

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc –
Part 1-1: Test methods – Method 1: Determination of the arc rating (ELIM, ATPV
and/or EBT) of clothing materials and of protective clothing using an open arc**

**Travaux sous tension – Vêtements de protection contre les dangers thermiques
d'un arc électrique –**

**Partie 1-1: Méthodes d'essai – Méthode 1: Détermination de la valeur assignée
d'arc (ELIM, ATPV et/ou EBT) des matériaux pour vêtements et des vêtements de
protection utilisant un arc ouvert**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 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
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 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.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc –
Part 1-1: Test methods – Method 1: Determination of the arc rating (ELIM, ATPV
and/or EBT) of clothing materials and of protective clothing using an open arc**

**Travaux sous tension – Vêtements de protection contre les dangers thermiques
d'un arc électrique –**

**Partie 1-1: Méthodes d'essai – Méthode 1: Détermination de la valeur assignée
d'arc (ELIM, ATPV et/ou EBT) des matériaux pour vêtements et des vêtements de
protection utilisant un arc ouvert**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 13.220.40; 29.260.99

ISBN 978-2-8322-6921-3

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.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions, symbols and units	8
3.1 Terms and definitions.....	8
3.2 Symbols and units.....	13
4 Principle of test procedures A and B	13
4.1 Procedure A – <i>Material open arc</i> test procedure	13
4.2 Procedure B – <i>Garment open arc</i> test procedure.....	14
5 Significance and use of the test procedures A and B	14
5.1 General.....	14
5.2 Procedure A – <i>Material open arc</i> test procedure	15
5.3 Procedure B – <i>Garment open arc</i> test procedure.....	15
6 Test apparatus	15
6.1 General.....	15
6.2 Calorimetric <i>sensors</i>	15
6.2.1 <i>Calorimeter</i> construction	15
6.2.2 Panel <i>sensor</i> construction.....	17
6.2.3 Monitor <i>sensor</i> construction and positioning	19
6.3 Panel construction	20
6.4 Mannequin construction	22
6.5 Arrangement of panels and monitor <i>sensors</i> for testing according to Procedure A.....	23
6.6 Arrangement of mannequin(s) and monitor <i>sensors</i> for testing according to Procedure B.....	24
6.7 Supply bus and electrodes.....	28
6.7.1 General	28
6.7.2 Structural cage arrangement.....	28
6.7.3 Electrodes	30
6.7.4 Fuse wire.....	30
6.8 Electric supply	30
6.9 Test-circuit control	31
6.10 Data acquisition and data processing system.....	31
6.10.1 General	31
6.10.2 Data acquisition.....	31
6.10.3 Signal synchronization.....	32
7 Operator safety.....	32
8 Specimen preparation.....	33
8.1 Description of the test specimens	33
8.1.1 Test specimens for Procedure A	33
8.1.2 Test specimens for Procedure B	33
8.2 Pre-treatment of test specimens by cleaning.....	34
8.3 Pre-conditioning of the test specimens.....	34
9 Calibration and verification	34
9.1 Data acquisition system pre-calibration.....	34
9.2 Verification of <i>calorimeters</i>	34

9.3	Arc exposure and apparatus verification for the two- <i>sensor</i> panels and the monitoring <i>sensors</i>	35
9.3.1	Set-up of electrodes and fuse wire.....	35
9.3.2	Positioning of the two- <i>sensor</i> panels, mannequins and monitor <i>sensors</i>	35
9.3.3	Verification <i>bare shot</i>	35
9.3.4	Verification <i>bare shot</i> test protocol.....	36
10	Test apparatus care and maintenance	36
10.1	Surface reconditioning	36
10.2	Care of panels, mannequins and <i>sensors</i>	37
10.3	Care of electrodes	37
11	Test procedures	37
11.1	Procedure A – testing with panels.....	37
11.1.1	Test parameter and settings	37
11.1.2	Sequence of tests with test specimens of <i>material</i> or <i>material assembly</i>	37
11.1.3	Criteria for set of data obtained from iterative process of <i>test shots</i>	38
11.2	Procedure B – testing with mannequins	39
11.2.1	Test parameters and settings.....	39
11.2.2	Single test or sequence of tests with test specimen(s) of <i>garment</i> or <i>garment assembly</i>	39
11.3	Air ventilation and initial temperature of <i>sensors</i>	40
11.4	Specimen mounting	40
11.4.1	Procedure A – testing with panels.....	40
11.4.2	Procedure B – testing with mannequins	40
11.5	Specimen description.....	42
11.6	Test protocol.....	42
12	Test results	43
12.1	Heat calculation	43
12.1.1	General	43
12.1.2	Copper heat capacity.....	43
12.1.3	Incident and transmitted energy.....	43
12.1.4	Panel <i>sensor</i> response (transmitted energy (E_t) comparison with <i>Stoll</i> curve).....	44
12.1.5	Monitor <i>sensor</i> responses (<i>incident energy</i> (E_i))	45
12.2	Determination of <i>arc thermal performance value</i> (<i>ATPV</i>).....	46
12.3	Determination of <i>breakopen threshold energy</i> (<i>EBT</i>).....	46
12.4	Determination of the <i>incident energy limit</i> (<i>ELIM</i>)	47
12.5	Visual inspection.....	47
12.6	<i>Arc rating</i>	49
12.6.1	<i>Arc rating</i> of a <i>material</i> or <i>material assembly</i>	49
12.6.2	<i>Arc rating</i> of a <i>garment</i> or <i>garment assembly</i>	49
13	Test report.....	50
13.1	Reporting requirements common for tests according to Procedures A and B	50
13.2	Reporting requirements specific for tests according to Procedure A	51
13.3	Reporting requirements specific for tests according to Procedure B	52
Annex A (informative)	Logistic regression technique	54
Annex B (informative)	95 % confidence intervals of <i>ATPV</i> and <i>EBT</i>	56
Annex C (informative)	Iterative process of <i>test shots</i> of Procedure A	60
Annex D (informative)	Example <i>materials</i> for insulating and mounting boards	61

D.1	General.....	61
D.2	<i>Materials</i> for use as thermally insulating mounting board (6.2)	61
D.3	<i>Materials</i> for use as mounting board, but not sufficiently thermally insulating for use as insulating board (6.3).....	62
Annex E (informative) Recommended provisions for use of the test method for accident replication and for research		63
Bibliography.....		64
Figure 1	– Example of <i>calorimeter</i> construction.....	17
Figure 2	– Example of the panel <i>sensor</i> construction	18
Figure 3	– Example of monitor <i>sensor</i> construction, with optional cover plate	19
Figure 4	– Panel	21
Figure 5	– Example of <i>material</i> clamping assembly of a panel	22
Figure 6	– Arrangement of three two- <i>sensor</i> panels with monitoring <i>sensors</i> (top view) for testing according to Procedure A	24
Figure 7	– Relative positioning of arc electrodes and of mannequin(s) and monitor <i>sensors</i> for testing according to Procedure B	25
Figure 8	– Examples of mannequin configuration	27
Figure 9	– Example of cage arrangement (supply bus, bus tubes and arc electrodes) shown together with three panels for testing according to Procedure A (monitor <i>sensors</i> are not shown).....	29
Figure 10	– Relative positioning of cage arrangement (supply bus, bus tubes and arc electrodes) and of one torso mannequin and its monitor <i>sensors</i> for testing according to Procedure B.....	30
Figure 11	– Typical average transmitted energy curves $Q_{t,avg}$ (i.e. average response of the two <i>sensors</i> of same panel) for test specimens	45
Figure B.1	– Probability density function (PDF)	56
Figure B.2	– Cumulative density (CDF)	57
Figure B.3	– Graph with probability, lower and upper limits	59
Table 1	– Positioning of monitor <i>sensors</i> depending on <i>incident energy</i> exposure.....	20
Table 2	– Reporting requirements and rating of visual inspection performance in case of testing clothing <i>material</i> (s) according to Procedure A and <i>garment</i> (s) or an assembly of <i>garments</i> according to Procedure B.....	47
Table 3	– Visual assessment criteria in case of testing <i>garment</i> (s) or a <i>garment</i> <i>assembly</i> according to Procedure B	50
Table B.1	– Example of <i>incident energy</i> X and binary response Y (fulfillment of Stoll criteria) for 21 <i>test shots</i>	58

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**LIVE WORKING –
PROTECTIVE CLOTHING AGAINST
THE THERMAL HAZARDS OF AN ELECTRIC ARC –****Part 1-1: Test methods –
Method 1: Determination of the arc rating (ELIM, ATPV and/or EBT)
of clothing materials and of protective clothing using an open arc****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 61482-1-1 has been prepared by IEC technical committee 78: Live working.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2009. This edition constitutes a technical revision.

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

- addition of the *Incident energy limit (ELIM)* as a further *arc rating* performance property value;
- replacement of char length requirement in the scope by indication that Procedure A is applicable for testing of *materials* meeting the limited flame spread requirements of IEC 61482-2;

- clarification of the definition and the meaning of the *Stoll curve*;
- modification of specification of positioning of *monitor sensors* with respect to the *electric arc* as function of intended high *incident energy* exposure of test specimens;
- modification of specifications of *monitor sensor* construction;
- specification of black paint;
- elimination of *calorimeters* from the chest of the mannequin;
- specification for possible positioning of mannequin(s) at a height different from the centre of the *electric arc* and possible turning in order to adequately expose all parts of the *garment* or clothing which would affect performance;
- more explicit description of requirements for data acquisition system;
- preconditioning of the samples;
- modification of requirements for apparatus and arc exposure verification by *bare shots*;
- more explicit description of test procedures A and B, in particular the subclauses dealing with “sequence of test”, “test parameter” and “test criteria”;
- addition of determination of *arc rating* values of *garments* and/or *garment* assemblies.

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

FDIS	Report on voting
78/1256/FDIS	78/1262/RVD

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

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

In this standard terms defined in Clause 3 appear in *italics*.

A list of all parts in the IEC 61482 series, published under the general title *Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc*, can be found on the IEC website.

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

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

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

LIVE WORKING – PROTECTIVE CLOTHING AGAINST THE THERMAL HAZARDS OF AN ELECTRIC ARC –

Part 1-1: Test methods – Method 1: Determination of the arc rating (ELIM, ATPV and/or EBT) of clothing materials and of protective clothing using an open arc

1 Scope

This part of IEC 61482 specifies test method procedures to determine the *arc rating of flame resistant clothing materials and garments or assemblies of garments* intended for use in clothing for workers if there is an *electric arc* hazard.

An *open arc* under controlled laboratory conditions is used to determine the values of *ELIM*, *ATPV* or *EBT* of *materials*, *garments* or assemblies of *garments*.

NOTE 1 The user can, if he desires, classify the arc protective performance into *arc rating* protection levels based on *ELIM*, *ATPV* and/or *EBT* values which correspond best to the different hazard and risks levels that can result from the user's risk analysis.

NOTE 2 This document is not dedicated to classifying the arc protective performance of the *material* and clothing into arc protection classes. Procedures determining these arc protection classes APC1 and APC2 are specified in IEC 61482-1-2, which uses a constrained arc for testing.

