes between material tests and end product tests.

In cases where fire tests are not yet specified, and need to be developed or altered for the special purpose of an IEC technical committee, this shall be done in liaison with IEC Technical Committee 89.

The test method(s) selected shall be relevant to the fire scenario of concern.

NOTE 1 Not all the following test methods are specifically ignition or ignitability tests, but some tests have been included because ignition data are, or can be, measured.

NOTE 2 Where no repeatability and reproducibility data are known to be available, information may be available from the author/publisher of the relevant test method.

4.2 Tests using heated air or electrical heating**4.2.1 Determination of ignition temperature using a hot-air furnace, ISO 871****4.2.1.1 Purpose and principle**

ISO 871 specifies a laboratory method for determining the flash-ignition temperature and spontaneous-ignition temperature of plastics using a hot-air furnace.

A specimen of the material is heated in a hot-air ignition furnace using various temperatures within the heated chamber, and the flash-ignition temperature is determined with a small pilot flame directed at the opening in the top of the furnace to ignite evolved gases. The spontaneous-ignition temperature is determined in the same manner as the flash-ignition temperature, but without the ignition flame.

4.2.1.2 Test specimen

Materials supplied in any form, including composites, may be used. A 3 g sample is used if the density is greater than $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. For cellular materials having a density less than $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, any outer skin is removed and a block of dimensions $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ is cut.

4.2.1.3 Test method

An air velocity of $25 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ is set and an initial test temperature is chosen. At the end of 10 min the temperature is lowered or raised by $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$, depending on whether ignition has or has not occurred and a fresh sample is tested. When the range within which the ignition temperature lies has been determined, tests are begun $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ below the highest temperature within this range and continued by dropping the temperature in $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ steps until the temperature is reached at which there is no ignition during a 10 min period. The ignition temperature is recorded as the lowest test temperature at which ignition is observed.

4.2.1.4 Repeatability and reproducibility

Data are available in Annex A of ISO 871:2006.

4.2.1.5 Relevance of test data

Tests made under the conditions of this method can be of considerable value in comparing the relative ignition characteristics of different materials. Values obtained represent the lowest ambient air temperature that will cause ignition of the material under the conditions of this test. Test values are expected to rank materials according to ignition susceptibility under actual use conditions.

4.2.2 Differential scanning calorimetry (DSC), ISO 11357 [1]¹

4.2.2.1 Introduction

Differential scanning calorimetry (DSC) is one of a number of thermal methods of analysis which are not used to directly measure ignition, but which are used to measure a number of properties which affect ignitability and which can be used in fire safety engineering studies and in fire modelling.

NOTE Other useful techniques include thermogravimetric analysis (TGA), differential thermal analysis (DTA), thermomechanical analysis (TMA), dynamic mechanical thermal analysis (DMTA), and pyrolysis gas chromatography [2], [3].

4.2.2.2 Purpose and principle

ISO 11357 consists of seven parts, and describes methods using DSC to measure the following properties of polymeric materials such as thermoplastics and thermosetting plastics, including moulded materials and composite materials:

- Glass transition temperature
- Temperature and enthalpy of melting and crystallization
- Specific heat capacity
- Polymerization temperatures and/or times and polymerization kinetics
- Oxidation induction time
- Crystallization kinetics

¹ Numbers in square brackets refer to the bibliography.

The DSC method involves the measurement of the difference between the heat flow into a test specimen and that into a reference specimen as a function of temperature and/or time, while the test specimen and the reference specimen are subjected to a controlled temperature programme under a specified atmosphere.

4.2.2.3 Test specimen

Test specimens may be liquid or solid. The optimum test specimen mass varies depending on what parameter is being studied, but will typically be in the range 5 mg to 50 mg. The test specimen is placed in a sample pan which, if required, is sealed with a lid. The reference specimen is usually an identical empty sample pan.

4.2.2.4 Test method

The instrument is first calibrated, then the sample pans are inserted and the instrument is programmed to carry out the desired thermal cycle. Control operations and data analysis are according to the manufacturer's instructions.

4.2.2.5 Repeatability and reproducibility

Data are given in annexes to the various parts of ISO 11357.

4.2.2.6 Relevance of test data

DSC enables the measurement of two important parameters which are needed in fire models of ignition. These are: a) specific heat capacity as a function of temperature, and b) the heat of gasification.

4.3 Tests using radiant heat

4.3.1 Heat release rate – Cone calorimeter method, ISO 5660-1 [4]

4.3.1.1 Purpose and principle

ISO 5660-1 specifies a method for assessing the heat release rate, smoke production rate and mass loss rate of a test specimen exposed in the horizontal orientation to a controlled level of irradiance in the presence of a spark ignition source. The irradiance is within the range of $0 \text{ kW} \times \text{m}^{-2}$ to $100 \text{ kW} \times \text{m}^{-2}$. The heat release rate is determined by measurement of the oxygen consumption derived from the oxygen concentration and the flow rate in the combustion product stream. The time to ignition (sustained flaming) is also measured in the test. The test specimen is mounted on a load cell so that the mass is measured during the test.

The test method is based on the observation that, generally, the net heat of combustion is proportional to the amount of oxygen required for combustion. The relationship is that approximately 13,1 kJ of heat are released per gram of oxygen consumed.

4.3.1.2 Test specimen

The test specimen is square ($100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$) and not more than 50 mm thick. It is wrapped in aluminium foil so that the bottom and sides are covered and the top surface is exposed. The wrapped test specimen is placed in a retainer frame. A substrate is used if appropriate.

4.3.1.3 Test method

The apparatus is first calibrated, and then the exhaust flow and irradiance levels are set. The test specimen is placed in position under a radiation shield, and then the test is started when the shield is removed and the spark igniter is inserted and powered.

Data are collected for typically 32 min after sustained flaming has occurred. Three specimens are tested.

4.3.1.4 Repeatability and reproducibility

Data are available in Annex B of ISO 5660-1:2015.

4.3.1.5 Relevance of test data

Heat release rate is one of the most important variables in determining the hazard from a fire. In a typical fire, many items composed of many surfaces contribute to the development of a fire, thus making its evaluation quite complex. A determination must first be made of when each separate surface will ignite, if at all, and this bench scale test gives this information.

The size of the fire from any items already burning must be determined in order to calculate its contribution to the external irradiance on nearby items. Flame spread over each surface must also be evaluated. The heat release rate from the whole surface is then determined knowing the heat release rate per unit area for a given irradiance, as a function of time, as evaluated using this bench scale test. The total fire output then involves a summation over all surfaces for all materials.

Ignition time data as a function of irradiance can also be used to calculate useful ignition related parameters such as the thermal inertia of materials.

4.3.2 Heat release of insulating liquids, IEC TS 60695-8-32 [5]

4.3.2.1 Purpose and principle

This technical specification specifies test methods for determining the heat release and smoke production from insulating liquids of electrotechnical products when exposed to a defined heat flux. The technical specification may also be applicable to other liquid specimens.

The principle of the method is the same as that described in 4.2.1.1. In addition a laser, shining through the exhaust effluent, is used to measure smoke production, as described in ISO 5660-1.

4.3.2.2 Test specimen

For preliminary tests 20 cm³ of liquid are used. 50 cm³ of liquid are used for the main tests. The liquid is placed in a square, stainless steel sample holder which is 100 mm × 100 mm and 15 mm deep.

4.3.2.3 Test method

The apparatus is calibrated in accordance with ISO 5660-1 and preliminary tests are carried out to find the minimum heat flux (critical ignition flux) at which the test specimen ignites in less than 1 200 s. The main tests are then carried out at this critical ignition flux. Data analysis is in accordance with ISO 5660-1.

4.3.2.4 Repeatability and reproducibility

No data are currently available.

² Withdrawn in 2015.

4.3.2.5 Relevance of test data

From this test it is possible to obtain a quantitative assessment of the relative ease, or difficulty, of the ignition of liquids used for electrotechnical purposes. Quantitative heat release and smoke production data are also obtained. All these data can be used in fire safety engineering studies including fire hazard assessments.

4.3.3 Standard test method for determining material ignition and flame spread properties, ASTM E 1321 [6]

4.3.3.1 Purpose and principle

ASTM E 1321 determines material properties related to piloted ignition of a vertically oriented sample under a constant and uniform heat flux and to lateral flame spread on a vertical surface due to an externally applied radiant-heat flux.

4.3.3.2 Test specimen

Test specimens are tested in the form of intended use. For the ignition test, specimens are 155 mm × 155 mm. For the flame spread test, specimens are 800 mm × 155 mm. For both tests, materials and composites of normal thickness 50 mm or less are tested using their full thickness. The test method is restricted to thermally thick test specimens (i.e. when the exposed surface has ignited, the back surface will not have become significantly heated above the ambient temperature).

4.3.3.3 Test method

The test method consists of two procedures; one to measure ignition and one to measure lateral flame spread. Vertically mounted specimens are exposed to the heat from a vertical air/gas fuelled radiant-heat energy source inclined at 15° to the test specimen.

For the ignition test, a test specimen is exposed to a heat flux of 30 kW·m⁻² and the time of ignition, if it occurs within 20 min, is noted. The test is repeated until a minimum flux for ignition, with a tolerance of ± 2 kW·m⁻², has been obtained. Tests are then repeated at higher heat fluxes (using increments of about 10 kW·m⁻²), until an ignition time / heat flux profile has been determined for heat fluxes between the minimum heat flux for ignition and 65 kW·m⁻². The data are correlated with defined theories of ignition for the derivation of material flammability properties.

For the flame spread test, a test specimen is exposed to a graduated heat flux that is approximately 5 kW·m⁻² higher at the hotter end than the minimum heat flux necessary for ignition; this heat flux being determined from the ignition test. The test specimen is preheated to thermal equilibrium; the preheat time also being determined from the ignition test. After ignition, the flame front progression along the horizontal length of the test specimen is tracked as a function of time. The data are correlated with defined theories of ignition and flame spread for the derivation of material flammability properties.

4.3.3.4 Repeatability and reproducibility

No data are currently available.

4.3.3.5 Relevance of test data

The results of this test method provide a minimum surface flux and temperature necessary for ignition and for lateral spread, an effective material thermal inertia value, and a flame-heating parameter pertinent to lateral flame spread. The results are potentially useful to predict the time to ignition and the velocity of lateral flame spread on a vertical surface under a specified external flux without forced lateral airflow. Data can be used in fire growth models.

4.3.4 Determination of the characteristic heat flux for ignition from a non-contacting flame source, IEC TS 60695-11-11 [7]

4.3.4.1 Purpose and principle

IEC TS 60695-11-11 describes a test method used to obtain the ignition characteristic heat flux (ICHF) of electrotechnical products, sub-assemblies and materials. The heat flux originates from a non-contacting flame. The test method measures ignition time as a function of incident heat flux.

4.3.4.2 Test specimen

Test specimens are cut from a representative sample of the material taken from an end-product. Where this is not possible, the test specimen is produced using the same fabrication process and the same thickness as would be normally used to make a part of a product. The size of each test specimen is $75 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ long by $75 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ wide for both end-product testing and materials testing. Preferred thicknesses are $0,75 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, $1,5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ and $3,0 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$.

4.3.4.3 Test method

The first step is to use a heat flux meter to determine the incident heat fluxes generated at several different distances vertically above the flame. These are in the range $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ to $75 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$.

Tests are then carried out on test specimens at heat flux levels which are a multiple of $5 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ and which are in the range $30 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ to $75 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$, such that one of the heat fluxes is the highest at which the average ignition time is greater than 120 s.

For the purposes of this test method, ignition of the test specimen is considered to be a sustained and continuous flaming combustion for at least 5 s.

4.3.4.4 Repeatability and reproducibility

Inter-laboratory trials (round-robin tests) have been conducted and the results will be included in the next edition of IEC TS 60695-11-11.

4.3.4.5 Relevance of test data

This test method simulates the fire behaviour of products, assemblies and materials in those cases where a flame source exists close to, but does not make contact with these items. An example is a candle flame near an electrotechnical product.

It has been found that this test method is useful to investigate the possibility of ignition of an electrotechnical product which is exposed to a heat flux from an energy source that does not impinge directly on the product.

4.4 Oxygen index tests

4.4.1 Oxygen index – Ambient temperature test, ISO 4589-2 [8]

4.4.1.1 Purpose and principle

ISO 4589-2 is used to determine the minimum volume fraction of oxygen, in a mixture with nitrogen that will support combustion of small vertical test specimens under specified test conditions. The results, reported as percentages, are defined as oxygen index values.