NOTE 3 This test method is not intended and not appropriate to evaluate whether *materials* or *garments* are *flame resistant* or not, as this is covered in IEC 61482-2.

Other effects than the thermal effects of an *electric arc* like noise, light emissions, pressure rise, hot oil, electric shock, the consequences of physical and mental shock or toxic influences are not covered by this document.

Protective clothing for work intentionally using an *electric arc*, e.g. arc welding, plasma torch, is not covered by this document.

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 60584-1, *Thermocouples – Part 1: EMF specifications and tolerances*

IEC 61482-2:2018, *Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc – Part 2: Requirements*

ISO/IEC 17025:2017, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

ISO/TR 11610, *Protective clothing – Vocabulary*

ISO 11612:2015, *Protective clothing – Clothing to protect against heat and flame – Minimum performance requirements*

3 Terms, definitions, symbols and units

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in ISO/TR 11610 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>

3.1.1

ablation

<electric arc testing> *material response* evidenced by formation of one or more openings in one or several outer layers, but not in all layers of a *material assembly specimen*

Note 1 to entry: for the use of this document the opening is defined as follows:

- a) with an opening in the layer of at least 1 600 mm² in area or at least 80 mm in any planar direction,
- b) with one or several individual threads across an opening not reducing the size of the opening.

3.1.2

arc duration

time duration of the arc

Note 1 to entry: *Arc duration* is expressed in milliseconds (ms).

3.1.3

arc energy

W_{arc}

<electric arc testing> electrical energy supplied to the arc and converted in the arc

Note 1 to entry: *Arc energy* is calculated as the sum of the instantaneous *arc voltage* values multiplied by the instantaneous *arc current* values multiplied by the incremental time values during the *arc duration*.

Note 2 to entry: *Arc energy* is expressed in kilojoules (kJ).

3.1.4

arc gap

distance between the arc electrodes

Note 1 to entry: *Arc gap* is expressed in millimetres (mm).

3.1.5

arc rating

<electric arc testing> numerical value attributed to a product, that describes its protective performance when tested in accordance with the *open arc* test

Note 1 to entry: The arc rating can be the arc thermal performance value (*ATPV*), the breakopen threshold energy (*EBT*) or the incident energy limit (*ELIM*).

Note 2 to entry: The arc rating values are expressed in kJ/m² (cal/cm²).

3.1.6

arc thermal performance value

ATPV

<electric arc testing> numerical value of *incident energy* attributed to a product that describes its thermal properties of attenuating (reducing) a *heat flux* generated by an *electric arc*

Note 1 to entry: The *ATPV* of a *material* or *material assembly* is calculated using logistic regression analysis applied to the data points obtained from testing a set of test specimens. It is the value of *incident energy* at which the heat transfer through the test specimens is enough to reach the Stoll criteria with 50 % probability.

Note 2 to entry: The *ATPV* attributed to a *garment* or *garment assembly* is either equal to or lower than the *ATPV* of the *material* or *material assembly* of which it is made, depending on whether the tested specimen(s) fulfil also additional visual design and performance assessment criteria.

3.1.7

arc voltage

voltage across the arc

Note 1 to entry: *Arc voltage* is expressed in volts (V).

3.1.8

bare shot

<electric arc testing> *electric arc* event during which panels or mannequins are bare, i.e. they are not covered by test specimens

3.1.9

breakopen

<electric arc testing> *material response* evidenced by the formation of an opening in the *material* specimen

Note 1 to entry: For the use of this document the opening is defined as follows:

- a) with a size of at least 300 mm² in area or at least 25 mm in any planar direction,
- b) with one or several individual threads across an opening not reducing the size of the opening.

Note 2 to entry: A *material assembly* specimen is considered to exhibit *breakopen* when all layers show formation of one or more openings.

Note 3 to entry: *Shrink-open* is considered as a particular form of *breakopen*.

3.1.10

breakopen threshold energy

EBT

<electric arc testing> numerical value of *incident energy* attributed to product (*material* or clothing) that describes its *breakopen* properties when exposed to *heat energy* generated by an *electric arc*

Note 1 to entry: The *EBT* of a *material* or *material assembly* is calculated using logistic regression analysis applied to the data points obtained from testing a set of test specimens. It is the value of *incident energy* at which *breakopen* occurs with 50 % probability.

Note 2 to entry: The *EBT* attributed to a *garment* or *garment assembly* is either equal to or lower than the *EBT* of the *material* or *material assembly* of which it is made, depending on whether the tested specimen(s) fulfil also additional visual design and performance assessment criteria.

3.1.11

burning time

afterflame time

time for which a flaming of the test specimen is visible after the end of the *electric arc duration*

Note 1 to entry: *Burning time* is expressed in seconds (s).

3.1.12

calorimeter

assembly of a copper disc with attached thermocouple, used for measuring the *heat energy* and *incident energy*

3.1.13
calorimetric sensor
sensor

assembly of a *calorimeter* and a non-conductive heat resistant *material*, in which the *calorimeter* is mounted

Note 1 to entry: The term *sensor* is used in this document to mean *calorimetric sensor*.

3.1.14
charring

material response evidenced by formation of carbonaceous residue as the result of pyrolysis or incomplete combustion

3.1.15
dripping

material response evidenced by formation of polymer droplets that fall from the *material* or *garment*

3.1.16
electric arc

self-maintained gas conduction for which most of the charge carriers are electrons supplied by primary-electron emission

Note 1 to entry: During live working, the *electric arc* is generated by gas ionization arising from an unintentional electrical conducting connection or breakdown between live parts or a live part and the earth path of an electrical installation or an electrical device. During testing, the *electric arc* is initiated by the blowing of a fuse wire.

[SOURCE: IEC 60050-121:1998, 121-13-12, modified – Note 1 to entry has been added to refer specifically to live working and arc testing.]

3.1.17
embrittlement

formation of a brittle residue as the result of pyrolysis or incomplete combustion

3.1.18
flame resistant

<*electric arc* testing> property evidenced by clothing *materials* which meet the limited flame spread requirements of IEC 61482-2

3.1.19
garment

single item of clothing which may consist of single or multiple layers of *materials*

3.1.20
garment assembly
assembly of garments

clothing consisting of two or more *garments* worn together, which may individually cover different parts of the wearer's body and/or which may be worn fully or partially on top of each other

Note 1 to entry: For example, *garment assembly* can be a combination of jacket and trousers, combination of shirt, trousers and jacket or overcoat which have been designed in such a way as to fit together.

3.1.21
heat flux

q
<*electric arc* testing> thermal intensity transmitted by an *electric arc* indicated by the amount of heat energy transfer per unit surface area and time

3.1.22**ignition**

initiation of flaming and combustion

3.1.23**incident energy**

E_i

<electric arc testing> heat energy Q resulting from an *electric arc*, received at a unit surface area at a specified distance from the *electric arc*

3.1.24**incident energy limit**

ELIM

<electric arc testing> numerical value of *incident energy* attributed to a product (*material* or clothing), below which value all product responses are below the *Stoll curve* and without *breakopen*

Note 1 to entry: The *ELIM* of a *material* or *material assembly* is calculated from data points obtained from testing a set of test specimens, which are also used for the determination of the *ATPV* and/or *EBT*.

Note 2 to entry: The *ELIM* attributed to a *garment* or *garment assembly* is either equal to or lower than the *ELIM* of the *material* or *material assembly* of which it is made, depending on whether the tested specimen(s) fulfil also additional visual design and performance assessment criteria.

3.1.25**material**

substances, excluding hardware, of which an item of clothing is made

3.1.26**material assembly**

assembly of *materials*, which is representative for the build-up of layers of a *garment* or *garment assembly*

Note 1 to entry: The *arc rating* of a *material assembly* of which an *assembly of garments* worn on top of each other is made, cannot be determined from the *arc rating* of each *material*, of which the individual *garments* are made but can only be determined by testing of *material assembly* specimens representative for the *garment assembly*.

3.1.27**material response**

reaction of the *material* to an *electric arc* characterised by *ignition*, *burning time (afterflame time)*, *breakopen*, *melting*, *dripping*, *shrinkage*, etc.

3.1.28**melting**

material response evidenced by softening and deformation

Note 1 to entry: *Materials* which melt are normally polymers.

3.1.29**mix zone**

<electric arc testing> range of measured *incident energies* (the independent variable X), in which a binary response (i.e. either the value "0" or "1") (the dependent variable Y) is attributed to a studied parameter of the measured *material response* or to a combination of several studied parameters

Note 1 to entry: A *mix zone* of a data point distribution is established when the highest *incident energy* with binary response "0" is greater than the lowest *incident energy* with binary response "1". The *mix zone* of a data point distribution is empty when the highest *incident energy* with a binary response "0" is lower than the lowest *incident energy* with a binary response "1".

Note 2 to entry: For the *material response* parameters studied for the determination of the *ATPV*, see 11.1.3.1 and 12.2.

Note 3 to entry: For the *material response* parameters studied for the determination of the *EBT*, see 11.1.3.2 and 12.3.

Note 4 to entry: For the *material response* parameters studied for the determination of the *ELIM*, see 11.1.3.3 and 12.4.

3.1.30

monitor sensor

<electric arc testing> *calorimetric sensor* mounted on each side of the panel or mannequin, not covered by a test specimen and used to measure *incident energy* at a specified distance from the *electric arc*

3.1.31

open arc

<electric arc testing> *electric arc* between two vertically opposing electrodes intended to provide an equal distribution of emitted energy around the centreline formed by the electrodes and where the emitted energy is not directed by means of any physical constraints (e.g. enclosure, wall)

[SOURCE: IEC 61482-2:2018, 3.1.13]

3.1.32

panel sensor

<electric arc testing> *calorimetric sensor* mounted in the panel, which, when covered by test specimen, is used to measure energy transmitted through a test specimen

3.1.33

protective clothing

clothing which covers or replaces personal clothing, and which is designed to provide protection against one or more hazards

[SOURCE: ISO 13688:2013, 3.5, modified – The definition has been modified to clarify by removing the unclear term “protector”]

3.1.34

shrinkage

material response evidenced by reduction in specimen size

3.1.35

shrink-open

<electric arc testing> *material response* caused by excessive *shrinkage* with the result that the test specimen dislodging from the clamping and exposing the panel

Note 1 to entry: *Shrink-open* is considered as a particular form of *breakopen*.

3.1.36

Stoll curve

empirical predicted second-degree skin burn-injury model

Note 1 to entry: *Stoll curve* defines a relationship between the absorbed energy rate and the human skin tolerance time.

Note 2 to entry: See Stoll, A.M. and Chianta, M.A. Method and rating system for evaluation of thermal protection.

3.1.37

test shot

<electric arc testing> *electric arc* event during which one or more test specimens are mounted on the specimen support(s) of the test apparatus, with the specimen(s) covering some or all *sensors* except *monitor sensors* and being exposed to the effects of the *electric arc*

3.1.38***X/R ratio***

ratio of system inductive reactance to resistance

Note 1 to entry: The *X/R ratio* is proportional to the *L/R ratio* of time constant, and is, therefore, indicative of the rate of decay of any DC offset. A large *X/R ratio* corresponds to a large time constant and a slow rate of decay.

3.2 Symbols and units

<i>ATPV</i>	<i>arc thermal performance value</i>	kJ/m^2 (cal/cm^2)
C_p	heat capacity	$\text{J/g } ^\circ\text{C}$
<i>EBT</i>	<i>breakopen threshold energy</i>	kJ/m^2 (cal/cm^2)
E_i	<i>incident energy</i>	kJ/m^2
E_t	transmitted energy	kJ/m^2
<i>ELIM</i>	<i>incident energy limit</i>	kJ/m^2 (cal/cm^2)
Q	heat energy	kJ/m^2
q	<i>heat flux</i>	kW/m^2
T	temperature	K
t	time	s
t_0	arc initiation time	s

NOTE

$$1 \text{ kJ/m}^2 = 1 \text{ kW} \cdot \text{s/m}^2 = 0,1 \text{ J/cm}^2 = 0,0239006 \text{ cal/cm}^2$$

$$1 \text{ cal/cm}^2 = 41,840 \text{ kJ/m}^2 = 41,840 \text{ kW} \cdot \text{s/m}^2$$

4 Principle of test procedures A and B**4.1 Procedure A – Material open arc test procedure**

Procedure A specified in this document is used to determine the *arc rating* of a *material* or *material assembly*, expressed by the value of *ATPV* or *EBT*, whichever is the lower one, or expressed by the value of the *ELIM* if specified by the person requesting testing, that the *arc rating* shall be expressed by the *ELIM*. The *ATPV*, *EBT* and *ELIM* are determined by comparing the amount of heat transmitted through the specimen(s) with Stoll criteria and the possible observation of *breakopen* when exposed to various levels of *incident energy* measured by the *monitor sensors*.

The test specimens used in this procedure are in the form of flat specimens of *material* or of *material assembly*, mounted on test panels.

The *arc rating* of a *material assembly* of which an *assembly of garments* worn on top of each other is made cannot be determined from the *arc rating* of each *material* or *material assembly* of which the individual *garments* are made, but can only be determined by testing of a *material assembly* specimen representative of the *garment assembly*.

During the tests, the amount of heat energy transmitted through the *material* or *material assembly* is measured during and after exposure to an *electric arc*.

During each single arc exposure test (i.e. during each single *test shot*), the *heat energy* of the exposure and that transferred through the test specimen(s) are both measured with copper *calorimeter sensors*. The change in temperature versus time is used, along with the known

thermo-physical properties of copper, to determine the respective heat energies delivered to and through the specimens.

Material response shall be further described by recording the observed effects of the *electric arc* exposure on the specimens and using the terms given in 3.1.27.

4.2 Procedure B – *Garment open arc test procedure*

Procedure B specified in this document is used to assign the *arc rating* to an item of clothing. The *arc rating* is based on the *arc rating* of the *garment material* as determined by Procedure A and assigned by evaluation of design and performance of the clothing (consisting of one *garment* or an *assembly of garments*). This procedure consists of exposing the clothing to an *open arc*, causing an *incident energy* onto the outer surface of the clothing approximately equal to or greater than (see 11.2) the *arc rating*, determined according to Procedure A, of the *material* or the total assembly of *materials* of which the clothing is made. The *garment* or *garment assembly* shall be evaluated with findings, pockets and closures positioned as manufactured and fastened according to the manufacturer's use instructions; the tested specimen of the *garment* or *garment assembly* shall fulfil the visual assessment criteria (see 12.6.2, Table 3). In this case, the *arc rating* of the *material* or *material assembly* can be attributed to the clothing as its *arc rating* (see 11.2.2).

If a specimen of *garment* or *garment assembly*, tested at a given level of *incident energy*, does not fulfil the visual criteria for the assessment of the design and performance (see 12.6.2, Table 3), this value of *incident energy* cannot be attributed to the clothing as its *arc rating*.

However, one may test one or several further specimens of the *garment* or *garment assembly* at reduced *incident energy*/energies. If a specimen of the *garment* or *garment assembly* tested at a reduced *incident energy* and also all specimens eventually tested at even lower *incident energies* fulfil the visual assessment criteria (see 12.6.2, Table 3), this value of reduced *incident energy* may be attributed to the *garment* or *garment assembly* as its *arc rating* (see 11.2.2).

The test ordering party may deliberately specify an *incident energy* value, which may be (considerably) lower than the *arc rating* of the *material* or *material assembly*, and may require that it be tested, to determine if this specified value can be attributed to the clothing as its *arc rating*. In this case, testing may deliberately be carried out only at incident exposure energy (considerably) lower than the *arc rating* of the *material* or *material assembly*.

The test specimens used in this procedure are in the form of *garments* or *assembly of garments* mounted on test mannequins.

5 Significance and use of the test procedures A and B

5.1 General

The test procedures A and B are used to determine the *arc rating* of *flame resistant* clothing *materials* and clothing used for electrotechnical work if there is an *electric arc*.

The test procedures maintain the specimen in a static vertical position and do not involve movement, except that resulting from the exposure.

IMPORTANT – This test method and the procedures are not intended and not appropriate to evaluate whether *materials* or *garments* are *flame resistant*.

NOTE The test procedures specify standard exposure conditions. Different exposure conditions can produce different test results.

5.2 Procedure A – Material open arc test procedure

Procedure A specified in this document is used for the determination of the *incident energy limit (ELIM)*, the *arc thermal performance value (ATPV)* and/or the *breakopen threshold energy (EBT)*, of a *material* or a *material assembly*.

Because of the variability of the arc exposure and fabric construction, different values of transferred heat energy may be measured by the *sensors* covered by test specimens when exposed to an *electric arc*. The heat transfer measurement results for a sufficiently large number of test specimens (at least 20 test specimens) is statistically analysed in accordance with Clause 12.

5.3 Procedure B – Garment open arc test procedure

Procedure B specified in this document is usually used for evaluation of *protective clothing* design and the determination of the *arc rating* of the clothing, when the *material* or *material assembly* of the clothing, i.e. of a *garment* or *assembly of garments*, has first been tested and its *arc rating* determined following Procedure A.

The *arc rating* of clothing is either equal to or lower than the *arc rating* of the *material* or of the total *material assembly*, or no *arc rating* can be attributed to the clothing, depending on whether the visual assessment criteria for *garments* and *garment assemblies* are fulfilled.

6 Test apparatus

6.1 General

The test apparatus shall consist of the following elements:

- supply bus;
- arc controller;
- recorder or data acquisition system;
- arc electrodes;
- three specimen supports around the centre line of the *electric arc*, of which one to three can be panels (used for Procedure A) or one to three can be mannequins (used for Procedure B). For Procedure A all three positions shall be occupied by a panel. For Procedure A it is not permissible to replace panels made of different shape or of different *materials* during a sequence of *test shots*, because such alterations may change the heat distribution;
- two *monitor sensors* for each panel or for each mannequin, one to the left and one to the right side of each panel or mannequin.

6.2 Calorimetric sensors

6.2.1 Calorimeter construction

The *calorimeters* shall be constructed from electrical grade copper with one thermocouple wire installed in the arrangement as shown in Figure 1 a).

An example of securing the thermocouple mechanically in the copper disc is shown in Figure 1 b). Soldering of the thermocouple into the disc is not allowed.

The copper discs and the filler, if used, shall be electrical grade copper with a purity greater than 99,90 %, IACS grade C110 (UNS11000). The copper discs shall have thickness of 1,6 mm $\pm$ 0,1 mm, a diameter of 40,0 mm $\pm$ 0,1 mm and a mass of 18 g $\pm$ 1 g. There shall be a hole in the centre of the copper disc, with a depth of 1,3 mm $\pm$ 0,1 mm and with a diameter of 1,2 mm $\pm$ 0,3 mm.

NOTE 1 The IACS (International Annealed Copper Standard) grade gives the level of the electrical conductivity of the copper.

The mass of each disc shall be determined to a precision of $\pm 0,05$ g and the diameter and thickness shall be determined to a precision of $\pm 0,03$ mm. For the calculations of each *sensor* response according to 12.1.2, Formula (3), the actual diameter (for the area calculation) and mass values of each individual disc shall be used. If average values for all *calorimeters* are used for calculations, their mass/area ratio shall be within $\pm 0,008$ g/cm² of their mean value.

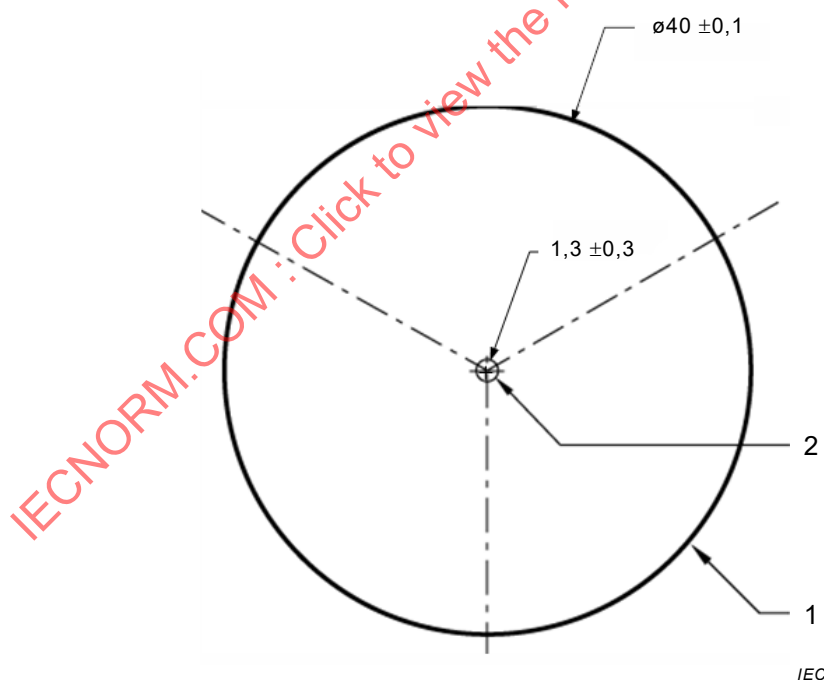
NOTE 2 Selecting copper discs for the *calorimeters* using the “average value” for the mass/area ratio [Formula (3)] can ease the operation and the replacement of *calorimeters*.

The thermocouples shall be an exposed bead Type K (NiCr – NiAl), having a cross-section area of 0,05 mm² (N° 30 AWG) but never larger, or equivalent, according to IEC 60584-1. The thermocouple wire shall be installed in the *calorimeter* as shown in Figure 1 b). Inside the hole of the copper disc, the thermocouple wires – having an outer diameter of 0,5 mm after removal of insulation, i.e. two times the single-wire diameter of 0,254 mm – shall be bare for the whole length inside the hole in the copper disc and the thermocouple wires shall be in full contact between themselves and with the surrounding copper disc, if necessary with the help of copper filler added into the hole. The thermocouple wires shall be separated (e.g. by help of fine tool) immediately upon exiting the copper disc.

NOTE 3 A visual magnifier can be used for verification that the copper wires are properly separated at the back of the copper disc and the wires have not been damaged.