4.4.1.2 Test specimen

For moulded materials the test specimen dimensions are 80 mm to 150 mm in length, 10 mm in width and 4 mm in thickness. The dimensions for other materials are detailed in Table 2 of ISO 4589-2:1996.

4.4.1.3 Test method

A small test specimen is supported vertically in a mixture of oxygen and nitrogen flowing upwards through a transparent chimney. The upper end of the specimen is ignited and the subsequent burning behaviour of the specimen is observed to compare the period for which burning continues, or the length of specimen burnt, with specified limits for such burning. By testing a series of specimens in different oxygen concentrations, the minimum oxygen concentration is estimated for the required burning behaviour.

4.4.1.4 Repeatability and reproducibility

Data are given in 9.4 and Annex D of ISO 4589-2:1996.

4.4.1.5 Relevance of test data

The oxygen index (OI) test at ambient temperature was first described by Fenimore and Martin [9] in 1966. The first use of the method in standards was ASTM Standard Test Method D 2863:1970 and it has since been published in a wide range of national and international standards. It was published as ISO 4589 in 1984 and has now been revised as ISO 4589-2. The OI test at elevated temperatures is described in ISO 4589-3 [10] (see 4.4.2).

In the period since ASTM D 2863 became a standard, a considerable number of papers have been published about this test. An example is the review by Weil, Hirschler, et al. [11] relating to correlations with other fire tests and to the test's relevance to real fires. The conclusion of this review was that results do not correlate well with any other fire test or with the behaviour of real fires.

The guidance document, ISO 4589-1 [12] states:

“The test is used for the quality control of materials, particularly to check the incorporation of flame retardants in the material under test, and for research and development. This test, in isolation, is insufficient to evaluate the burning behaviour and should not be used for regulations relating to safety control and consumer protection.”

It also states, referring to both ISO 4589-2 and ISO 4589-3:

“It is essential that these small-scale laboratory tests be regarded as material tests only. They are primarily for assistance in development, monitoring consistency and/or pre-selection of materials and **are not for use as the sole means of assessing the potential fire hazard of a material in use.**”

4.4.2 Oxygen index – Elevated temperature test, ISO 4589-3 [10]

4.4.2.1 Purpose and principle

ISO 4589-3 is used to determine the minimum volume fraction of oxygen, in a mixture with nitrogen that will support combustion of small vertical test specimens under specified test conditions over a range of temperatures typically between 25 °C and 150 °C. The results, reported as percentages, are defined as oxygen index values at the test temperature, which is typical of the practical temperature that a plastic material may experience in an overheated service situation.

The standard also includes a method for determining the temperature at which the oxygen index of small vertical test specimens in air is 20,9 under specified test conditions. The result is defined as the flammability temperature (FT) and the method is limited to the determination of results less than 400 °C.

4.4.2.2 Test specimen

For moulded materials the test specimen dimensions are 80 mm to 150 mm in length, 10 mm in width and 4 mm in thickness. The dimensions for other materials are detailed in Table 2 of ISO 4589-2:1996.

4.4.2.3 Test method

A small test specimen is supported vertically in a mixture of oxygen and nitrogen flowing upwards through a transparent double-walled chimney. The chimney is provided with a heating element suitable for use, in conjunction with a pre-heater for heating the incoming gas mixture, to maintain the test atmosphere within the inner tube in the vicinity of the test specimen at the desired test temperature. The upper end of the specimen is ignited and the subsequent burning behaviour of the specimen is observed to compare the period for which burning continues, or the length of specimen burnt, with specified limits for such burning. By testing a series of specimens in different oxygen concentrations, the minimum oxygen concentration is estimated for the required burning behaviour at the selected test temperature.

An alternative procedure is given in Annex A of ISO 4589-3:1996 for the measurement of the flammability temperature (FT). In this procedure air flows upwards through the chimney at a selected test temperature and the burning behaviour of the test specimen is noted. A subsequent test is then carried out at a higher or lower temperature, depending on the previously observed burning behaviour. This procedure is repeated until the FT is established, to within an increment of 5 °C, as the lowest temperature at which the test specimen exceeds at least one of the test criteria.

4.4.2.4 Repeatability and reproducibility

No repeatability data are currently available. Annex B of ISO 4589-3:1996 summarises interlaboratory results of a correlation exercise conducted in the UK in 1986 to assess the effect of different types of specimen support, from which reproducibility data may be calculated. Eight laboratories participated in this exercise.

4.4.2.5 Relevance of test data

See 4.4.1.5.

The flammability temperature test identifies a pass/fail criterion at a specified temperature and is widely used for demonstrating satisfactory behaviour at a limiting temperature. This method is only suitable for testing well-characterized grades of materials. However, great caution should be exercised when testing unknown compounds in which apparently satisfactory behaviour is observed at temperatures above the flammability temperature. It is possible for flammable volatiles to be swept from the chimney during the conditioning period prior to the attempted ignition, rendering the tested material less flammable than the virgin material.

Conversely, some flame-retarded materials may be mis-represented by this test. If the flame retardant works by releasing gas phase combustion inhibitors (e.g. water vapour, carbon dioxide, and antimony halides/oxyhalides) during pyrolysis of the material, then such inhibitors may be swept from the chimney during the conditioning period prior to the attempted ignition, rendering the tested material more flammable than the virgin material.

4.5 Glowing/hot-wire based test methods

4.5.1 Glow wire tests, IEC 60695-2-11 [14], IEC 60695-2-12 [15] and IEC 60695-2-13 [16]

4.5.1.1 Glow-wire flammability test for end-products, IEC 60695-2-11 [14]

4.5.1.1.1 Purpose and principle

The glow-wire is a specified loop of resistance wire, which is electrically heated to a specified temperature. The test apparatus is described in IEC 60695-2-10 [13].

The purpose of IEC 60695-2-11 is to ensure that, under defined conditions, the glow-wire does not cause ignition of parts, and that a part, if ignited, has a limited duration of burning without spreading fire by flames or by burning or glowing particles falling from the test specimen.

4.5.1.1.2 Test specimens

The test specimen should be a complete end-product chosen so that the conditions of the test will not be significantly different from those occurring in normal use.

If the test cannot be made on a complete end-product, it is acceptable to:

- a) cut a piece containing the part under examination from it, or
- b) cut an aperture in the complete end-product to allow the glow-wire access, or
- c) remove the part under examination in its entirety and test it separately.

4.5.1.1.3 Test method

The tip of the heated glow-wire is brought into contact with a test specimen for a specific period of time and a range of observations and measurements are made, depending upon the particular test procedure.

The tip of the glow-wire is applied horizontally to the part of the test specimen which is likely to be subjected to thermal stresses in normal use.

4.5.1.1.4 Repeatability and reproducibility

No data are known to be available.

4.5.1.1.5 Relevance of test data

This test identifies a pass/fail criterion at a temperature specified by the relevant product committee. The main use of the test by electrotechnical committees is to ensure the suitability of insulating materials in contact with live parts or electrical connections that might overheat due to a fault. The aim is to ensure that possible ignition of the insulating material does not cause a fire to spread from the product.

Overheating of the electrical connection may cause ignition in the product but, on removal of the fault current, an insulating material which has passed the test would be expected to self-extinguish. Therefore, although the product may have been rendered unusable, flame spread is unlikely to have occurred and so the user and other property will not have been put at risk from fire.

This test has been used for many years as an alternative/replacement for IEC 60695-2-3, *Bad connection test*, which was withdrawn in 2003.

As well as checking the integrity of the supporting insulating material, during the test, the operator also records whether flaming or molten droplets fall onto a specified surface below. In a large product this would be assessed by placing below the test specimen a sample of the material that would, in normal use, be subjected to the droplets. If this layer was not damaged and contained the molten material then this would be considered satisfactory. When there is no surface to trap the droplets, and they were likely to escape from the product (for example onto a flammable surface) then a standard sheet of wrapping tissue on a wooden board is used.

The operator also records whether or not the material ignites. Some product committees note that ignition has occurred and then assume a standardized zone above the area of the live part or electrical connection to carry out further tests. This is known as consequential testing and it may be carried out using the needle flame test (see 4.6.1).

4.5.1.2 Glow-wire flammability index (GWFI) test method for materials, IEC 60695-2-12 [15]

4.5.1.2.1 Purpose and principle

The glow-wire is a specified loop of resistance wire, which is electrically heated to a specified temperature. The test apparatus is described in IEC 60695-2-10 [13].

The purpose of IEC 60695-2-12 is to determine the glow-wire flammability index (GWFI) of solid electrical insulating materials and other solid materials. The GWFI is the highest temperature at which three test specimens comply with the specified conditions.

4.5.1.2.2 Test specimens

The dimensions of the test specimens are $\geq 60 \text{ mm} \times \geq 60 \text{ mm} \times$ a preferred value of thickness. They can be manufactured by compression moulding, injection moulding or casting, or cut from sheets or parts of end-products.

4.5.1.2.3 Test method

The tip of the heated glow-wire is brought into contact with the vertically mounted test specimen for a specific period of time and a range of observations and measurements is made, dependent upon the particular test procedure.

By repeated tests with different test temperatures of the glow-wire, using a new test specimen each time, the GWFI of the material under test is established.

4.5.1.2.4 Repeatability and reproducibility

No data are known to be available.

4.5.1.2.5 Relevance of test data

This test is a materials test carried out on a series of standard test specimens. The data obtained can then be used in a preselection process to judge the ability of materials to meet the requirements of IEC 60695-2-11, the glow-wire flammability test method for end products. The test method is not valid for determining the flammability, fire behaviour, or fire hazard of complete items of equipment, since the dimensions of the insulating systems or combustible parts, the design and heat transfer to adjacent metallic or non-metallic parts, etc., greatly influence the flammability of the materials used therein.

As an outcome of conducting a fire hazard assessment, an appropriate series of preselection flammability and ignition tests may permit reduced end product testing (see IEC 60695-1-30).

4.5.1.3 Glow-wire ignition temperature (GWIT) test method for materials, IEC 60695-2-13 [16]

4.5.1.3.1 Purpose and principle

The glow-wire is a specified loop of resistance wire, which is electrically heated to a specified temperature. The test apparatus is described in IEC 60695-2-10 [13].

The purpose of IEC 60695-2-13 is to determine the glow-wire ignitability index (GWIT) of solid electrical insulating materials and other solid materials. The GWIT is the minimum temperature at which ignition will take place.

4.5.1.3.2 Test specimens

The dimensions of the test specimens are $\geq 60 \text{ mm} \times \geq 60 \text{ mm} \times$ a preferred value of thickness. They can be manufactured by compression moulding, injection moulding or casting, or cut from sheets or parts of end-products.

4.5.1.3.3 Test method

The tip of the heated glow-wire is brought into contact with the vertically mounted test specimen for a specific period of time and a range of observations and measurements made, dependent upon the particular test procedure.

By repeated tests with different test temperatures of the glow-wire, using a new test specimen each time, the GWIT of the material under test is established.

4.5.1.3.4 Repeatability and reproducibility

No data are known to be available.

4.5.1.3.5 Relevance of test data

This test is a materials test carried out on a series of standard test specimens. The data obtained can then be used in a preselection process to judge the ability of materials to meet the requirements of IEC 60695-2-11, the glow-wire flammability test method for end products. The test method is not valid for determining the ignitability, fire behaviour, or fire hazard of complete items of equipment, since the dimensions of the insulating systems or combustible parts, the design and heat transfer to adjacent metallic or non-metallic parts, etc., greatly influence the flammability of the materials used therein.

As an outcome of conducting a fire hazard assessment, an appropriate series of preselection flammability and ignition tests may permit reduced end product testing (see IEC 60695-1-30).

4.5.2 Hot wire coil ignitability test, IEC 60695-2-20³ and ASTM D 3874 [17]

4.5.2.1 Purpose and principle

This test method is intended, in a preliminary fashion, to differentiate materials with respect to their resistance to ignition caused by their proximity to electrically heated wires and other heat sources. Under certain normal (as well as abnormal) operations of electrical equipment, insulating materials may be in close proximity of a heated electrical source such as a motor, a conductor in an overcurrent state, or resistive heating source. If the intensity and/or duration of the exposure to these sources is severe, the insulating material may ignite.

³ Withdrawn in 2007.

4.5.2.2 Test specimen

The test specimen consists of a bar specimen measuring $125 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ by $13,0 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ at the thickness to be evaluated.

4.5.2.3 Test method

In this test method, the test specimen, with the center portion wrapped with a coil of heater wire, is supported horizontally at both ends. The circuit is then energized by applying a fixed power density to the heater wire, which rapidly heats up. The behaviour of the test specimen is observed until one of the following happens: a) the material under test ignites, b) the material under test melts, or c) 120 s of exposure have elapsed without the occurrence of ignition or melting. The time to ignition and the time to melt-through, as applicable, are recorded.