NOTE 4 Each thermocouple wire exiting the copper disc is typically bare for some short distance after having exited the hole of the disc.

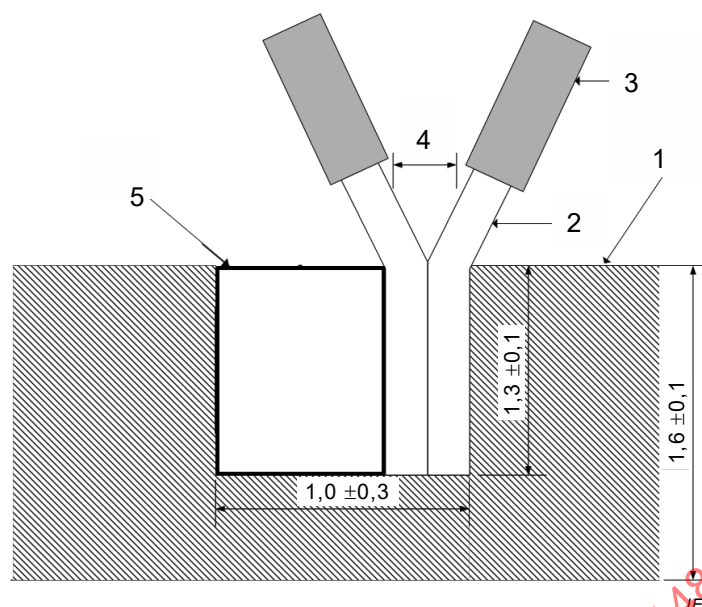
Dimensions in millimetres



Key

- 1 copper disc
- 2 thermocouple location

a) Position for installation of the thermocouple in the back side of copper disc



Key

- 1 copper disc
- 2 bare part of thermocouple wire
- 3 insulation of thermocouple wire
- 4 separation of thermocouple at the surface of the copper disc
- 5 filler to secure and maintain full contact of the thermocouple

b) Thermocouple wire installation – Details of hole and method of securing thermocouple

Figure 1 – Example of calorimeter construction

6.2.2 Panel sensor construction

The panel *sensor* is a *calorimetric sensor* constructed from a *calorimeter* mounted into a surrounding insulating board with specific physical properties (Figure 2). The insulating board shall surround the copper disc by at least 5 mm in all directions.

NOTE 1 In *calorimetric sensors* according to, for example, ISO 9151, the copper disc is surrounded by a ring of insulating board with an outer diameter of 89 mm. Another typical solution is to embed the copper disc into a quadratic insulating board of 130 mm × 130 mm.

The insulating board shall have the following physical properties.

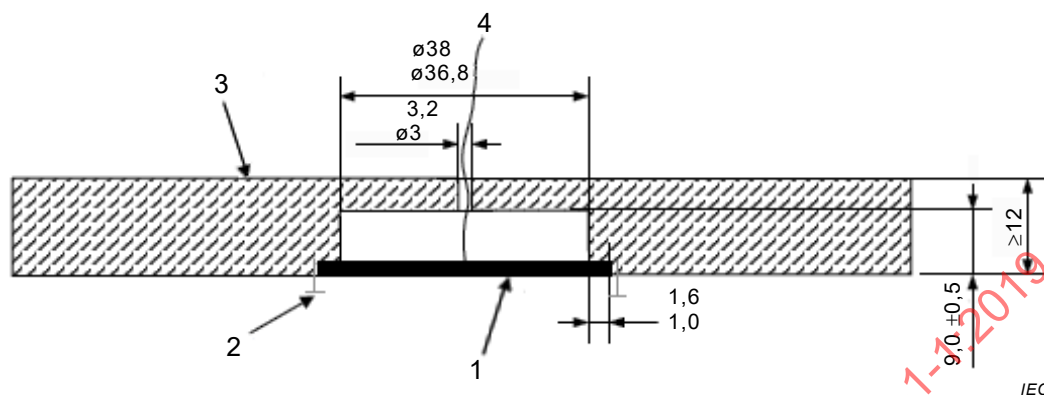
- It shall be a piece of asbestos-free non-combustible heat insulating board.
- It shall have a permissible operating temperature of at least up to 760 °C.
- The thermal conductivity shall be less than or equal to 0,20 W/(m·K) at temperatures up to 500 °C.

For practical reasons, because of the brittle nature of insulating board, a thickness of at least 12 mm has been found sufficient for mechanical rigidity.

Alternatively, the copper disc of the *calorimeter* may be installed directly into the front board of the panel (see Figure 4), if the front board is made of an insulating *material* which meets the physical property requirements for the insulating board used for a *calorimetric sensor*.

NOTE 2 An example of an insulating board *material* is a calcium silicate insulating *material*, e.g. Marinite® Grade P, Grade C or Grade I&M, or Monolux® 500 ¹. For further information about suitable *materials* see Annex D.

Dimensions in millimetres



Key

- | | | | |
|---|-------------|---|--|
| 1 | calorimeter | 3 | insulating board |
| 2 | steel pin | 4 | thermocouple signal wire to data acquisition |

The disc shall be held in place by at least three pins along the circumference of the disc

Figure 2 – Example of the panel sensor construction

A circular cavity is machined in the front board to accommodate the copper disc, so that the surface of the copper disc will be flush with the surface of the mounting board. The cavity, when new, shall have a diameter which provides friction fit of the copper disc. The supporting shoulder shall be equal to or greater than 1,0 mm, but not be more than 1,6 mm, i.e. the inner diameter shall be not less than 36,8 mm and not greater than 38 mm.

NOTE 3 “Friction fit” means that when the disc has been put in place and then the front board turned upside down, the disc will not fall out.

NOTE 4 A friction fit of the copper disc into the insulating board avoids that heat and hot gases heat up the side of the copper or even enter behind the disc and deteriorate the sides of the cavity.

NOTE 5 To minimize the contact area between the shoulder of the ledge and the backside of the copper disc, the shoulder of the ledge can be machined slightly angled inwards (e.g. by a few degrees), i.e. away from the backside of the copper disc.

NOTE 6 After having verified that the disc has been mounted flush with the surface of the mounting board and has the required friction fit to the board, the disc can be secured in place by pins (e.g. at least three pins) equally spaced around the circumference of the disc.

NOTE 7 An example of successfully used pins are straight stainless steel shirt pins (e.g. with a diameter of 0,6 mm) with a flat stainless steel head, cut to a practical length (e.g. 5 mm) and hammered straight or slightly inclined into the board, with the head flattened by the hammering sitting half on the disc and half on the board.

The exposed surface of the copper disc shall be painted with a thin, smooth coating of a flat black high-temperature spray paint² with an intermittent operating temperature up to 600 °C and with an emissivity coefficient greater than 0,9 at standard laboratory temperature for the wavelength range from 400 nm to 2000 nm.

¹ Marinite P (and also Marinite C or I&M) and Monolux 500 are examples of suitable products available commercially. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of these products.

² Krylon™ BBQ & Stove paint 1618 and ARCHITECT Grillspray, 400ml, Tec-Art Art.Nr./Code: J32 4 694 are examples of suitable products available commercially. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of these products.

The paint shall be applied as thin as possible until the copper is no longer visible.

NOTE 8 If the paint is too thick, the expansion of the disc during the arc exposure can cause the coating to crack and reduce the adhesion of the coating to the copper disc, thus leading to incorrect measurements by the *calorimeter*.

The painted *sensor* shall be dried before use and present a uniformly applied coating; there shall be no visual thick spots or surface irregularities.

NOTE 9 An external heat source, for example an external heat lamp, can be used to completely drive off any remaining organic carriers in a freshly painted surface more rapidly.

6.2.3 Monitor *sensor* construction and positioning

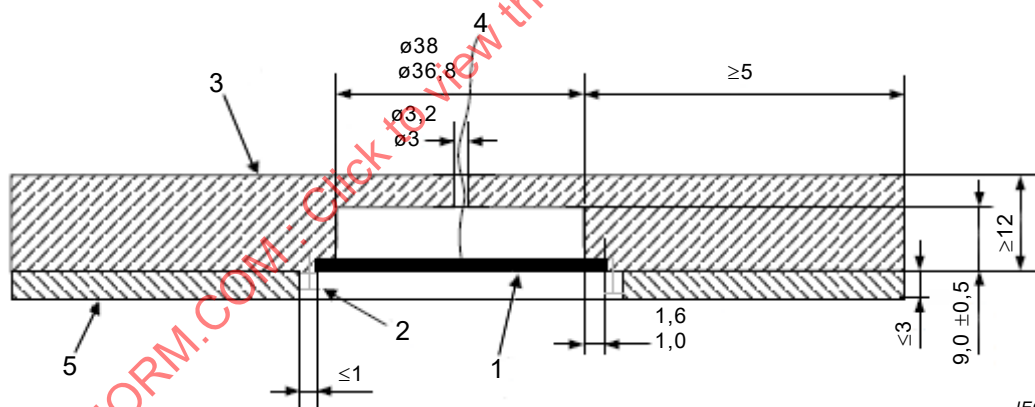
6.2.3.1 Monitor *sensor* construction

A *monitor sensor* shall be constructed to protect fully the side and back of the copper disc from the effect (e.g. heat, contamination) of and any damage caused by the arc event.

A *monitor sensor* consists of a *calorimetric sensor* like a panel *sensor* according to 6.2.2, but may be covered with an additional insulating board of not more than 3 mm thickness and made of *material* with higher temperature rating than the insulating board of the *calorimetric sensors*. The thermal conductivity of the additional insulating board shall not be more than 10 times higher than the thermal conductivity of the insulating board of the *calorimetric sensors*.

The additional insulating board shall have a hole slightly larger in diameter (not more than 2 mm larger) than the copper disc to protect the face of the *monitor sensor*. The thin shield may be fixed by screws or pins or by other ways onto the surface of the *sensor* (Figure 3).

Dimensions in millimetres



IEC

Key

- | | | | |
|---|--------------------|---|--|
| 1 | <i>calorimeter</i> | 4 | thermocouple signal wire to data acquisition |
| 2 | steel pin | 5 | insulating cover board (optional) |
| 3 | insulating board | | |
- The disc shall be held in place by at least three pins along the circumference of the disc.

Figure 3 – Example of monitor *sensor* construction, with optional cover plate

A high temperature rated covering shall be used to protect the thermocouple wire on the back side of the *monitor sensor*.

A *monitor sensor* shall be free standing or affixed to the unmovable part of the panel or mannequin or to the panel or mannequin support.

NOTE Having *monitor sensors* mounted at the moving clamps introduces an error as the *sensors* are displaced from their calibrated position, notably even more so when multilayer fabric specimen is installed.

6.2.3.2 Positioning of monitor sensors

The *monitor sensor* shall be positioned perpendicular to radius drawn from the centre line of the electrodes to the centre of the *monitor sensor*. The angle α between the radius drawn to the centre of the *monitor sensors* and the radius drawn to the centre line of the panel or of the mannequin surface shall be 35^{+5}_0 degrees, and it shall be possible to position the *monitor sensor* at the distances $340 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ (D_1) or $410 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ (D_2) from the centre line of the arc electrodes (see Figure 6). Distances D_1 and D_2 shall be indicated in Table 1, thus shall be selected for different *incident energy* exposures.

Experience has shown that for testing at other *incident energy* ranges or for purposes of research, the positioning support for the *monitor sensors* should be built in such a way that the *monitor sensor* distance is adjustable; for example, from 200 mm to 600 mm.

A pair of *monitor sensors* shall be installed, they should be positioned symmetrical to the panel.

The actual distance of each *monitor sensor* shall be measured to a precision of $\pm 2 \text{ mm}$ and the values recorded for use for the *incident energy* calculation according to 12.1.4.

Examples of arrangements of six *monitor sensors*, i.e. with one *monitor sensor* in Position 1 on each side of the panel(s) or mannequin(s), are shown in Figures 6, 7 a) and 7 b).

Table 1 – Positioning of monitor sensors depending on *incident energy* exposure

Parameter	Monitor sensor position	
	Position 1	Position 2
<i>Incident energy</i> onto surface of panel or mannequin at 300 mm distance from vertical centre line of electrodes	0 to 55 cal/cm ² (0 to 2 300 kJ/m ²)	> 40 cal/cm ² (> 1 675 kJ/m ²)
Distance between vertical centre line of electrodes and centre of <i>monitor sensor calorimeter</i> surface	D_1 340 mm $\pm$ 5 mm	D_2 410 mm $\pm$ 5 mm
Angle α between perpendicular line to panel surface and perpendicular line to <i>monitor sensor</i> surface	35^{+5}_0 degrees	35^{+5}_0 degrees
Angle α between perpendicular line to mannequin surface and perpendicular line to <i>monitor sensor</i> surface	35^{+5}_0 degrees	35^{+5}_0 degrees

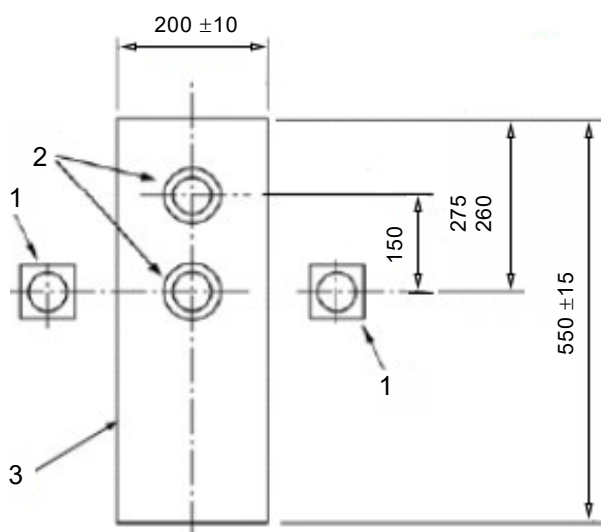
6.3 Panel construction

Each panel shall consist of a front board, a panel body and a *material* clamping system. The front board shall be constructed from electrical and thermal non-conductive, heat-resistant board *material*. The front board of a panel shall be 200 mm $\pm$ 10 mm by 550 mm $\pm$ 15 mm.

Two *calorimetric sensors* according to 6.2.2 shall be inserted into the front board of the panel. The two *sensors* shall be placed on the vertical centre line of the front board. The positioning of the two *sensors* is given in Figure 4 a). The *sensors* shall be inserted into the front board flush with the surface of the board.

NOTE Figure 4 a) shows as an example two *sensors*, each consisting of a copper disc surrounded by a ring made of insulating board, inserted into the front board of a panel.

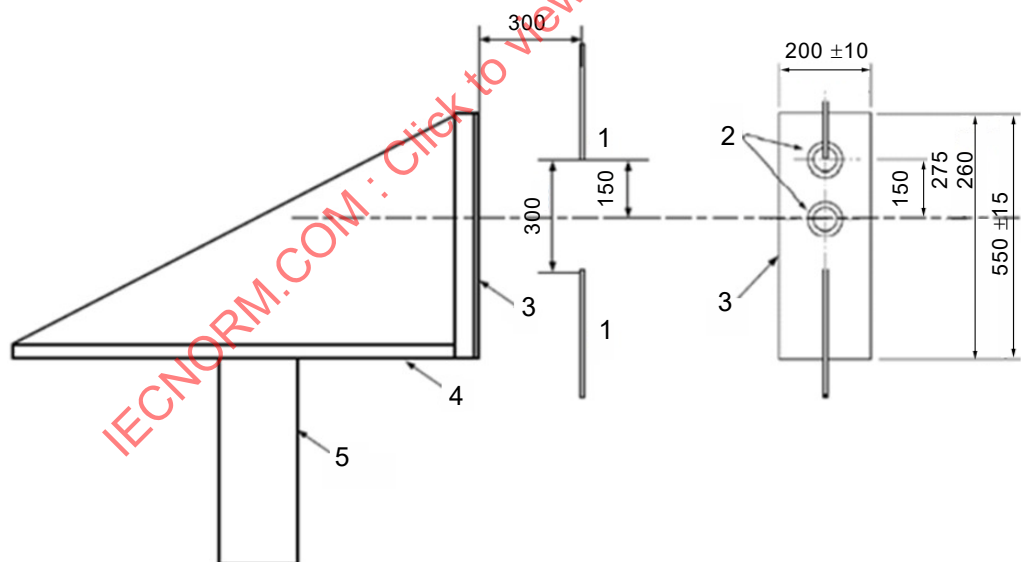
Dimensions in millimetres

**Key**

- 1 monitor *sensors*
- 2 panel *sensors*
- 3 panel front board with its two panel *sensors*

a) Relative positioning of the two panel *sensors* in the front board of the panel body (front view) and of the adjacent two monitor *sensors*

Dimensions in millimetres



IEC

Key

- 1 electrodes
- 2 panel *sensors*
- 3 panel front board, containing two panel *sensors*
- 4 panel body includes all sides other than front board (optionally movable by help of sliding system for adjusting distance between electrodes and panel *sensors*, e.g. from 200 to 600 mm)
- 5 insulating panel support

b) Panel and relative positioning of panel to electrodes (side view)

Figure 4 – Panel

Alternatively, two *calorimeters* can be mounted directly into the front board, without a ring made of insulating board. In this case the front board *material* of the panel shall meet the insulating board *material* property requirements of 6.2.2 and the *calorimeters* shall be mounted and fitted into the front board according to the requirements of 6.2.2. The panel shall be constructed to protect the two copper discs and two thermocouple wires from the effect (e.g. heat, contamination) of and any damage caused by the arc event.

Each panel shall have a *material* clamping system (see Figure 5). The clamping system shall consist of four clamps, which hold the specimen to the panel front board (which contains two panel *sensors*) and allows the specimen to shrink during arc exposure. Each clamp within the clamping system applies between 4,4 N and 6,7 N to secure the *material* to the edges of the panel front board. Other means of mounting, which meet the above objectives, may also be employed.

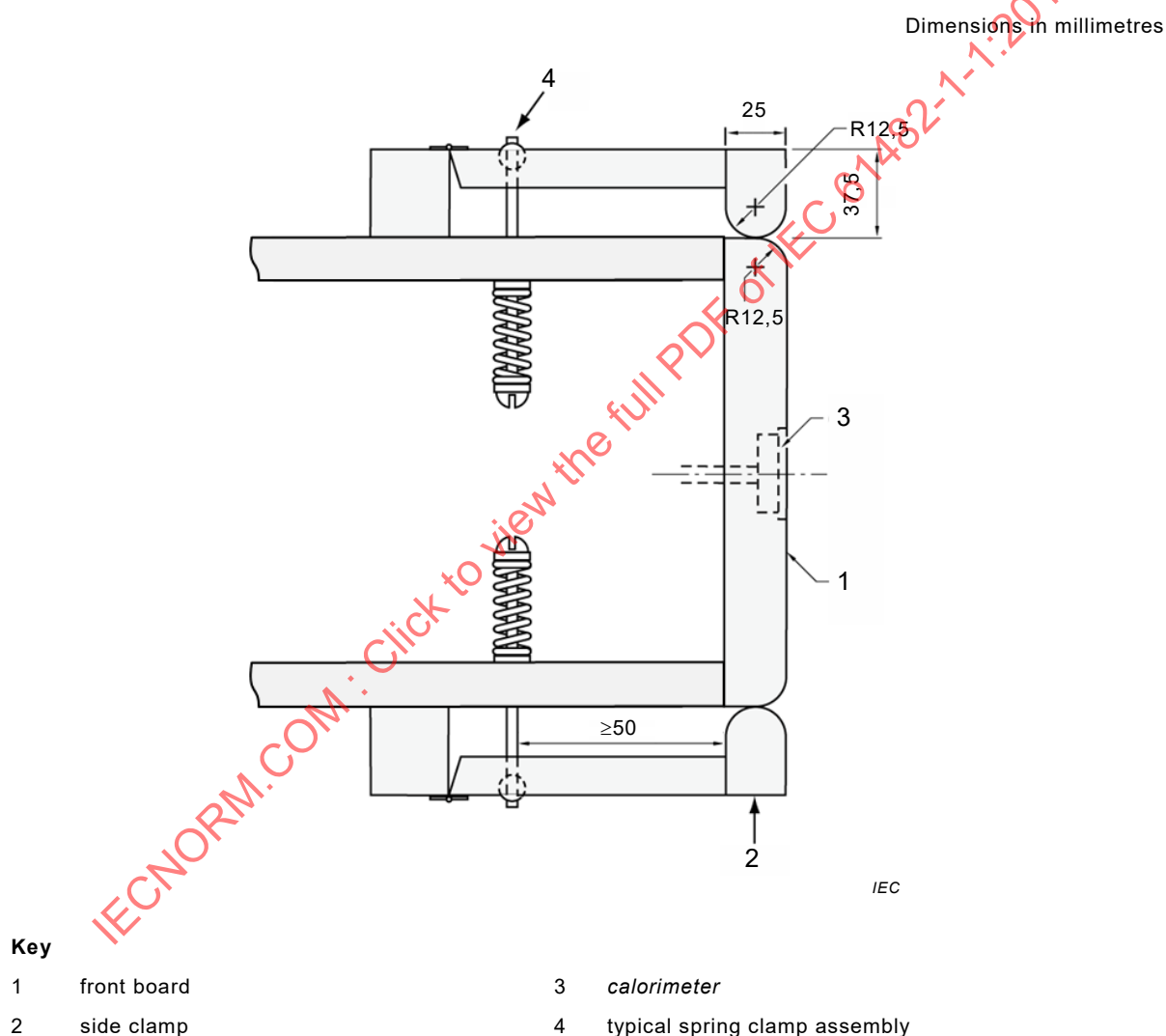


Figure 5 – Example of *material* clamping assembly of a panel

6.4 Mannequin construction

A male or female mannequin, as appropriate for the clothing to be tested, consisting of torso and optionally also arm stubs or arms, leg stubs or legs and/or head and made from non-conductive, fibre glass construction with a high-temperature resin or other non-conductive, non-flammable high-temperature *materials* shall be used.