4.5.2.4 Repeatability and reproducibility

There are currently no published data available. ASTM D 3874 states:

"It is likely that, when care is taken to adhere to this test method, the average determined will fall within plus or minus 15 % of the value obtained by an interlaboratory evaluation."

However, the IEC test was withdrawn in 2007 because of unsatisfactory repeatability and reproducibility.

4.5.2.5 Relevance of test data

This test method is used for preselection of materials, for quality control and product evaluation. The resultant data have been used for determining the suitability of polymeric materials intended for use in electrical equipment when in direct contact or within 0,8 mm of possible ignition sources.

4.6 Flame tests

4.6.1 Needle flame test, IEC 60695-11-5 [18]

4.6.1.1 Purpose and principle

The needle flame test, IEC 60695-11-5, simulates the effect of a small flame which may result from fault conditions, in order to assess the fire hazard.

4.6.1.2 Test specimen

The test specimen is a complete equipment, sub-assembly or component.

4.6.1.3 Test method

A 12 mm high butane test flame is applied to that part of the test specimen most likely to be affected by flames for a specified duration. A specified layer is placed underneath the test specimen to evaluate the possibility of spread of fire. During and after the application of the test flame the test specimen is observed for glowing, dripping particles and ignition.

4.6.1.4 Repeatability and reproducibility

No data are known to be available.

4.6.1.5 Relevance of test data

The needle flame test is used to check the suitability of materials that may be affected by flames from insulating materials supporting live parts under conditions of an overheated electrical connection. It can also be used to check materials that may require consequential testing (see 4.5.1.1.5).

In some cases a part that would normally be required to meet IEC 60695-2-11 may have dimensions incompatible with the glow wire test apparatus. Should this situation occur, product committees may use the needle flame test IEC 60695-11-5.

4.6.2 50 W horizontal and vertical flame test methods, IEC 60695-11-10 [19]; 500 W flame test methods, IEC 60695-11-20 [20]

4.6.2.1 Purpose and principle

IEC 60695-11-10 is a test method using a 50 W flame. IEC 60695-11-20 is a test method using a 500 W flame.

These test methods refer to solid electrical insulating materials and are intended to serve as a preliminary indication of their behaviour when exposed to a flame ignition source. The results make it possible to check the constancy of the characteristics of a material and provide an indication of the progress in the development of insulating materials and a relative comparison and classification of various materials.

4.6.2.2 Test specimen

In both test methods the test specimen is 125 mm long, 13 mm wide, and up to 13 mm thick.

4.6.2.3 Test method

These tests involve applying a flame ignition source to a horizontal or vertical test specimen and measuring the burned length or surface spread of flame rate.

NOTE The apparatus for producing the 50 W flame is described in IEC 60695-11-4 [21]. The apparatus for producing the 500 W flame is described in IEC 60695-11-3 [22].

4.6.2.4 Repeatability and reproducibility

Data are available in IEC 60695-11-10:2013, Annexes A and B, and IEC 60695-11-20:2015, Annex A.

4.6.2.5 Relevance of test data

This test is a materials test carried out on a series of standard test specimens. The data obtained can then be used in a preselection process to judge the ability of materials to meet the many flammability requirements for end products. The test method is not valid for determining the flammability, fire behaviour, or fire hazard of complete items of equipment, since the dimensions of the insulating systems or combustible parts, the design and heat transfer to adjacent metallic or non-metallic parts, etc., greatly influence the flammability of the materials used therein.

As an outcome of conducting a fire hazard assessment, an appropriate series of preselection flammability and ignition tests may permit reduced end product testing (see IEC 60695-1-30).

4.6.3 1 kW nominal pre-mixed flame, IEC 60695-11-2 [23]

4.6.3.1 Purpose and principle

IEC 60695-11-2 provides detailed requirements for the production of a 1 kW nominal, propane based pre-mixed type test flame.

4.6.3.2 Test specimen

The test flame can be used to test electrotechnical equipment, sub-assemblies and components and solid electrical insulating materials or other combustible materials. Test specimen details are described in the relevant standards that use this test flame.

4.6.3.3 Test method

Examples of appropriate test arrangements are given in Annex B of IEC 60695-11-2:2013. Numerous tests use this flame ignition source. For details the relevant test method should be consulted.

When used for testing equipment, unless otherwise stated in the relevant specification, the recommended distance from the top of the burner tube to the point on the surface of the test specimen is approximately 100 mm and the burner is fixed in position during the test.

When used for testing strips of materials, where the operator may move the flame during the test to follow the distorting or burning test specimen, the tip of the blue cone in the flame should be as close as possible without touching the test specimen.

4.6.3.4 Confirmation of the test flame

Confirmation of the test flame is carried out by measuring the time taken for a defined copper block to increase in temperature by a defined amount.

4.6.3.5 Relevance of test data

This 1 kW, high intensity, pre-mixed test flame is very widely used to simulate the reaction to fire of end-products, components and materials to the direct impingement of a flame ignition source.

4.6.4 Vertical and 60° tests for aircraft components, FAR 25 [25]

4.6.4.1 Purpose and principle

The requirements for electrical system components are given in FAR 25.869 (a). It states that insulation on electrical wires and electric cable installed in any area of an aeroplane fuselage shall be self-extinguishing when tested in accordance with a 60° Bunsen burner test described in Part I, Appendix F of FAR 25.

The requirements for materials and parts used in the crew and passenger compartments are given in FAR 25.853. It states that electrical conduit shall be self-extinguishing when tested in accordance with a vertical Bunsen burner test described in Part I, Appendix F of FAR 25.

4.6.4.2 Test specimen

The test specimen for the vertical Bunsen burner test is at least 50 mm wide and 305 mm long, unless the actual size used in the airline is smaller. The test specimen thickness is no thicker than the minimum thickness qualified for use in an airline.

The test specimen for the 60° Bunsen burner test is a length of wire or cable. The gauge is the same as that used in the airline.

4.6.4.3 Test method

These tests involve applying an ignition source to a 60° or vertical test specimen. The flame time, burned length, and flaming time of drippings, if any, are then measured or noted.

Electrical conduits are submitted to a 12 s application of flame. Wire and cable products are submitted to a 30 s application of flame.

4.6.4.4 Repeatability and reproducibility

No data are known to be available.

4.6.4.5 Relevance of test data

These test methods are used for the preselection of materials, quality control and product evaluation for electrical wires, electrical cables and electrical conduit used in the aviation industry.

4.7 Tests using an electrical arc

4.7.1 Tracking index tests, IEC 60112 [26], ASTM D 3638 [27]

4.7.1.1 Purpose and principle

Both IEC 60112 and ASTM D 3638 specify the method of test for the determination of the comparative tracking index (CTI) of solid insulating materials on pieces taken from parts of equipment and on plaques of material using alternating voltages. IEC 60112 also specifies the method of test for the determination of the proof tracking index (PTI). The standards also provide for the determination of erosion when required. For an overview of the main differences between IEC 60112 and ASTM D 3638, see Table 1.

4.7.1.2 Test specimen

For the IEC 60112 test method the test specimen should be flat, at least 3 mm thick, and have an area sufficient to ensure that during the test no liquid flows over the edges of the test specimen. The recommended minimum size is 20 mm × 20 mm.

For ASTM D 3638 a minimum thickness of 2,5 mm is to be used. In case thinner samples are used, these plaques have to be stacked to the minimum thickness specified in both test standards.

4.7.1.3 Test method

The upper surface of the test specimen is supported in an approximately horizontal plane and subjected to an electrical stress via two platinum electrodes, 4 mm apart, using an a.c. voltage of between 100 V and 600 V. The surface between the electrodes is subjected to a succession of drops of electrolyte either until an over-current device operates, or until ignition and a persistent flame occurs, or until the test period has elapsed.

The individual tests are of short duration (less than 1 h) with up to 50 or 100 drops of about 20 mg of electrolyte falling at 30 s intervals. The number of drops needed to cause failure usually increases with decreasing applied voltage and, below a critical value, tracking ceases to occur.

During the test, the specimen may also erode or soften, thereby allowing the electrodes to penetrate it. If required, erosion is measured. If a hole is formed, this is reported.

Table 1 lists the main differences between IEC 60112 and ASTM D 3638.

Table 1 – Main differences between IEC 60112 and ASTM D 3638

Parameter	IEC 60112	ASTM D 3638
Specimen thickness	≥ 3 mm	≥ 2,5 mm
Electrolyte: Ammonium chloride (aq.)	Solution A (CTI and PTI) (395 ± 5) Ω·cm	(CTI) (385 ± 5) Ω·cm
Electrolyte: Ammonium chloride and alkyl naphthalene sulphate (aq.) NOTE more aggressive	Solution B (CTI-M) (200 ± 5) Ω·cm	Not applicable
Length of the electrodes	≥ 12 mm	≥ 20 mm
Evaluation of test results for CTI	The maximum voltage that does not cause ignition or tracking (conduction) with solution A. a) 5 test specimens withstand 50 drops without failure, and b) 5 test specimens withstand 100 drops at 25 V lower Result reported e.g. as: "CTI 300". If the voltage, at which 100 drops can be applied without failure, is lower than the CTI – 25 V, then that voltage is written in parentheses along with the CTI value. Example: "CTI 300 (250)".	The voltage which will cause failure by tracking (conduction) when the number of drops of contaminant required to cause failure is equal to 50. Ignition of the specimen is not a failure criterion. The test is done on 5 specimens. The average number of drops/voltage relation is plotted on a graph. The CTI voltage is read from the graph where 50 drops cause failure.
Evaluation of test results for CTI-M	The same as for CTI, but with solution B.	Not applicable
Evaluation of test results for PTI	The same as for CTI part a). It is used as a pass or fail test at a voltage specified in an end product specification.	Not applicable

4.7.1.4 Repeatability and reproducibility

For IEC 60112 data are reported in IEC TR 62062:2002 [28].

4.7.1.5 Relevance of test data

The test discriminates between materials with relatively poor resistance to tracking, and those with moderate or good resistance, for use in equipment which can be used under moist conditions.

The test is not a good indicator of a material's ability to resist ignition from an arcing source as a primary failure mode. The method is set up to create accelerated conditions for the evaluation of tracking as a primary failure mode. However, these conditions do not accurately reflect conditions under which an arc ignition would occur in the field. While ignition of the specimen often occurs during this test, it is a secondary event to the developing (or completed) carbon track.

NOTE More severe tests of longer duration are required for the assessment of performance of materials for outdoor use, utilizing higher voltages and larger test specimens – see the inclined plane test, IEC 60587 [29].

4.7.2 High-Current Arc Ignition (HAI), UL 746A – Sec. 32 [30]

4.7.2.1 Purpose and principle

UL 746A – Sec. 32 was developed to differentiate between solid insulating materials with regard to resistance to ignition from arcing electrical sources. Under certain normal, as well as abnormal, operations of electrical equipment, insulating materials may be in the proximity of a source of arcing. If the intensity and/or duration of the arcing are severe, the insulating material may ignite.

4.7.2.2 Test specimen

The test specimen consists of a bar sample measuring $125\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ by $13,0\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ at the thickness to be evaluated.

4.7.2.3 Test method

Two electrodes, one a copper rod and the other a stainless steel rod, both at 45° to the horizontal, are brought into contact on the surface of the test specimen. The stainless steel electrode is capable of being removed to a distance that will break an arc and then brought back into contact to reinitiate the arc in a cyclic motion along its 45° axis. At the initiation of the test, a 32,5 A circuit (power factor 0,5) is energized and the movable electrode is cycled at a rate of 40 arcs per minute until a flame is detected (or the specimen sustains 200 arcs without ignition). The test may also be run with the initial electrode contact 1,6 mm or 3,2 mm above the surface.

4.7.2.4 Repeatability and reproducibility

There are no currently published data available. However, it is recognized that the following factors often contribute to a broad deviation in measured data;

- a) the occurrence of variable arc profiles due to asynchronous timing of AC frequency and arc initiation,
- b) deterioration of electrode tips during the test cycle, and
- c) lack of precise control of the moveable electrode.

A revised method that addresses these issues (and others) is currently under development in the United States.

4.7.2.5 Relevance of test data

These test methods are used for the preselection of materials, for quality control and product evaluation. The resulting data have been used for determining the suitability of polymeric materials intended for use in electrical equipment when in direct contact, within 0,8 mm of non-arcing sources (such as single conductors or bus-bars), or within 12,7 mm of arcing sources (such as parts of opposite polarity).