It has been found practical and preferable that the mannequin can be dismantled into separate body parts for the purpose of facilitating the mounting and doffing of *garments*.

The mannequin shall be constructed in an erect posture. The mannequin shall be straight and mounted in a vertical position to allow the test specimen at the sternum to be the closest point to the centre line of the arc [see 6.6, Figure 8 a)].

It is recommended to foresee also the capability for positioning the mannequin at heights, so that not the sternum but the navel or the crotch will be at the height of the mid-point of the gap between the electrodes [see 6.6, Figures 8 b) and 8 c)].

NOTE 1 An example are mannequins with chest circumference $1\,000\text{ mm} \pm 100\text{ mm}$.

In order, for example, to facilitate the performance evaluation of all parts of a garment or clothing which may affect its performance (e.g. doffing closures and/or accessories on the side or the back of the clothing), it should be possible to rotate the mannequin(s) by an amount of degrees which will expose each of such parts adequately to the electric arc (e.g. by 90° for exposure from the side or by 180° for exposure from the back). It should also be possible to reposition the rotated mannequin(s) in such a way that the closest distance between the surface of the mannequin, which will be exposed to the electric arc, and the centre line of the electrodes is 300 mm.

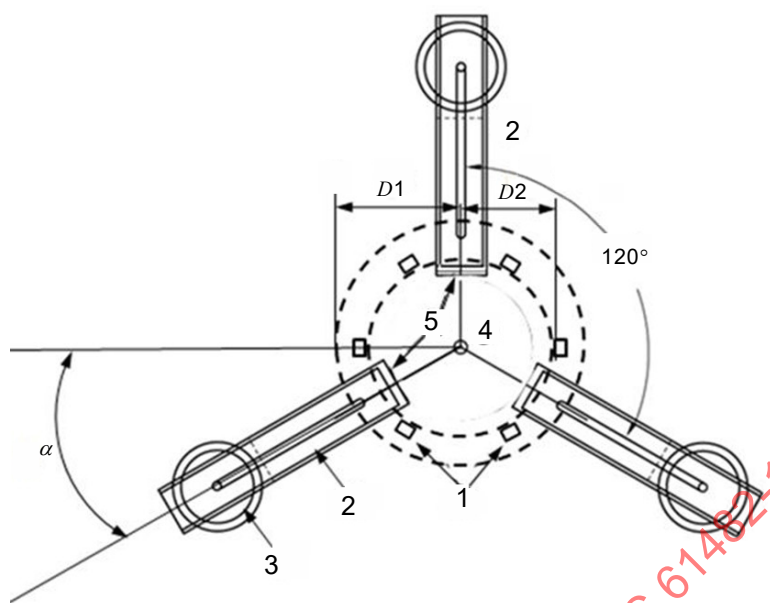
NOTE 2 It has been found practical to have the distance between the centre line of the electrodes and the mannequin(s) horizontally adjustable, for example from 200 mm to 600 mm.

6.5 Arrangement of panels and monitor sensors for testing according to Procedure A

When testing according to Procedure A, a configuration of three panels, each containing two panel *sensors* (i.e. a configuration of three two-*sensor* panels) shall be used for each test and the panels shall be spaced at 120° as shown in Figure 6. One *monitor sensor* shall be positioned on each side of a two-*sensor* panel as – for example – shown in Figures 5. For further specifications about the positioning of the *monitor sensors* with respect to the centre line of the electrodes and/or to the side of the panels, see 6.2.3.2.

For standard testing, the distance from the panel to the arc shall be 300 mm.

Dimensions in millimetres



Key

- | | | | |
|-------|--|----------|---|
| 1 | monitor <i>sensors</i> in position 1 | 4 | centre line of arc electrodes |
| 2 | panel body with slide system for adjusting the distance of panel to electrodes | 5 | front board of panel, into which two panel <i>sensors</i> are mounted |
| 3 | support for panel body with slide system | α | angle between centre lines of panel and monitor <i>sensor</i> (see Table 1) |
| D_1 | Distance between vertical centre line of electrodes and centre of surface of monitor <i>sensor calorimeter</i> in position 1 | | |
| D_2 | Distance between vertical centre line of electrodes and centre of surface of monitor <i>sensor calorimeter</i> in position 2 | | |

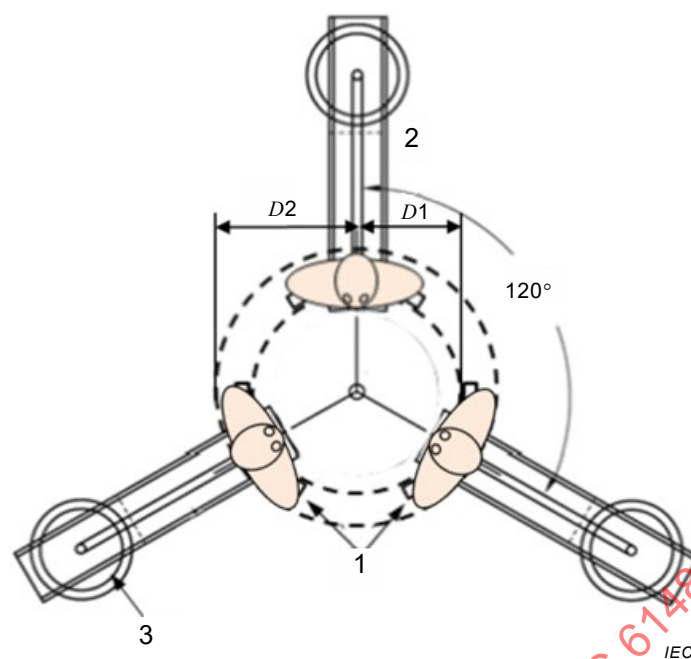
Figure 6 – Arrangement of three two-sensor panels with monitoring sensors (top view) for testing according to Procedure A

6.6 Arrangement of mannequin(s) and monitor sensors for testing according to Procedure B

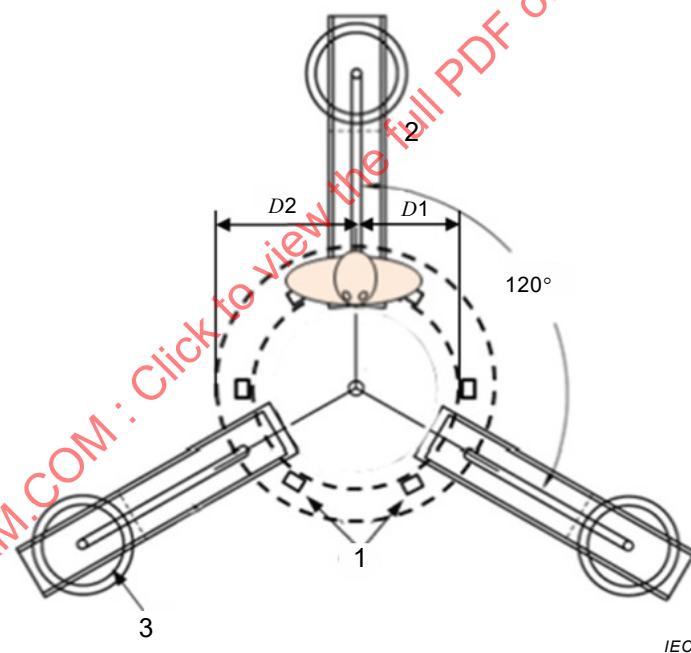
At least one mannequin shall be used for testing according to Procedure B. If more than one mannequin is used (i.e. two or three mannequins), the mannequins shall be spaced at a minimum of 120° as shown in Figure 7. One *monitor sensor* shall be positioned on each side of a mannequin. For further specifications about the positioning of the *monitor sensors* with respect to the centre line of the electrodes and/or to the side of the mannequin(s) or panel(s) see 6.2.3.2.

For standard testing, the distance between the arc and the point on the mannequin surface closest to the arc shall be 300 mm.

The space around the arc electrodes can dictate the number of mannequins used. It has been found that two mannequins provide good ample working space when dressing the mannequins. The minimum 120° spacing should be maintained.



a) Top view of arrangement with three mannequins and six monitor sensors



b) Top view of arrangement with one mannequin and two panels and six monitor sensors

Key

- 1 monitor sensors in position 1
- 2 support with slide system for turning/rotating position of mannequin and for adjusting its distance to electrodes
- 3 support for panel body or mannequin with slide system
- D_1 distance between vertical centre line of electrodes and centre of surface of monitor sensor calorimeter in position 1
- D_2 distance between vertical centre line of electrodes and centre of surface of monitor sensor calorimeter in position 2

Figure 7 – Relative positioning of arc electrodes and of mannequin(s) and monitor sensors for testing according to Procedure B

It shall be possible to position a mannequin, consisting of at least the torso in such a way that the sternum is at the centre of the gap between the electrodes [see Figure 8 a)].

NOTE 1 A mannequin-torso with arm stubs in the position as shown in Figure 8 a) is typically used for testing of *garments* which are intended to protect the torso and arms (e.g. shirts, jackets).

It shall be permitted to position a mannequin, consisting of at least the lower part of the torso and the upper part of the legs, at the following heights:

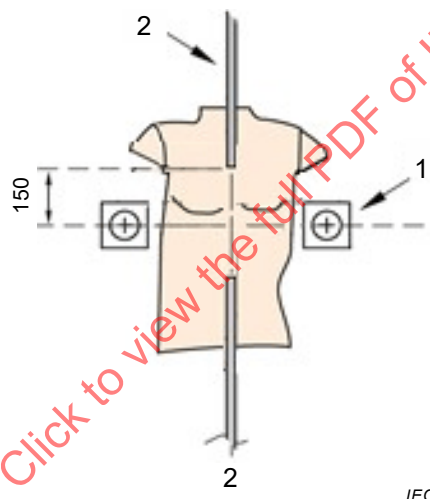
- a) positioning of the mannequin vertically in such a way that its navel is at the height of the centre of the electrode gap [see Figure 8 b)];

NOTE 2 A mannequin-torso with arm stubs and leg stubs in the position as shown in Figure 8 b) can be used for testing of *garments* intended for the protection of the lower part of the torso and/or with additional design features at the waist (e.g. coverall with (elastic) waist band) and/or for testing the interface between jacket and trousers.

- b) positioning of the mannequin vertically in such a way that its crotch is at the height of the centre of the electrode [see Figure 8 c)].

NOTE 3 A mannequin with hips and knee-up legs in the position as shown in Figure 8 c) can be used for testing of *garments* intended for the protection of the lower part of the torso and legs (e.g. trousers).

Dimensions in millimetres



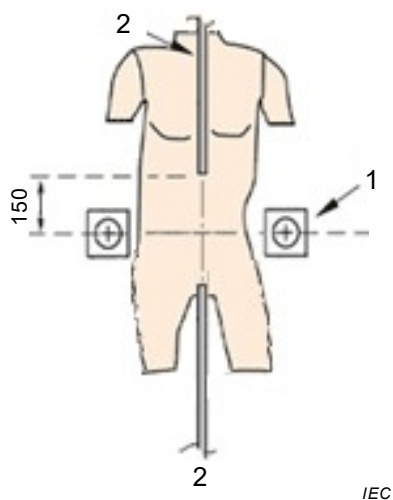
Key

- 1 monitor sensor
2 electrodes

NOTE Length of arm stubs can be as short as 100 mm for ease of specimen mounting.