4.7.3 High-voltage arc resistance to ignition (HVAR), UL 746A – Sec. 33 [31]

4.7.3.1 Purpose and principle

UL746A – Sec. 33 is used to differentiate between solid insulating materials with regard to resistance to ignition or the formation of a visible carbonized conducting path over the surface of the material when subjected to high voltage, low current arcing such as during the malfunction of certain high voltage power supplies in electrical equipment.

4.7.3.2 Test specimen

The test specimen consists of a bar sample measuring $125\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ by $13,0\text{ mm} \pm 0,5\text{ mm}$ at the thickness to be evaluated. The test specimens are preconditioned for a minimum of 40 h at $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ and at $50\% \pm 5\%$ relative humidity.

4.7.3.3 Test method

Two electrodes, both at 45° to the horizontal, are placed $4,0\text{ mm} \pm 0,1\text{ mm}$ apart on the surface of the test specimen. At the initiation of the test, an initial circuit of 5,2 kV with a current limiter of 2,36 mA is utilized to create a continuous arc between the electrodes. The test is continued for 5 min or until ignition occurs, or a hole forms in the test specimen.

4.7.3.4 Repeatability and reproducibility

No data are currently available.

4.7.3.5 Relevance of test data

These test methods are used for the preselection of materials, for quality control and product evaluation. The resulting data have been found useful for determining the suitability of polymeric materials intended for use in electrical equipment when in direct contact or close proximity (0,8 mm to non-arcing or 12,7 mm to arcing) to uninsulated live parts.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-21:2016

Annex A (informative)

Applicability of test methods

A.1 Applicability of test methods

Table A.1 lists the test methods described in Clause 4 and distinguishes between material tests and end-product tests.

Table A.1 – Applicability of test methods (1 of 2)

Subclause	Test method	Material test	End-product test	Comments
4.2.1	Hot-air furnace ISO 871	✓		This measures the flash-ignition temperature and spontaneous-ignition temperature of plastics
4.2.2	Differential scanning calorimetry ISO 11357	✓	×	This measures a number of properties which affect ignitability
4.3.1	Cone calorimeter method ISO 5660-1	✓	If the geometry is appropriate	This is predominantly a heat release rate test, but time to ignition is measured
4.3.2	Heat release of insulating liquids IEC 60695-8-3		✓	This is a test for insulating liquids. It is predominantly a heat release rate test, but time to ignition is measured
4.3.3	Material ignition and flame spread test ASTM E 1321	✓	✓	This is used mainly to assess interior building materials
4.3.4	ICHF from a flame source IEC/TS 60695-11-11	✓	✓	This test measures ignition time as a function of the heat flux from a non-contacting flame
4.4.1	Oxygen index – Ambient temperature test ISO 4589-2	✓	×	This test is based on whether burning is sustained after ignition. Oxygen volume fraction is a variable
4.4.2	Oxygen index – Elevated temperature test ISO 4589-3	✓	×	This test is based on whether burning in air is sustained after ignition. Temperature is a variable
4.5.1.1	Glow-wire flammability test for end-products IEC 60695-2-11	×	✓	The ignition source is a hot wire applied for 30 s

Table A.1 (2 of 2)

Subclause	Test method	Material test	End-product test	Comments
4.5.1.2	Glow-wire flammability test for materials IEC 60695-2-12	✓	×	The ignition source is a hot wire applied for 30 s. The glow-wire flammability index (GWFI) is determined
4.5.1.3	Glow-wire ignitability test for materials IEC 60695-2-13	✓	×	The ignition source is a hot wire applied for 30 s. The glow-wire ignitability index (GWIT) is determined
4.5.2	Hot wire coil ignitability test ASTM D3874 [IEC 60695-2-20, withdrawn]	✓	×	The ignition source is a hot wire coiled round the test specimen. Heating is applied for up to 120 s. The IEC test method IEC 60695-2-20, was withdrawn because of poor repeatability and reproducibility.
4.6.1	Needle flame test IEC 60695-11-5	✓	✓	The ignition source is a small diffusion flame
4.6.2	50 W Horizontal and vertical flame test methods IEC 60695-11-10 500 W flame test methods IEC 60695-11-20 1 kW nominal pre-mixed flame IEC 60695-11-2	✓	×	The ignition source is a 50 W pre-mixed flame
4.6.3	Vertical and 60° tests for aircraft components FAR 25 – Part I – Appendix F	✓	✓	The ignition source is a 500 W pre-mixed flame
4.6.4	Proof and comparative tracking indices of solid insulating materials IEC 60112	✓	✓	The ignition source is a 1 kW pre-mixed flame
4.7.1	Standard test method for comparative tracking index of electrical insulating materials ASTM D 3638	✓	✓	This is a test for aerospace electrical wires and cables
4.7.2	High-current arc ignition (HAI) test UL 746A – Sec. 32	✓	×	Ignition which causes persistent flaming (burning for more than 2 s) is a failure criterion in this test
4.7.3	High-voltage arc ignition (HVAR) test UL 746A – Sec. 33	✓	×	Flame ignition shall be reported.
				This is used to evaluate polymeric insulating materials
				This is used to evaluate polymeric insulating materials

a CTI = Comparative tracking index

b PTI = Proof tracking index

Bibliography

- [1] ISO 11357, *Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC)*
- [2] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association Press, Quincy, MA (USA), 1995, pp. 1-103 to 1-106
- [3] Haines, P. J., *Thermal methods of analysis*, Blackie Academic & Professional, Glasgow, 1995
- [4] ISO 5660-1:2015, *Reaction-to-fire tests – Heat release, smoke production and mass loss rate – Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method)*
- [5] IEC TS 60695-8-3, *Fire hazard testing – Part 8-3: Heat release – Heat release of insulating liquids used in electrotechnical products*
- [6] ASTM E 1321, *Standard Test Method for Determining Material Ignition and Flame Spread Properties*
- [7] IEC TS 60695-11-11, *Fire hazard testing – Part 11-11: Test flames – Determination of the ignition characteristic heat flux from a non-contacting flame source*
- [8] ISO 4589-2:1996, *Plastics – Determination of burning behaviour by oxygen index – Part 2: Ambient-temperature test*
- [9] Fenimore and Martin, *Modern Plastics*, 43, p. 141, 1966
- [10] ISO 4589-3:1996, *Plastics – Determination of burning behaviour by oxygen index – Part 3: Elevated-temperature test*
- [11] Weil, Hirschler, Patel, Said and Shakir, *Fire and Materials*, 16(4), p. 159, 1992
- [12] ISO 4589-1, *Plastics – Determination of burning behaviour by oxygen index – Part 1: Guidance*
- [13] IEC 60695-2-10, *Fire hazard testing – Part 2-10: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire apparatus and common test procedure*
- [14] IEC 60695-2-11, *Fire hazard testing – Part 2-11: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for end-products*
- [15] IEC 60695-2-12, *Fire hazard testing – Part 2-12: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire flammability test method for materials*
- [16] IEC 60695-2-13, *Fire hazard testing – Part 2-13: Glowing/hot-wire based test methods – Glow-wire ignitability test method for materials*
- [17] ASTM D 3874, *Standard Test Method for Ignition of Materials by Hot Wire Sources*
- [18] IEC 60695-11-5, *Fire hazard testing – Part 11-5: Needle flame test*
- [19] IEC 60695-11-10:2013, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test method*

- [20] IEC 60695-11-20:2015, *Fire hazard testing – Part 11-20: Test flames – 500 W flame test methods*
 - [21] IEC 60695-11-4, *Fire hazard testing – Part 11-4: Test flames – 50 W flame – Apparatus and confirmational test method*
 - [22] IEC 60695-11-3, *Fire hazard testing – Part 11-3: Test flames – 500 W flames – Apparatus and confirmational test methods*
 - [23] IEC 60695-11-2:2013, *Fire hazard testing – Part 11-2: Test flames – 1 kW pre-mixed flame test method*
 - [24] IEC 60695-11-40, *Fire hazard testing – Part 11-40: Test flames – Confirmatory tests – Guidance*
 - [25] FAR 25, *Federal Aviation Regulations – Airworthiness standards – Part 25: Transport category – Airplanes*
 - [26] IEC 60112, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*
 - [27] ASTM D 3638, *Standard Test Method for Comparative Tracking Index of Electrical Insulating Materials*
 - [28] IEC TR 62062:2002, *Results of the Round Robin series of tests to evaluate proposed amendments to IEC 60112*
 - [29] IEC 60587, *Test method for evaluating resistance to tracking and erosion of electrical insulating materials used under severe ambient conditions*
 - [30] UL 746A – Sec. 32, *Standard for Polymeric Materials – Short Term Property Evaluations – Sec. 43: High-current arc ignition test*
 - [31] UL 746A – Sec. 33, *Standard for Polymeric Materials – Short Term Property Evaluations – Sec. 44: High-voltage arc ignition test*
 - [32] ISO 871:2006, *Plastics – Determination of ignition temperature using a hot-air furnace*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	36
INTRODUCTION	39
1 Domaine d'application	41
2 Références normatives	41
3 Termes et définitions	42
4 Résumé des méthodes d'essai publiées	46
4.1 Généralités	46
4.2 Essais utilisant l'air chauffé ou le chauffage électrique	47
4.2.1 Détermination de la température d'allumage au moyen d'un four à air chaud, ISO 871	47
4.2.2 Analyse calorimétrique différentielle (Differential Scanning Calorimetry – DSC), ISO 11357 [1]	48
4.3 Essais utilisant la chaleur rayonnante	49
4.3.1 Débit calorifique – Méthode au calorimètre à cône, ISO 5660-1 [4]	49
4.3.2 Dégagement de chaleur des liquides isolants, IEC TS 60695-8-3 [5]	50
4.3.3 Méthode d'essai normalisée pour la détermination des propriétés d'allumage des matériaux et de propagation de la flamme, ASTM E 1321 [6]	50
4.3.4 Détermination du flux de chaleur caractéristique pour l'allumage à partir d'une flamme source sans contact, IEC TS 60695-11-11 [7]	51
4.4 Essais d'indice d'oxygène	52
4.4.1 Indice d'oxygène – Essai à la température ambiante, ISO 4589-2 [8]	52
4.4.2 Indice d'oxygène – Essai à haute température, ISO 4589-3 [10]	53
4.5 Méthodes d'essai au fil incandescent/chauffant	55
4.5.1 Essais au fil incandescent, IEC 60695-2-11 [14], IEC 60695-2-12 [15] et IEC 60695-2-13 [16]	55
4.5.2 Essai d'allumabilité par bobine de fil chauffant, IEC 60695-2-20 et ASTM D 3874 [17]	58
4.6 Essais à la flamme	59
4.6.1 Essai au brûleur-aiguille, IEC 60695-11-5 [18]	59
4.6.2 Méthodes d'essai horizontal et vertical à la flamme de 50 W, IEC 60695-11-10 [19], méthode d'essai à la flamme de 500 W, IEC 60695-11-20 [20]	59
4.6.3 Flamme à prémélange de 1 kW nominal, IEC 60695-11-2 [23]	60
4.6.4 Essai vertical et essai à 60° pour les composants aéronautiques, FAR 25 [25]	61
4.7 Essais utilisant un arc électrique	62
4.7.1 Essais d'indice de cheminement, IEC 60112 [26], ASTM D 3638 [27]	62
4.7.2 Allumage par arc à courant élevé (High-Current Arc Ignition – HAI), UL 746A – Sec. 32 [30]	64
4.7.3 Résistance à l'allumage à arc à haute tension (High-Voltage Arc Resistance to Ignition – HVAR), UL 746A – Sec. 33 [31]	64
Annexe A (informative) Applicabilité des méthodes d'essai	66
A.1 Applicabilité des méthodes d'essai	66
Bibliographie	68

Tableau 1 – Principales différences entre l'IEC 60112 et l'ASTM D 3638	63
Tableau A.1 – Applicabilité des méthodes d'essai (1 de 2)	66

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-21:2016

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Allumabilité – Résumé et pertinence des méthodes d'essais

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 et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60695-1-21 a été établie par le comité d'études 89 de l'IEC: Essais relatifs aux risques du feu.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
89/1336/FDIS	89/1339/RVD

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

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

Elle a le statut d'une publication fondamentale de sécurité conformément au Guide IEC 104 et au Guide ISO/IEC 51.

Cette première édition de l'IEC 60695-1-21 annule et remplace la première édition de l'IEC TR 60695-1-21 parue en 2008. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) Changement d'un TR à une norme internationale;
- b) Introduction modifiée;
- c) Domaine d'application modifié;
- d) Références normatives mises à jour;
- e) Termes et définitions mis à jour;
- f) Mises à jour et nouveau texte dans l'Article 4;
- g) Complément de texte concernant l'ASTM D 3638;
- h) Mises à jour de l'Annexe A;
- i) Mises à jour de la bibliographie.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60695, publiées sous le titre général *Essais relatifs aux risques du feu*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

La série IEC 60695-1, sous le titre général *Essais relatifs aux risques du feu*, comprend les parties suivantes:

- Partie 1-10: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Lignes directrices générales
- Partie 1-11: Lignes directrices pour l'évaluation du danger du feu des produits électrotechniques – Évaluation du danger du feu
- Partie 1-12: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechnique – Ingénierie de la sécurité incendie
- Partie 1-20: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Allumabilité – Lignes directrices générales
- Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Allumabilité – Résumé et pertinence des méthodes d'essais
- Partie 1-30: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Processus d'essai de présélection – Lignes directrices générales
- Partie 1-40: Guide pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Liquides isolants

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-21:2016

INTRODUCTION

Les feux sont source de dangers pour la vie et les biens; ceux-ci résultent de la génération de chaleur (danger thermique) et également de la production d'effluents toxiques, d'effluents corrosifs et de fumée (danger non thermique). Les feux commencent avec l'allumage puis ils peuvent grandir, conduisant dans certains cas à un embrasement généralisé et à un feu pleinement développé. Pour un matériau, la résistance à l'allumage est donc l'un des paramètres les plus importants à prendre en compte pour l'évaluation du danger d'incendie. En l'absence d'allumage, il n'y a pas de feu.

Pour la plupart des matériaux (autres que les métaux et certains autres éléments), l'allumage se produit en phase gazeuse. L'allumage se produit lorsqu'une vapeur combustible, mélangée à l'air, atteint une température suffisamment élevée pour que les réactions d'oxydation exothermique se propagent rapidement. La facilité avec laquelle l'allumage se produit dépend de la nature chimique de la vapeur, du rapport combustible/air et de la température.

Dans le cas des liquides, la vapeur combustible résulte de la vaporisation du liquide et le processus de vaporisation dépend de la température et de la composition chimique du liquide.

Dans le cas des solides, la vapeur combustible est produite par pyrolyse lorsque la température du solide est suffisamment élevée. Le processus de vaporisation dépend de la température et de la composition chimique du solide et également de l'épaisseur, de la densité, de la chaleur massique et de la conductivité thermique du solide.

La facilité d'allumage d'une éprouvette dépend de nombreuses variables. Les facteurs qui nécessitent d'être pris en compte pour l'évaluation de l'allumabilité sont:

- a) la géométrie de l'éprouvette, y compris son épaisseur et la présence de bords, de coins ou de joints;
- b) l'orientation de la surface;
- c) la vitesse et la direction du flux d'air;
- d) la nature et l'emplacement de la source d'allumage;
- e) l'ampleur et l'emplacement de tout flux de chaleur externe; et
- f) le fait que le matériau combustible soit un solide ou un liquide.

Lors de la conception d'un produit électrotechnique, il est nécessaire de prendre en compte le risque de feu et les dangers potentiels associés au feu. À cet égard, l'objectif lors de la conception des composants, des circuits et du matériel, ainsi que lors du choix des matériaux est de réduire le risque de feu à un niveau tolérable même dans le cas d'une (mauvaise) utilisation raisonnablement prévisible, d'un dysfonctionnement ou d'une défaillance.

Les feux impliquant des produits électrotechniques peuvent également être déclenchés par des sources non électriques externes. Des considérations de cette nature sont traitées dans une évaluation globale du danger d'incendie.

La série de normes IEC 60695 a pour objet de sauver des vies et de préserver des biens en réduisant le nombre de feux ou les conséquences du feu. Ceci peut être réalisé en:

- tentant de prévenir l'allumage provoqué par un composant sous tension et, dans l'éventualité d'un allumage, de circonscrire le feu qui en résulte dans les limites de l'enceinte du produit électrotechnique.
- tentant de réduire le plus possible toute propagation de la flamme au-delà de l'enceinte du produit et de réduire le plus possible les effets préjudiciables des effluents du feu, y compris la chaleur, la fumée et les produits de combustion toxiques ou corrosifs.

C'est pour ces différentes raisons qu'il existe de nombreux essais utilisés pour évaluer l'allumabilité des produits électrotechniques et des matériaux utilisés pour leur construction. La présente partie de l'IEC 60695 décrit les méthodes d'essai de l'allumabilité qui sont généralement utilisées pour évaluer les produits électrotechniques ou les matériaux utilisés dans ces produits. Elle inclut également les méthodes d'essai pour lesquelles, par conception, l'allumabilité est une caractéristique quantifiable significative. Elle fait partie de la série IEC 60695-1, qui donne des lignes directrices aux comités de produits qui désirent incorporer des méthodes d'essai sur le danger d'incendie dans les normes de produit.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60695-1-21:2016

ESSAIS RELATIFS AUX RISQUES DU FEU –

Partie 1-21: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Allumabilité – Résumé et pertinence des méthodes d'essais

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60695 donne un résumé des méthodes d'essai qui sont utilisées pour déterminer l'allumabilité des produits électrotechniques ou des matériaux à partir desquels ils sont fabriqués. Elle inclut également les méthodes d'essai pour lesquelles, par conception, l'allumabilité est une caractéristique quantifiable significative.

Elle représente l'état de l'art de ces méthodes d'essai et, lorsque cela est applicable, inclut des observations spéciales concernant leur pertinence et leur utilisation. La liste des méthodes d'essai ne doit pas être considérée comme exhaustive et les méthodes d'essai qui n'ont pas été élaborées par l'IEC ne doivent pas être considérées comme étant entérinées par l'IEC sauf si cela est spécifiquement indiqué.

La présente publication fondamentale de sécurité est destinée à être utilisée par les comités d'études pour l'élaboration de leurs normes conformément aux principes exposés dans le Guide IEC 104 et dans le Guide ISO/IEC 51.

L'une des responsabilités d'un comité d'études consiste, le cas échéant, à utiliser les publications fondamentales de sécurité dans le cadre de l'élaboration de ses publications.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 60695-1-20, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-20: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Allumabilité – Lignes directrices générales*

IEC 60695-1-30, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 1-30: Lignes directrices pour l'évaluation des risques du feu des produits électrotechniques – Processus d'essai de présélection – Lignes directrices générales*

IEC 60695-4:2012, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 4: Terminologie relative aux essais au feu pour les produits électrotechniques*

Guide IEC 104, *The preparation of safety publications and the use of basic safety publications and group safety publications* (disponible en anglais seulement)

Guide ISO/IEC 51, *Aspects liés à la sécurité – Principes directeurs pour les inclure dans les normes*

ISO/IEC 13943:2008, *Sécurité au feu – Vocabulaire*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'ISO 13943:2008 et l'IEC 60695-4:2012 (dont certains sont repris ci-dessous) 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 <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

combustion

réaction exothermique d'une substance avec un comburant

Note 1 à l'article: Cette combustion émet généralement des effluents du feu accompagnés de flammes (3.10) et/ou d'incandescence.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.46]

3.2

produit final

produit prêt à être utilisé

Note 1 à l'article: Un produit final peut être un composant d'un autre produit final.

[SOURCE: IEC 60695-4:2012, 3.2.7]

3.3

feu

(général) processus de **combustion** (3.1) caractérisé par l'émission de chaleur et d'effluents du feu et accompagné généralement par de la fumée, des **flammes** (3.10), une incandescence, ou par une combinaison de ces éléments

Note 1 à l'article: En anglais, le terme «fire» est utilisé pour désigner trois concepts, dont deux, **fire** (3.4) et **fire** (3.5), se rapportent à des types spécifiques de combustion auto-entretenu ayant des significations diverses et deux d'entre eux sont désignés par deux termes différents, tant en français qu'en allemand.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.96]

3.4

feu

(contrôlé) **combustion** (3.1) auto-entretenu qui a été délibérément assurée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace est contrôlée

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.97]

3.5

incendie

(non contrôlé) **combustion** (3.1) auto-entretenu qui n'a pas été délibérément assurée pour produire des effets utiles et dont l'extension dans le temps et l'espace n'est pas contrôlée

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.98]

3.6

danger d'incendie

objet physique ou condition susceptible d'entraîner des conséquences non souhaitables causées par un **incendie** (3.3)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.112]

3.7

point de feu

température minimale à laquelle un matériau soumis à une petite **flamme** (3.10) appliquée à sa surface dans des conditions spécifiées, s'enflamme et continue de brûler pendant un temps spécifié

voir **point d'éclair** (3.15)

Note 1 à l'article: Dans certains pays, le terme anglais «fire point» («point feu» en français) a aussi une autre signification: un emplacement où le matériel de lutte contre l'incendie est placé et qui peut comprendre également un poste de détection et d'alarme incendie et les instructions à suivre en cas d'incendie.

Note 2 à l'article: Il est exprimé en degrés Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.119]

3.8

ignifugeant, substantif

substance ajoutée ou traitement appliqué à un matériau pour retarder l'**allumage** (3.19) ou réduire la vitesse de combustion (3.1)

voir **retardateur de flamme** (3.11)

Note 1 à l'article: L'emploi d'ignifugeants ne supprime pas nécessairement le **feu** (3.3) et ne met pas nécessairement un terme à la **combustion** (3.1).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.123]

3.9

scénario d'incendie

description qualitative du déroulement d'un **incendie** (3.5) dans le temps, identifiant les événements clés qui caractérisent l'incendie et le différencient des autres incendies potentiels

Note 1 à l'article: Il définit typiquement les processus d'**allumage** (3.19) et de croissance du feu, le stade de **feu pleinement développé** (3.16), le stade de déclin du feu ainsi que l'environnement et les systèmes qui interviennent dans le déroulement de l'incendie.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.129]

3.10

flamme, substantif

zone dans laquelle se produit une propagation subsonique, auto-entretenu et rapide de la **combustion** (3.1) dans un milieu gazeux, généralement accompagnée d'une émission de lumière

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.133, modifiée (ajout de «zone dans laquelle se produit une»)]

3.11

retardateur de flamme, substantif

substance ajoutée ou traitement appliqué à un matériau pour supprimer ou retarder l'apparition d'une **flamme** (3.10) et/ou diminuer la vitesse de propagation des flammes

voir **ignifugeant** (3.8)

Note 1 à l'article: L'emploi d'ignifugeants ne supprime pas nécessairement le **feu** (3.3) et ne met pas nécessairement un terme à la **combustion** (3.1).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.139]

3.12

combustion avec flammes

combustion (3.1) en phase gazeuse généralement accompagnée d'émission de lumière

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.148]

3.13

température d'allumage éclair

FIT

température la plus basse à laquelle, dans des conditions d'essai spécifiées, des gaz inflammables suffisants sont émis pour s'allumer momentanément dès l'application d'une **flamme** (3.10) pilote

Note 1 à l'article: L'abréviation «FIT» est dérivée du terme anglais développé correspondant «Flash-Ignition Temperature».

[SOURCE: ISO 871:2006, 3.1]

3.14

embrasement généralisé

flashover

(stade d'incendie) passage à un état impliquant dans un **incendie** (3.3) l'ensemble des surfaces des matériaux combustibles dans une enceinte

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.157]

3.15

point d'éclair (°C)

température minimale à laquelle doit être chauffé un matériau ou un produit pour que les gaz émis s'enflamment momentanément en présence d'une **flamme** (3.10) dans des conditions spécifiées

Note 1 à l'article: Il est exprimé en degrés Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.154]

3.16

feu pleinement développé

état dans lequel l'ensemble des matériaux combustibles sont impliqués dans un **incendie** (3.5)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.164]

3.17

combustion incandescente

combustion (3.1) d'un matériau, en phase solide, sans **flamme** (3.10), mais avec émission de lumière émanant de la zone de combustion

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.169]

3.18

allumabilité

facilité d'allumage

mesure de la facilité avec laquelle une éprouvette d'essai peut être allumée, dans des conditions spécifiées

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.182]

3.19**allumage**

allumage persistant (déconseillé)
(général) amorçage de la **combustion** (3.1)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.187]

3.20**allumage**

allumage persistant (déconseillé)
(combustion avec flammes) déclenchement d'une **flamme** (3.10) persistante

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.188]

3.21**source d'allumage**

source d'énergie qui provoque une **combustion** (3.1)

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.189]

3.22**limite inférieure d'inflammabilité****LII**

concentration minimale de la vapeur du combustible dans l'air au-dessous de laquelle la propagation de la **flamme** (3.10) ne se produit pas en présence d'une **source d'allumage** (3.21)

Note 1 à l'article: La concentration est généralement exprimée comme une fraction volumique à une température et une pression définies, et exprimée en pourcentage.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.216]

3.23**température d'allumage minimale****point d'allumage**

température minimale à laquelle une **combustion** (3.1) persistante peut être provoquée dans des conditions d'essai spécifiées

Note 1 à l'article: La température minimale d'allumage implique l'application d'une contrainte thermique de durée infinie.