- a) Torso mannequin with or without arm stubs, with position of centre of electrode gap at height of sternum

Dimensions in millimetres

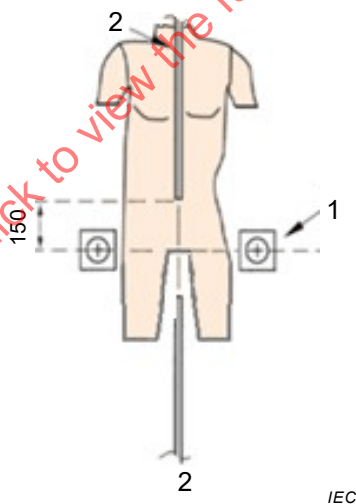
**Key**

- 1 monitor *sensor*
- 2 electrodes

NOTE Length of arm stubs and leg stubs can be as short as 100 mm for ease of specimen mounting.

b) Torso mannequin with leg stubs, with position of centre of electrode gap at height of navel

Dimensions in millimetres

**Key**

- 1 monitor *sensor*
- 2 electrodes

NOTE Length of knee-up legs can be as short as 300 mm for ease of specimen mounting.

c) Mannequin with hips and knee-up legs, with position of centre of electrode gap at height of crotch

Figure 8 – Examples of mannequin configuration

6.7 Supply bus and electrodes

6.7.1 General

The supply bus and arc electrodes shall be part of the structural arrangement, which is designed to reduce the electromagnetic forces on the arc and thus centres the rotation of the arc along the centre line between the electrodes. Figures 9 and 10 give examples of an appropriate structural arrangement that includes a cage with six conductive bus tubes. The arc shall be in a vertical position as shown.

6.7.2 Structural cage arrangement

The structural cage arrangement shall be made of conductive tubes (e.g. metallic tubes such as aluminium or steel tubes). There shall be at least six bus tubes (examples shown in Figures 9 and 10); the arrangement of nine bus tubes has been found to be also practicable.

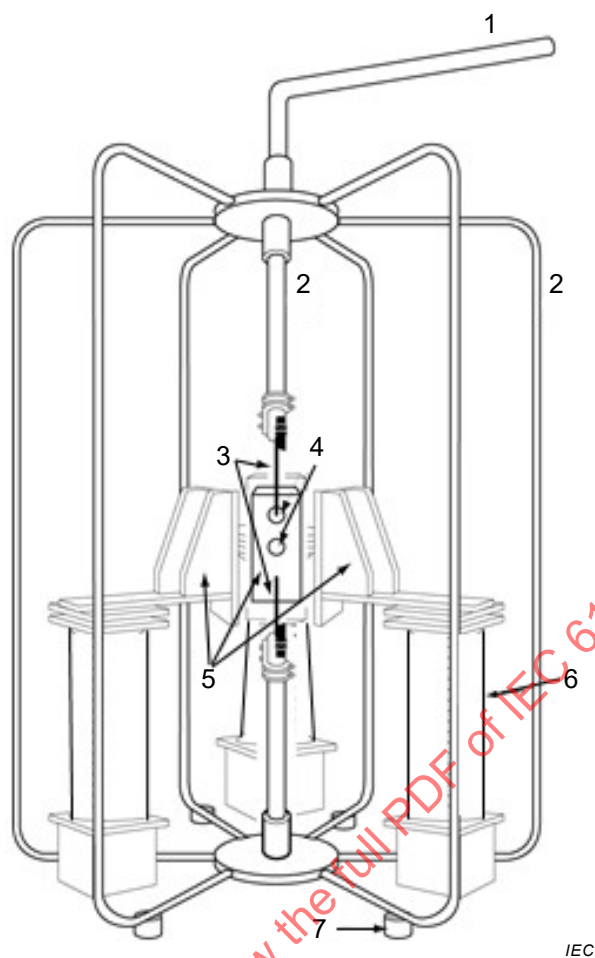
The diameter of the cage shall be between 2,0 m and 2,5 m.

The height of the cage shall be at least equal to the diameter of the cage and between 2,3 m and 4 m.

NOTE 1 Based on modelling, the greater the ratio between the height and the diameter, the better the arc will be centred on the centre line between the electrodes. The electromagnetic forces within the test apparatus keep the arc in the centre line of the *arc gap*.

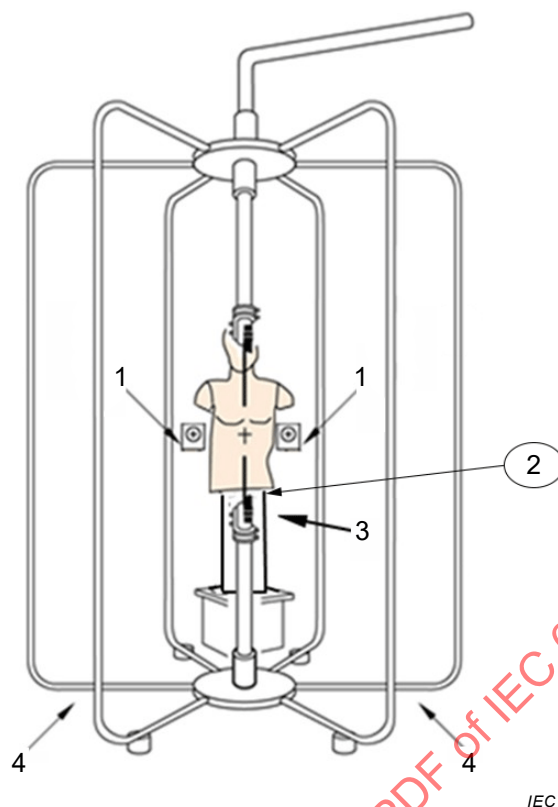
The mid-point of the electrode gap shall be at half the height of the cage ± 50 mm.

NOTE 2 A platform made of non-conductive *material*, eventually reaching into the cage, can be positioned at a height so as to allow for easy access to the electrodes, panels, mannequins and monitor *sensors*.

**Key**

- | | | | |
|---|--------------------|---|------------------------------|
| 1 | coaxial bus supply | 5 | panels |
| 2 | bus | 6 | insulating support for panel |
| 3 | electrode | 7 | insulator |
| 4 | panel sensors | | |

Figure 9 – Example of cage arrangement (supply bus, bus tubes and arc electrodes) shown together with three panels for testing according to Procedure A (monitor sensors are not shown)



Key

- | | | | |
|---|--|---|--------------------------------------|
| 1 | monitor <i>sensors</i> | 3 | support for mannequin (or for panel) |
| 2 | slide system for turning/rotating position of mannequin and for adjusting its distance to electrodes (not visible) | 4 | bus bars |

The additional at most two mannequins or panels and their adjacent monitor *sensors* are not shown.

Figure 10 – Relative positioning of cage arrangement (supply bus, bus tubes and arc electrodes) and of one torso mannequin and its monitor *sensors* for testing according to Procedure B

6.7.3 Electrodes

The electrodes are made from a stainless steel rod (alloy type UNS-S30300 or type UNS-782 S30400 or S31603/316L) with a nominal diameter in the range from 15 mm to 25 mm.

6.7.4 Fuse wire

A fuse wire, connecting the ends of opposing electrodes tips, shall be used to initiate the arc. This wire is consumed during the test; therefore, its mass shall be very small to reduce the chance of molten metal burns. The fuse wire shall be a conductive wire (e.g. copper) with a nominal diameter of 0,5 mm or less.

6.8 Electric supply

The electric supply shall be sufficient to allow for the discharge of an *electric arc* initiated with a fuse wire, across a gap of up to 315 mm, with alternating arc current, which has a symmetrical steady state r.m.s component of 8 kA $\pm$ 0,5 kA and with *arc duration* up to at least 1 s from a power-frequency supply.

The voltage shall be sufficient to maintain the arc for the whole duration of the test. An open circuit voltage of at least 2 000 V and an X/R ratio of the test circuit such that the test current contains a DC component resulting in the first peak of the test current having a magnitude of 2,3 times the symmetrical r.m.s. value, have proven to be sufficient.

A switch for arc initiation shall meet the requirements of 6.9, as this capability has shown to provide closing angles, which will produce asymmetrical currents with an X/R ratio as stated above.

NOTE 1 Discussions and research have taken place to investigate if other than fully asymmetric test currents with voltage of at least 2000 V can be considered. Further investigations are pursued with the intention to clarify whether testing with symmetrical currents and lower open circuit voltages will have an effect on *ATPV*, *EBT* or *ELIM*.

In order to be able to test *materials* and clothing with *arc ratings* up to 4 184 kJ/m² (100 cal/cm²), the electric supply shall be sufficient to allow for longer *arc duration*.

NOTE 2 If the electric supply is capable of allowing only *electric arcs* with shorter duration, testing will be limited to only *materials* and clothing with lower *arc rating*.

6.9 Test-circuit control

The switch for arc initiation shall be capable of point-on-wave closing time with a tolerance of $\pm 0,5$ ms between subsequent bare and/or arc shots. The circuit control system shall be capable of measuring and recording the actual arc current, voltage and duration. The arc current, voltage and energy shall be displayed in graph form for the whole time of *arc duration* and stored in digital form.

6.10 Data acquisition and data processing system

6.10.1 General

The system shall be capable of measuring *arc voltage*, arc current and *calorimeter* outputs as required by this test method.

The measuring system may require the use of separate waveform recorders having different acquisition rate.

6.10.2 Data acquisition

6.10.2.1 Data acquisition calorimeters

The acquisition system (for analog to digital conversion) of signals from *calorimeters*, which may consist of the converter (including the isolating system), the recorder, computer and software, shall be able to record *calorimeter* output corresponding to temperature range from 0 °C to 500 °C. The temperature acquisition system shall have at least a resolution of 0,1 °C and an accuracy of $\pm 0,75$ °C (this does not include the accuracy of the thermocouple and the *calorimeter*). It shall be capable of making cold junction corrections and converting the millivolt signals from the type K thermocouple to temperature (complies with IEC 60584-1).

The waveform recorder for recording data from the *calorimeters* shall be capable of recording all channels simultaneously at a sampling rate of at least 100 samples per second per channel and the entire system shall have a –3 dB bandwidth of at least 20 Hz.

NOTE 1 A too low sampling rate would prevent the accurate synchronization of the temperature curves with the arc initiation time t_0 . A minimum sampling rate of 100 ensures that the time resolution is 10 ms or better. A combined minimum bandwidth of 20 Hz for the digital recorder module and all analog and digital filters if used has been found sufficient to avoid introducing significant error in the signal rise time.

NOTE 2 Filtering can be necessary to remove some of the noise on the thermocouple signals.

The filter shall preserve the wave shape and shall not introduce a time shift.

NOTE 3 An acceptable way to filter arc noise is to detect its initial and final point on the synchronized digital signal, and to remove the noise by replacing the digitized signal points which contain noise with an interpolated piecewise polynomial (spline) preserving the original sampling rate. In this way noise-free signal points will be obtained.