Note 2 à l'article: Elle est exprimée en degrés Celsius (°C).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.231]

3.24**température d'allumage spontané****SIT**

température la plus basse à laquelle l'**allumage** (3.19) est obtenu par chauffage dans des conditions d'essai spécifiées en l'absence de toute **flamme** (3.10) **source d'allumage** (3.21) auxiliaire

Note 1 à l'article: L'abréviation «SIT» est dérivée du terme anglais développé correspondant «spontaneous-ignition temperature».

[SOURCE: ISO 871, 3.2]

3.25

inertie thermique

produit de la conductivité thermique, de la masse volumique et de la capacité calorifique spécifique

EXEMPLE L'inertie thermique de l'acier est de $2,3 \times 10^8 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$. L'inertie thermique de la mousse de polystyrène est de $1,4 \times 10^3 \text{ J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$.

Note 1 à l'article: Lorsque le matériau est exposé à un flux de chaleur, la vitesse d'augmentation de la température superficielle dépend fortement de la valeur de l'inertie thermique du matériau. La température superficielle d'un matériau à faible inertie thermique augmente relativement vite lorsque ce matériau est chauffé et vice versa.

Note 2 à l'article: Elle est exprimée en joules carrés par seconde par mètre puissance quatre par kelvin carré ($\text{J}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-4} \cdot \text{K}^{-2}$).

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.326]

3.26

cheminement

cheminement d'arc

(électrotechnique) formation progressive de chemins conducteurs à la surface et/ou à l'intérieur d'un matériau isolant solide, sous l'effet combiné des contraintes électriques et de la contamination électrolytique

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.342]

3.27

limite supérieure d'inflammabilité

LSI

concentration maximale de la vapeur du combustible dans l'air au-dessus de laquelle la propagation de la **flamme** (3.10) ne se produira pas en présence d'une **source d'allumage** (3.21)

Note 1 à l'article: La concentration est généralement exprimée comme une fraction volumique à une température et une pression définies, et exprimée en pourcentage.

[SOURCE: ISO 13943:2008, 4.349]

4 Résumé des méthodes d'essai publiées

4.1 Généralités

Ce résumé ne peut pas être utilisé à la place des normes publiées qui sont les seuls documents de référence valables. Il représente l'état de l'art de ces méthodes d'essai et, lorsqu'elles sont disponibles, il inclut des observations spéciales concernant leur pertinence et leur utilisation. La liste des méthodes d'essai ne doit pas être considérée comme exhaustive et les méthodes d'essai qui n'ont pas été élaborées par l'IEC ne doivent pas être considérées comme étant entérinées par l'IEC sauf si cela est spécifiquement indiqué. Des lignes directrices générales pour l'allumabilité sont données dans l'IEC 60695-1-20.

Certaines méthodes d'essai correspondent à des essais de matériaux et d'autres à des essais de produits finaux. Le Tableau A.1 donne la liste des méthodes d'essai décrites ci-dessous et fait la distinction entre les essais de matériaux et les essais de produits finaux.

Lorsqu'aucun essai au feu n'a été spécifié et qu'il s'avère nécessaire, pour les besoins spécifiques d'un comité d'études de l'IEC, d'élaborer ou de modifier un tel essai, cela doit être effectué en liaison avec le Comité d'études 89 de l'IEC.

La ou les méthodes d'essai choisies doivent être pertinentes pour le scénario d'incendie concerné.

NOTE 1 Toutes les méthodes d'essai suivantes ne correspondent pas spécifiquement à des essais d'allumage ou d'allumabilité, mais certains essais ont été inclus car leurs données d'allumage sont ou peuvent être mesurées.

NOTE 2 En l'absence de données de répétabilité et de reproductibilité connues pour être disponibles, les informations de l'auteur/l'éditeur de la méthode d'essai concernée peuvent être disponibles.

4.2 Essais utilisant l'air chauffé ou le chauffage électrique

4.2.1 Détermination de la température d'allumage au moyen d'un four à air chaud, ISO 871

4.2.1.1 But et principe

L'ISO 871 spécifie une méthode de laboratoire pour déterminer la température d'allumage éclair et la température d'allumage spontané des plastiques au moyen d'un four à air chaud.

Une éprouvette de matériau est chauffée à l'intérieur d'un four d'allumage à air chaud en utilisant différentes températures dans la chambre chauffée et la température d'allumage éclair est déterminée avec une petite flamme pilote dirigée au niveau de l'ouverture en haut du four pour allumer les gaz émis. La température d'allumage spontané est déterminée de la même manière que la température d'allumage éclair, mais sans la flamme d'allumage.

4.2.1.2 Éprouvette

Les matériaux, quelle que soit la forme sous laquelle ils sont fournis, y compris s'il s'agit de matériaux composites, peuvent être utilisés. Un échantillon de 3 g est utilisé si la densité est supérieure à $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pour les matériaux alvéolaires dont la densité est inférieure à $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, toute pellicule extérieure est retirée et un bloc de $20 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ est découpé.

4.2.1.3 Méthode d'essai

La vitesse de l'air est réglée à $25 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ et une température initiale d'essai est choisie. Après 10 min, la température est réduite ou augmentée de 50°C selon qu'il y a eu ou non allumage et un nouvel échantillon est soumis à l'essai. Après détermination de la plage dans laquelle se situe la température d'allumage, des essais sont commencés à 10°C en dessous de la température la plus élevée à l'intérieur de cette plage, puis la température est réduite par paliers de 10°C jusqu'à la valeur à laquelle il n'y a pas d'allumage pendant une durée de 10 min. La température d'allumage est enregistrée comme la température d'essai la plus basse à laquelle l'allumage est observé.

4.2.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Des données existent à l'Annexe A de l'ISO 871:2006.

4.2.1.5 Pertinence des résultats d'essai

Les essais réalisés dans les conditions de la présente méthode peuvent être d'une valeur considérable pour comparer les caractéristiques relatives d'allumage de différents matériaux. Les valeurs obtenues représentent la température de l'air ambiant la plus basse qui provoque l'allumage du matériau dans les conditions de cet essai. Il est prévu que les valeurs d'essai classent les matériaux en fonction de leur sensibilité à l'allumage dans les conditions réelles d'utilisation.

4.2.2 Analyse calorimétrique différentielle (Differential Scanning Calorimetry – DSC), ISO 11357 [1]¹

4.2.2.1 Introduction

L'analyse calorimétrique différentielle (DSC) fait partie des méthodes thermiques d'analyse qui ne sont pas utilisées pour mesurer directement l'allumage, mais qui sont utilisées pour mesurer un certain nombre de propriétés qui affectent l'allumabilité et qui peuvent être utilisées dans les études d'ingénierie sur la sécurité incendie et pour la modélisation des feux.

NOTE D'autres techniques utiles incluent l'analyse thermogravimétrique (thermogravimetric analysis – TGA), l'analyse thermique différentielle (differential thermal analysis – DTA), l'analyse thermomécanique (thermomechanical analysis – TMA), l'analyse thermique mécanique dynamique (dynamic mechanical thermal analysis – DMTA) et la pyrolyse-chromatographie en phase gazeuse (pyrolysis gas chromatography) [2], [3].

4.2.2.2 But et principe

L'ISO 11357 se compose de sept parties et décrit les méthodes qui utilisent l'analyse DSC pour mesurer les propriétés suivantes des matériaux polymères comme les thermoplastiques et les matières plastiques thermodurcissables, y compris les matériaux moulés et les matériaux composites:

- Température de transition vitreuse
- Température et enthalpie de fusion et de cristallisation
- Capacité calorifique spécifique
- Températures et/ou durées de polymérisation et cinétique de polymérisation
- Temps d'induction à l'oxydation
- Cinétique de cristallisation

La méthode DSC prévoit le mesurage de la différence entre le flux de chaleur qui pénètre une éprouvette d'essai et celui qui pénètre une éprouvette de référence en fonction de la température et/ou de la durée lorsque l'éprouvette d'essai et l'éprouvette de référence sont soumises à un programme avec des températures contrôlées sous une atmosphère spécifiée.

4.2.2.3 Éprouvette

Les éprouvettes peuvent être liquides ou solides. La masse optimale de l'éprouvette varie en fonction du paramètre étudié, mais elle se situe normalement dans la plage comprise entre 5 mg et 50 mg. L'éprouvette est placée dans un bac à échantillons qui est fermé de manière étanche avec un couvercle si cela est exigé. L'éprouvette de référence est généralement un bac à échantillons identique, mais vide.

4.2.2.4 Méthode d'essai

L'appareil de mesure est tout d'abord étalonné, puis les bacs à échantillons sont insérés et l'appareil est programmé pour réaliser le cycle thermique désiré. Les opérations de contrôle et l'analyse des données sont réalisées conformément aux instructions du fabricant.

4.2.2.5 Répétabilité et reproductibilité

Les données sont indiquées dans les annexes des différentes parties de l'ISO 11357.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

4.2.2.6 Pertinence des résultats d'essai

La méthode DSC permet de mesurer deux paramètres importants qui sont nécessaires dans les modèles d'allumage de feux. Il s'agit de: a) la capacité calorifique spécifique en fonction de la température et de b) la chaleur de gazéification.

4.3 Essais utilisant la chaleur rayonnante

4.3.1 Débit calorifique – Méthode au calorimètre à cône, ISO 5660-1 [4]

4.3.1.1 But et principe

L'ISO 5660-1 spécifie une méthode pour l'évaluation du débit calorifique, du débit de production de fumée et du débit de perte de masse d'une éprouvette exposée horizontalement à un niveau contrôlé d'éclairement en présence d'une source d'allumage par étincelle. L'éclairement a une valeur comprise entre $0 \text{ kW} \times \text{m}^{-2}$ et $100 \text{ kW} \times \text{m}^{-2}$. Le débit calorifique est déterminé en mesurant la consommation d'oxygène à partir de la concentration en oxygène et du débit au cours de la combustion du produit. Le temps nécessaire à l'allumage (avec flammes persistantes) est également mesuré au cours de l'essai. L'éprouvette est montée sur une cellule de pesage de manière à mesurer la masse pendant l'essai.

Cette méthode d'essai se fonde sur l'observation suivante: généralement, la chaleur nette de combustion est proportionnelle à la quantité d'oxygène exigée pour la combustion. La relation donne approximativement 13,1 kJ de chaleur dégagée par gramme d'oxygène consommé.

4.3.1.2 Éprouvette

L'éprouvette est de forme carrée (100 mm × 100 mm) et ne dépasse pas 50 mm d'épaisseur. Elle est enroulée dans une feuille d'aluminium de manière à ce que sa base et ses côtés soient recouverts et que sa surface supérieure soit exposée. L'éprouvette ainsi enroulée est placée dans un support. Un substrat est utilisé si cela est approprié.

4.3.1.3 Méthode d'essai

L'appareil est tout d'abord étalonné, puis les niveaux de débit d'évacuation et d'éclairement sont réglés. L'éprouvette est placée sous un écran de protection et l'essai commence lorsque cet écran est retiré et que le dispositif d'allumage par étincelle est inséré et activé.

Les données sont rassemblées normalement 32 min après l'apparition des flammes persistantes. Trois éprouvettes sont soumises à l'essai.

4.3.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Des données existent à l'Annexe B de l'ISO 5660-1:2015.

4.3.1.5 Pertinence des résultats d'essai

Le débit calorifique est une des variables les plus importantes pour déterminer le danger d'un feu. Dans le cas d'un feu type, de nombreux éléments composés de nombreuses surfaces contribuent au développement de ce feu, ce qui rend son évaluation relativement complexe. Tout d'abord, le moment, le cas échéant, auquel chaque surface individuelle prend feu doit être déterminé et le présent essai au banc donne cette information.

La taille du feu résultant de tout élément en train de se consumer doit être déterminée afin de calculer sa contribution à l'éclairement externe sur les éléments voisins. La propagation de la flamme sur chaque surface doit également être évaluée. Le débit calorifique de la surface totale est ensuite déterminé compte tenu du débit calorifique par unité de surface pour un éclairement donné en fonction du temps tel qu'il est évalué avec cet essai au banc. La valeur

totale due au feu implique ensuite une sommation sur toutes les surfaces pour tous les matériaux.

Les données concernant le temps d'allumage en fonction de l'éclairement peuvent aussi être utilisées pour calculer des paramètres utiles liés à l'allumage, comme l'inertie thermique des matériaux.

4.3.2 Dégagement de chaleur des liquides isolants, IEC TS 60695-8-3² [5]

4.3.2.1 But et principe

Cette spécification technique stipule les méthodes d'essai destinées à déterminer le dégagement de chaleur et la production de fumée provenant des liquides isolants des produits électrotechniques lorsqu'ils sont exposés à un flux de chaleur défini. Cette spécification technique peut également s'appliquer à d'autres éprouvettes liquides.

Le principe de cette méthode est le même que celui décrit en 4.2.1.1. De plus, un laser, émettant un faisceau traversant l'effluent d'évacuation, est utilisé pour mesurer la production de fumée comme cela est décrit dans l'ISO 5660-1.

4.3.2.2 Éprouvette

Pour les essais préliminaires, 20 cm³ de liquide sont utilisés. 50 cm³ de liquide sont utilisés pour les essais principaux. Le liquide est placé dans un support d'échantillon carré en acier inoxydable de 100 mm × 100 mm et de 15 mm de profondeur.

4.3.2.3 Méthode d'essai

L'appareil est étalonné conformément à l'ISO 5660-1 et les essais préliminaires sont effectués pour déterminer le flux de chaleur minimal (flux d'allumage critique) auquel l'éprouvette s'allume en moins de 1 200 s. Les essais principaux sont ensuite réalisés avec ce flux d'allumage critique. L'analyse des données est effectuée conformément à l'ISO 5660-1.

4.3.2.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible actuellement.

4.3.2.5 Pertinence des résultats d'essai

À partir de cet essai, il est possible d'obtenir une évaluation quantitative de la facilité ou de la difficulté relative d'allumage des liquides utilisés à des fins électrotechniques. Des données quantitatives sur le dégagement de chaleur et la production de fumée sont également obtenues. Toutes ces données peuvent être utilisées dans les études d'ingénierie sur la sécurité incendie comprenant des évaluations de danger d'incendie.

4.3.3 Méthode d'essai normalisée pour la détermination des propriétés d'allumage des matériaux et de propagation de la flamme, ASTM E 1321 [6]

4.3.3.1 But et principe

L'ASTM E 1321 détermine les propriétés des matériaux liées à l'allumage piloté d'un échantillon orienté verticalement soumis à un flux de chaleur constant et uniforme et à une propagation latérale de la flamme sur une surface verticale due à un flux de chaleur rayonné appliqué extérieurement.

² Supprimée en 2015.

4.3.3.2 Éprouvette

Les éprouvettes sont soumises à l'essai telles qu'elles sont prévues pour être utilisées. Pour l'essai d'allumage, les éprouvettes font 155 mm × 155 mm. Pour l'essai de propagation de la flamme, les éprouvettes font 800 mm × 155 mm. Pour les deux essais, les matériaux et les matériaux composites d'épaisseur normale inférieure ou égale à 50 mm sont soumis aux essais en utilisant leur épaisseur complète. Cette méthode d'essai est limitée aux éprouvettes thermiquement épaisses (c'est-à-dire que lorsque la surface exposée s'est allumée, la surface arrière n'a pas été chauffée de manière significative au-delà de la température ambiante).

4.3.3.3 Méthode d'essai

Cette méthode d'essai comprend deux procédures: une pour mesurer l'allumage et une autre pour mesurer la propagation latérale de la flamme. Les éprouvettes montées verticalement sont exposées à la chaleur provenant d'une source verticale d'énergie thermique rayonnante air/gaz inclinée de 15 ° par rapport à l'éprouvette.

Pour l'essai d'allumage, une éprouvette est exposée à un flux de chaleur de 30 kW·m⁻² et le temps nécessaire à l'allumage est noté si celui-ci intervient dans les 20 min. L'essai est répété jusqu'à l'obtention d'un flux de chaleur minimal pour l'allumage avec une tolérance de ± 2 kW·m⁻². Les essais sont ensuite répétés à des flux de chaleur plus élevés (par paliers d'environ 10 kW·m⁻²) jusqu'à ce qu'un temps d'allumage/profil de flux de chaleur soit déterminé pour les flux de chaleur compris entre le flux minimal pour l'allumage et 65 kW·m⁻². Les données sont corrélées avec les théories définies de l'allumage pour la déduction des propriétés d'inflammabilité des matériaux.

Pour l'essai de propagation de la flamme, une éprouvette est exposée à un flux de chaleur gradué qui est d'environ 5 kW·m⁻² supérieur à l'extrémité la plus chaude que le flux de chaleur minimal nécessaire à l'allumage, ce flux étant déterminé à partir de l'essai d'allumage. L'éprouvette est préchauffée jusqu'à son équilibre thermique, le temps de préchauffage étant également déterminé à partir de l'essai d'allumage. Après l'allumage, la progression du front des flammes le long de la longueur horizontale de l'éprouvette est suivie en fonction du temps. Les données sont corrélées avec les théories définies de l'allumage et de la propagation de la flamme pour la déduction des propriétés d'inflammabilité des matériaux.

4.3.3.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée n'est disponible actuellement.

4.3.3.5 Pertinence des résultats d'essai

Les résultats de cette méthode d'essai donnent les valeurs minimales de flux de chaleur de surface et de température nécessaires à l'allumage et pour la propagation latérale, une valeur d'inertie thermique efficace du matériau et un paramètre de chauffage par la flamme pertinent pour la propagation latérale de la flamme. Ces résultats sont potentiellement utiles pour prédire le temps avant allumage et la vitesse de propagation latérale de la flamme sur une surface verticale avec un flux de chaleur externe spécifié sans flux d'air latéral forcé. Ces données peuvent être utilisées dans les modèles de croissance du feu.

4.3.4 Détermination du flux de chaleur caractéristique pour l'allumage à partir d'une flamme source sans contact, IEC TS 60695-11-11 [7]

4.3.4.1 But et principe

L'IEC TS 60695-11-11 décrit une méthode d'essai utilisée pour obtenir le flux de chaleur caractéristique d'allumage (ignition characteristic heat flux – ICHF) des produits, des sous-ensembles et des matériaux électrotechniques. Le flux de chaleur provient d'une flamme qui

n'est pas en contact. Cette méthode d'essai mesure le temps nécessaire à l'allumage en fonction du flux de chaleur incident.

4.3.4.2 Éprouvette

Les éprouvettes sont découpées dans un échantillon représentatif du matériau qui est prélevé sur un produit final. Lorsque cela est impossible, l'éprouvette est obtenue en utilisant le même procédé de fabrication et la même épaisseur qui seraient utilisés normalement pour réaliser une partie du produit. La taille de chaque éprouvette est de $75 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de long sur $75 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ de large pour à la fois l'essai avec le produit final et l'essai avec les matériaux. Les épaisseurs préférentielles sont de $0,75 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, $1,5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ et $3,0 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$.

4.3.4.3 Méthode d'essai

La première étape consiste à utiliser un appareil de mesure du flux de chaleur pour déterminer les flux de chaleur incidents générés à plusieurs distances différentes verticalement au-dessus de la flamme. Ils ont des valeurs comprises entre $30 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ et $75 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$.

Les essais sont ensuite réalisés sur les éprouvettes à des niveaux de flux de chaleur qui sont des multiples de $5 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ et qui sont compris entre $30 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$ et $75 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$, de telle manière qu'un des flux de chaleur est le plus élevé auquel le temps moyen d'allumage est supérieur à 120 s.

Pour les besoins de la présente méthode d'essai, l'allumage de l'éprouvette est considéré comme étant une combustion persistante et continue durant au moins 5 s.

4.3.4.4 Répétabilité et reproductibilité

Des essais interlaboratoires (essais comparatifs) ont été réalisés et les résultats seront inclus dans la prochaine édition de l'IEC TS 60695-11-11.

4.3.4.5 Pertinence des résultats d'essai

La présente méthode d'essai consiste à simuler le comportement au feu de produits, d'ensembles ou de matériaux dans les cas de la proximité avec une source de flamme, mais sans contact avec elle. La flamme d'une bougie à côté d'un produit électrotechnique en est un exemple.

Cette méthode d'essai s'est avérée être utile pour étudier l'allumage éventuel d'un produit électrotechnique exposé à un flux de chaleur à partir d'une source d'énergie n'ayant pas d'impact direct sur le produit.

4.4 Essais d'indice d'oxygène

4.4.1 Indice d'oxygène – Essai à la température ambiante, ISO 4589-2 [8]

4.4.1.1 But et principe

L'ISO 4589-2 est utilisée pour déterminer la fraction volumique minimale d'oxygène, mélangé avec l'azote, qui supporte la combustion d'éprouvettes verticales de petite taille dans des conditions d'essai spécifiées. Les résultats, exprimés en pourcentages, sont définis comme les valeurs de l'indice d'oxygène.

4.4.1.2 Éprouvette

Pour les matériaux moulés, les dimensions de l'éprouvette sont comprises entre 80 mm et 150 mm en longueur et sont de 10 mm en largeur et 4 mm en épaisseur. Les dimensions des autres matériaux sont détaillées au Tableau 2 de l'ISO 4589-2:1996.

4.4.1.3 Méthode d'essai

Une éprouvette de petite taille est tenue verticalement dans un mélange d'oxygène et d'azote qui circule de bas en haut à travers une cheminée transparente. L'extrémité supérieure de l'éprouvette est allumée et le comportement en combustion de l'éprouvette est observé pour comparer la durée pendant laquelle la combustion continue ou la longueur d'éprouvette consumée avec les limites spécifiées pour cette combustion. La concentration minimale d'oxygène est estimée pour le comportement en combustion exigé en soumettant à l'essai une série d'éprouvettes à différentes concentrations d'oxygène.

4.4.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Les données sont indiquées en 9.4 et à l'Annexe D de l'ISO 4589-2:1996.

4.4.1.5 Pertinence des résultats d'essai

L'essai de l'indice d'oxygène (oxygen index – OI) à température ambiante a été décrit pour la première fois par Fenimore et Martin [9] en 1966. La première utilisation de cette méthode dans une norme remonte à la norme ASTM D 2863:1970 et depuis elle a été publiée dans de nombreuses normes nationales et internationales. Elle a été publiée sous la référence ISO 4589 en 1984 et a été révisée depuis sous la référence ISO 4589-2. L'essai OI à des températures élevées est décrit dans l'ISO 4589-3 [10] (voir 4.4.2).

Depuis que l'ASTM D 2863 est devenue une norme, un nombre considérable d'articles a été publié sur cet essai. C'est le cas par exemple de la revue de Weil, Hirschler, et al. [11] sur les corrélations avec d'autres essais au feu et sur la pertinence de l'essai dans les feux réels. La conclusion de cette revue a été que les résultats ne se corrélaient pas bien avec d'autres essais au feu ou avec le comportement dans le cas de feux réels.

Le document d'orientation, l'ISO 4589-1, [12] indique:

«Cet essai est utilisé dans le cadre du contrôle qualité des matériaux, en particulier pour vérifier si des ignifugeants ont été incorporés au matériau soumis à l'essai, ainsi qu'en recherche et développement. Pris isolément, cet essai est insuffisant pour évaluer le comportement au feu et il n'est pas recommandé de l'utiliser pour les règlements relatifs au contrôle de la sécurité et à la protection des consommateurs.»

Il indique également, concernant à la fois l'ISO 4589-2 et l'ISO 4589-3:

«Il convient d'insister sur le fait que ces essais de laboratoire à petite échelle ne peuvent être considérés que comme des essais portant sur des matériaux. Ils constituent avant tout une aide dans les programmes de développement, pour le contrôle de la cohérence et/ou pour la présélection des matériaux. **Ils ne doivent pas être considérés comme étant le seul moyen d'évaluer les risques du feu propres à un matériau lors de son utilisation.**»

4.4.2 Indice d'oxygène – Essai à haute température, ISO 4589-3 [10]

4.4.2.1 But et principe

L'ISO 4589-3 est utilisée pour déterminer la fraction volumique minimale d'oxygène, mélangé avec l'azote, qui supporte la combustion d'éprouvettes verticales de petite taille dans des conditions d'essai spécifiées d'une plage de températures normalement comprise entre 25 °C et 150 °C. Les résultats, exprimés en pourcentages, sont définis comme les valeurs de

l'indice d'oxygène à la température d'essai, qui est typique de la température qu'un matériau plastique peut rencontrer en pratique dans une situation de service en cas de surchauffe.

La norme inclut également une méthode pour la détermination de la température à laquelle l'indice d'oxygène des éprouvettes verticales de petite taille dans l'air est de 20,9 dans les conditions d'essai spécifiées. Le résultat est défini comme la température d'inflammabilité et la méthode est limitée à la détermination des résultats inférieurs à 400 °C.

4.4.2.2 Éprouvette

Pour les matériaux moulés, les dimensions de l'éprouvette sont comprises entre 80 mm et 150 mm en longueur et sont de 10 mm en largeur et 4 mm en épaisseur. Les dimensions des autres matériaux sont détaillées au Tableau 2 de l'ISO 4589-2:1996.

4.4.2.3 Méthode d'essai

Une éprouvette de petite taille est tenue verticalement dans un mélange d'oxygène et d'azote qui circule de bas en haut à travers une cheminée transparente à double paroi. La cheminée est équipée d'un élément chauffant adapté à l'utilisation, avec un dispositif de préchauffage pour chauffer le mélange gazeux entrant, pour maintenir l'atmosphère d'essai dans le tube intérieur à proximité de l'éprouvette à la température d'essai désirée. L'extrémité supérieure de l'éprouvette est allumée et le comportement en combustion de l'éprouvette est observé pour comparer la durée pendant laquelle la combustion continue ou la longueur d'éprouvette consumée avec les limites spécifiées pour cette combustion. La concentration minimale d'oxygène est estimée pour le comportement en combustion exigé à la température d'essai choisie en soumettant à l'essai une série d'éprouvettes à différentes concentrations d'oxygène.

Une autre procédure est donnée à l'Annexe A de l'ISO 4589-3:1996 pour le mesurage de la température d'inflammabilité. Dans cette procédure, l'air circule de bas en haut en traversant la cheminée à une température d'essai choisie et le comportement en combustion de l'éprouvette est noté. Un autre essai est ensuite réalisé à une température plus élevée ou plus basse en fonction du comportement en combustion précédemment observé. Cette procédure est répétée jusqu'à ce que la température d'inflammabilité soit établie, par paliers de 5 °C, comme la température la plus basse à laquelle l'éprouvette dépasse au moins un des critères d'essai.

4.4.2.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée de répétabilité n'est disponible actuellement. L'Annexe B de l'ISO 4589-3:1996 résume les résultats interlaboratoires d'un exercice de corrélation conduit au Royaume-Uni en 1986 pour évaluer l'effet de différents types de supports d'éprouvette, à partir desquels des données de reproductibilité peuvent être calculées. Huit laboratoires ont participé à cet exercice.

4.4.2.5 Pertinence des résultats d'essai

Voir 4.4.1.5.

L'essai de température d'inflammabilité identifie un critère de conformité/non-conformité à une température spécifiée et il est largement utilisé pour démontrer un comportement satisfaisant à une température limite. Cette méthode ne convient que pour soumettre à l'essai des qualités de matériaux bien caractérisés. Cependant, il convient de faire preuve d'une grande prudence lors de l'essai de composés inconnus qui présentent un comportement apparemment satisfaisant aux températures supérieures à la température d'inflammabilité. Il est possible que des substances volatiles inflammables aient été entraînées hors de la cheminée pendant la période de conditionnement avant l'allumage prévu, rendant le matériau soumis à l'essai moins inflammable que le matériau vierge.

Inversement, certains matériaux retardateurs de flamme peuvent être mal représentés dans cet essai. Si le retardateur de flamme intervient en dégageant des inhibiteurs de combustion en phase gazeuse (par exemple vapeur d'eau, dioxyde de carbone et halogénures d'antimoine/oxyhalogénures) pendant la pyrolyse du matériau, alors de tels inhibiteurs peuvent être entraînés hors de la cheminée pendant la période de conditionnement avant l'allumage prévu, rendant le matériau soumis à l'essai plus inflammable que le matériau vierge.

4.5 Méthodes d'essai au fil incandescent/chauffant

4.5.1 Essais au fil incandescent, IEC 60695-2-11 [14], IEC 60695-2-12 [15] et IEC 60695-2-13 [16]

4.5.1.1 Essai d'inflammabilité au fil incandescent pour produits finis, IEC 60695-2-11 [14]

4.5.1.1.1 But et principe

Le fil incandescent est constitué par une boucle spécifiée de fil pour résistance qui est électriquement chauffé à une température spécifiée. L'appareillage d'essai est décrit dans l'IEC 60695-2-10 [13].

L'IEC 60695-2-11 a pour objet d'assurer que, dans des conditions définies, le fil incandescent ne cause pas l'inflammation de parties et qu'une partie, si elle s'enflamme, a une durée limitée de combustion sans propagation du feu par les flammes ou par des particules enflammées ou incandescentes tombant de l'éprouvette.

4.5.1.1.2 Éprouvettes

Il convient que l'éprouvette soit un produit final complet choisi de manière à ce que les conditions d'essai ne soient pas significativement différentes de celles qui apparaissent en utilisation normale.

Si l'essai ne peut être effectué avec un produit final complet, il est acceptable de:

- a) couper un morceau du produit qui contient la partie à examiner, ou
- b) pratiquer une ouverture dans le produit final complet pour permettre l'introduction du fil incandescent, ou
- c) extraire entièrement la partie à examiner pour en faire l'essai séparément.

4.5.1.1.3 Méthode d'essai

L'extrémité du fil incandescent chauffé est mise en contact avec une éprouvette pendant une période de temps spécifiée et une série d'observations et de mesurages est effectuée en fonction de la procédure particulière d'essai.

L'extrémité du fil incandescent est appliquée horizontalement sur la partie de l'éprouvette qui est susceptible d'être soumise aux contraintes thermiques en utilisation normale.

4.5.1.1.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée connue n'est disponible.

4.5.1.1.5 Pertinence des résultats d'essai

L'essai identifie un critère de conformité/non-conformité à une température spécifiée par le comité de produit compétent. Cet essai est utilisé par les comités électrotechniques principalement pour s'assurer que les matériaux isolants sont adaptés au contact avec des parties actives ou des connexions électriques qui pourraient surchauffer par suite d'un

défaut. Le but est de s'assurer que l'inflammation possible du matériau isolant ne provoque pas une propagation du feu à partir du produit.

La surchauffe d'une connexion électrique peut provoquer l'inflammation du produit, mais, dès que le courant de défaut est supprimé, un matériau isolant qui a satisfait à l'essai est réputé être auto-extinguible. Par conséquent, bien que le produit puisse être devenu inutilisable, la propagation des flammes est peu probable et l'utilisateur et les biens n'auront pas été menacés par le feu.

Cet essai a été utilisé pendant de nombreuses années comme variante/norme de remplacement de l'IEC 60695-2-3, *Essai de mauvais contact au moyen de fils chauffants*, qui a été supprimée en 2003.

Au cours de l'essai, outre la vérification de l'intégrité du matériau isolant de support, l'opérateur enregistre également si des gouttelettes enflammées ou fondues tombent sur une surface inférieure spécifiée. Dans les produits de grande taille, ceci serait évalué en plaçant sous l'éprouvette un échantillon du matériau qui serait soumis aux gouttelettes en utilisation normale. Si cette couche n'est pas endommagée et contient le matériau fondu, alors l'essai est considéré comme satisfaisant. En l'absence de surface pour collecter les gouttelettes et si elles sont susceptibles de s'échapper du produit (par exemple sur une surface inflammable), alors une feuille normalisée de papier mousseline sur une planche de bois est utilisée.

L'opérateur enregistre aussi si le matériau s'enflamme ou non. Certains comités de produits notent qu'il y a eu inflammation et en déduisent une zone normalisée au-dessus de la zone de la partie active ou de la connexion électrique pour réaliser d'autres essais. Cet essai est connu sous le terme «essai indirect» et il peut être réalisé en utilisant l'essai au brûleur-aiguille (voir 4.6.1).

4.5.1.2 Méthode d'essai d'indice d'inflammabilité au fil incandescent (GWFI) pour matériaux, IEC 60695-2-12 [15]

4.5.1.2.1 But et principe

Le fil incandescent est constitué par une boucle spécifiée de fil pour résistance qui est électriquement chauffé à une température spécifiée. L'appareillage d'essai est décrit dans l'IEC 60695-2-10 [13].

L'IEC 60695-2-12 a pour objet de déterminer l'indice d'inflammabilité au fil incandescent (glow-wire flammability index – GWFI) des matériaux isolants électriques solides et d'autres matériaux solides. Le GWFI correspond à la température la plus élevée à laquelle trois éprouvettes satisfont aux conditions spécifiées.

4.5.1.2.2 Éprouvettes

Les dimensions des éprouvettes sont $\geq 60 \text{ mm} \times \geq 60 \text{ mm} \times$ une valeur préférentielle d'épaisseur. Elles peuvent être fabriquées par moulage par compression ou injection, par coulage ou elles peuvent être découpées sur des feuilles ou des parties des produits finaux.

4.5.1.2.3 Méthode d'essai

L'extrémité du fil incandescent chauffé est mise en contact avec une éprouvette montée verticalement pendant une période de temps spécifiée et une série d'observations et de mesurages est effectuée en fonction de la procédure particulière d'essai.

Le GWFI du matériau en essai est établi par des essais répétés avec différentes températures d'essai du fil incandescent en utilisant une nouvelle éprouvette à chaque fois.

4.5.1.2.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée connue n'est disponible.

4.5.1.2.5 Pertinence des résultats d'essai

Cet essai est un essai de matériaux effectué sur une série d'éprouvettes normalisées. Les données obtenues peuvent ensuite être utilisées dans une démarche de présélection de matériaux afin de juger de leur capacité à satisfaire aux exigences de l'IEC 60695-2-11, la méthode d'essai d'inflammabilité pour les produits finaux par la méthode du fil incandescent. Cette méthode d'essai n'est pas valable pour la détermination de l'inflammabilité, du comportement au feu ou du danger d'incendie de parties entières d'appareils dans la mesure où les dimensions des systèmes isolants ou des parties combustibles, leur conception et la transmission de la chaleur aux parties métalliques ou non métalliques adjacentes, etc. influencent profondément l'inflammabilité des matériaux qui sont utilisés.

L'avantage apporté par une évaluation du danger d'incendie est qu'une série bien choisie d'essais de présélection sur l'inflammabilité et l'allumage peut permettre de réduire les essais sur le produit final (voir l'IEC 60695-1-30).

4.5.1.3 Méthode d'essai de la température d'allumabilité au fil incandescent (GWIT) pour matériaux, IEC 60695-2-13 [16]

4.5.1.3.1 But et principe

Le fil incandescent est constitué par une boucle spécifiée de fil pour résistance qui est électriquement chauffé à une température spécifiée. L'appareillage d'essai est décrit dans l'IEC 60695-2-10 [13].

L'IEC 60695-2-13 a pour objet de déterminer l'indice d'allumabilité au fil incandescent (glow-wire ignitability index – GWIT) des matériaux isolants électriques solides et d'autres matériaux solides. Le GWIT est la température minimale à laquelle l'allumage intervient.

4.5.1.3.2 Éprouvettes

Les dimensions des éprouvettes sont $\geq 60 \text{ mm} \times \geq 60 \text{ mm} \times$ une valeur préférentielle d'épaisseur. Elles peuvent être fabriquées par moulage par compression ou injection, par coulage ou elles peuvent être découpées sur des feuilles ou des parties des produits finaux.

4.5.1.3.3 Méthode d'essai

L'extrémité du fil incandescent chauffé est mise en contact avec une éprouvette montée verticalement pendant une période de temps spécifiée et une série d'observations et de mesurages est effectuée en fonction de la procédure particulière d'essai.

Le GWIT du matériau en essai est établi par des essais répétés avec différentes températures d'essai du fil incandescent en utilisant une nouvelle éprouvette à chaque fois.

4.5.1.3.4 Répétabilité et reproductibilité

Aucune donnée connue n'est disponible.

4.5.1.3.5 Pertinence des résultats d'essai

Cet essai est un essai de matériaux effectué sur une série d'éprouvettes normalisées. Les données obtenues peuvent ensuite être utilisées dans une démarche de présélection de matériaux afin de juger de leur capacité à satisfaire aux exigences de l'IEC 60695-2-11, la méthode d'essai d'inflammabilité pour les produits finaux par la méthode du fil incandescent. Cette méthode d'essai n'est pas valable pour la détermination de l'allumabilité, du