The use of analog or digital filters such as Bessel, Butterworth, Chebyshev or similar algorithms is not recommended as they can introduce time shift behaviour and compromise energy and Stoll criteria evaluations.

The acquisition system shall be capable of continuously recording:

- a) pre-arc exposure temperature data to obtain the initial *sensor* temperatures, and
- b) temperature data from the monitor *sensors* and panel *sensors* up to at least 30 s after arc initiation.

6.10.2.2 Data acquisition voltage and current

The acquisition system used for measuring the arc current and voltage may consist of isolating transformers, shunts, dividers, a waveform recorder, computer and software. The waveform recorder shall have a minimum sampling rate of 2000 samples per second and a –3 dB bandwidth of at least 200 Hz. The arc current and voltage measurement system shall have an accuracy of at least 3 % of the applied current and voltage.

6.10.3 Signal synchronization

All waveform recorders used in the data acquisition system for measuring the arc current, *arc voltage* and all the temperatures (i.e. temperature rise versus time) of all the *calorimeters*, shall be synchronized to ensure the real time relationship between all the waveforms is maintained.

The data acquisition system shall measure an electrical arc signal which is suitable for the determination of the arc initiation time and all the temperatures (i.e. temperature rise versus time) of all the *calorimeters* of the monitor and panel *sensors* in a synchronized way.

The arc initiation time t_0 , which corresponds to the time of the start of the arc, shall be reliably determined from this electrical arc signal (e.g. current).

NOTE 1 A reliable way is to define a minimum threshold value level, slightly higher than the usual (no arc) electrical noise and to determine then the arc initiation time t_0 as the time of the sampling point previous to the first sampling point above the noise threshold.

NOTE 2 Instead of arc current wave, the signal from a specific, separate *sensor* (which measures, for example, the voltage induced by the arc in a coil) can be used as the arc signal for the determination of the arc initiation time.

NOTE 3 A reliable way to synchronize the start of the data acquisition systems is to use the arc signal as a trigger for each waveform recorder.

NOTE 4 One can use the following procedure for verifying that the measurements of all *calorimeters* of the *sensors* are synchronized amongst themselves, i.e. use the same time base: One determines for the response of each *sensor* i the time $t_{0,i}$ as the time of the earliest sampled signal showing a consistent variation of the temperature (i.e. higher than any fluctuation due to the equipment resolution or environmental causes prior to or after arc events). One can consider that all the *sensors* are synchronized, if the difference between the earliest and latest individual *sensor* signal time $t_{0,i}$ values is less than 20 ms. This procedure can be used for panel *sensors* only when they are not covered by test specimens. This procedure is not reliable for verifying whether panel *sensors*, when covered with test specimens, are synchronized with each other and with the monitor *sensors*.

7 Operator safety

During the duration of the *electric arc*, the test apparatus discharges large amounts of energy. In addition, the *electric arc* produces very intense light. Care shall be taken to protect personnel working in the area.

Hazards such as, but not limited to, the following can occur:

- very intense light;
- contact with molten and vaporized metal;
- extreme sound pressure;
- combustion products, smoke and fumes;
- the test apparatus, electrodes and *calorimeter* assembly become hot during testing;
- risk of fire due to ignited specimens and combustion gases;
- risk of electrocution during reconditioning or changes, etc.

Safety of persons shall be guaranteed according to national legislation.

NOTE 1 Protective barriers or safe distance can help to prevent electrocution and contact with molten and vaporized metal. Heavy tinted glasses may help to protect viewers of tests. In case of indoor tests, combustion products, smoke and fumes are carried away by ventilation after testing and before entering.

NOTE 2 Respiratory protective devices (e.g. power assisted filtering devices with hood or whole mask and appropriate filter) can be needed when taking down or changing the specimens directly after each test if combustion products, smoke and fumes remain.

NOTE 3 A method to ventilate the area can be used in order to carry away combustion products, smoke and fumes.

8 Specimen preparation

8.1 Description of the test specimens

8.1.1 Test specimens for Procedure A

Test specimens in the form of flat *material* or flat *material assembly* shall be cut from *garment* samples or samples of the *garment assembly*, or shall be constructed to be representative of the *garment* or *garment assembly*.

The size of the specimens after the laundering pre-treatment according to 8.2 shall be at least 100 mm longer and wider than the actual panel length and width, and shall not be more than 130 mm longer and wider than the panel length and width.

An exact observance of the requirement for a maximal length and width of test specimens is particularly important for *materials* which will shrink as consequence of arc exposure to such a high extent that *shrink-open* may occur.

At least 20 rectangular test specimens shall be cut with the specimen length in the warp direction of the *material*. Depending on 11.1.2 and 11.1.3, more than 20 test specimens may be needed.

It is advisable to prepare about 30 test specimens. In case that *materials* are not homogenous and/or if the *EBT* of a *material* is far above its *ATPV*, even more test specimens may be needed in order to be able to determine both *ATPV* and *EBT*.

NOTE Usually, once the *ATPV* has been determined, there is no need for testing of further specimens for the determination of the *ELIM*.

8.1.2 Test specimens for Procedure B

Test specimens shall be finished *garments* (i.e. with findings, pockets and closures, etc.) or *assemblies of garments* as worn together and/or worn on top of each other according to the manufacturer's instructions as intended for use.

The size of the *garments* or assembly of *garments* shall be appropriate for the mannequin.

Depending on 11.2.2 and 11.4.2, more than one test specimen may be needed.

8.2 Pre-treatment of test specimens by cleaning

Before testing, the individual test specimens or the amount of *material* samples from which test specimens can be constructed shall be pre-treated by cleaning if cleaning is permitted according to the manufacturer's instructions.

The cleaning shall be in line with the manufacturer's instruction on the basis of standardized processes. The tests shall be carried after the number of cleaning cycles specified by the manufacturer. If the number of cleaning cycles is not specified, the tests shall be carried out after five cleaning cycles (a cleaning cycle is one wash and a dry cycle).

If washing is permitted as well as dry cleaning, then the specimens shall only be washed. Products which are labelled as dry cleaning only shall be dry cleaned only.

NOTE The manufacturer's instruction typically indicates one or several of the various methods and processes of ISO 6330, ISO 15797, ISO 3175-2 or equivalent standardized processes for washing.

Specimens may be restored after cleaning to a flat condition by pressing.

8.3 Pre-conditioning of the test specimens

Before testing the specimens shall be pre-conditioned. The conditioning atmosphere shall be the temperature between 18 °C and 28 °C and the relative humidity between 45 % and 75 % for at least 24 h.

9 Calibration and verification

9.1 Data acquisition system pre-calibration

The complete data acquisition system shall be calibrated. Its temperature measurement system shall be calibrated by using a thermocouple calibrator/simulator. This will allow calibrations to be made at multiple points and at levels above 100 °C. Due to the nature of the tests, frequent calibration checks are recommended.

9.2 Verification of calorimeters

Calorimeters shall be checked to verify proper operation. The verification can be done before or after all the needed *calorimetric sensors* or *calorimeters* for the panels are put in their final positions in the panels and all the needed monitor *sensors* are in the final position needed for the determination of the *arc rating* (see Table 1).

One acceptable verification method is to expose each *calorimeter* to radiant energy from a 500 W spot light for 30 s as follows.

- The front surface of the spot light shall be placed at a same distance of 250 mm ± 50 mm from each *calorimeter*. The spot light beam shall be centred on, and perpendicular to the *calorimeter*.
- When carrying out this method on *calorimeters* which are in their final position for panels and monitor, ensure the same initial temperature ± 2 °C at each *calorimeter*, i.e. avoid pre-heating of neighbouring *calorimeters* while checking one *calorimeter*.
- The spot light shall emit a stable *heat flux* for at least the duration needed for checking all the *calorimeters*. Each *calorimeter* shall be exposed to a fixed radiant energy source for 30 s.
- The temperature rise of each *calorimeter* and data acquisition system response shall be measured and graphed.
- At 30 s, no one *calorimeter* response shall have varied by more than 4 °C from the average of all *calorimeters*.

- Any *calorimeter* not meeting this requirement shall be replaced or repaired.

Other methods to adequately verify the operation of each *calorimeter* against the average of a group of known good *sensors* are acceptable, provided that these methods are documented, repeatable and have been proven to provide the same results.

9.3 Arc exposure and apparatus verification for the two-sensor panels and the monitoring sensors

9.3.1 Set-up of electrodes and fuse wire

Prior to each verification, the electrodes of the test apparatus shall be positioned to produce a $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ gap. The mid-point of the electrode gap shall be at the same elevation as the centre points of the monitor *sensors* and of the lower panel *sensors* (see Figure 4). Connect the fuse wire to the end of one electrode by making several wraps and twists and then to the end of the other electrode by the same method. The fuse wire shall be pulled tight and the excess trimmed.

9.3.2 Positioning of the two-sensor panels, mannequins and monitor sensors

Each two-sensor panel or each mannequin shall be positioned so that the surface of each is perpendicular to the line between the centre line of the electrodes and the surface of the panel or mannequin. The distance between the centre line of the electrodes and the panel or mannequin shall be $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.

It shall be verified that the *monitor sensors* are positioned as required in 6.2.3.2 (i.e. the *monitor* shall be at a distance of $340 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ from the centre line of the electrodes (position 1 according to Table 1 in 6.2) or at a distance of $410 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ from the centre line of the electrodes (position 2 according to Table 1 in 6.2)). If necessary, the position shall be adjusted. For the purpose of exposure and apparatus calibration, the *monitor sensors* may alternatively be positioned so that the surface of each is $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ from the centre line of the electrodes.

In any case, the actual distance of each *monitor sensor* shall be measured to a precision of $\pm 2 \text{ mm}$, and the values recorded and used for the *incident energy* calculation according to 12.1.4 shall be corrected by an *incident energy* correction factor, in order to obtain from each *monitor sensor* an array of *incident energy* versus time values at a distance of 300 mm from the centre line of the electrodes, i.e. at the position of the panel *sensors*. This *incident energy* correction factor for a *monitor sensor* shall be the square of the ratio of the actual distance of the *monitor sensor* divided by the actual distance of the panel or mannequin next to which the *monitor sensor* is positioned.

9.3.3 Verification bare shot

The test parameters for the *bare shot* for the arc exposure and apparatus verification shall be as follows:

- an arc current of $8 \text{ kA} \pm 0,5 \text{ kA}$, as indicated in 6.8;
- a $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ electrode gap;
- stainless steel electrodes;
- a $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ distance between the arc centre line and the surface of the panels;
- a $340 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ or $410 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ distance between the arc centre line and the surface of the *monitor sensor*;
- an *arc duration* of $167 \text{ ms} \pm 2 \text{ ms}$ (i.e. nominal 10 cycles) from 60 Hz supply or $170 \text{ ms} \pm 2 \text{ ms}$ (i.e. nominal 8,5 cycles) from 50 Hz supply.

The arc shall be ignited and the temperature versus time response from each *sensor* shall be converted into an *incident energy* versus time response according to 12.1, i.e. an array of *incident energy* values at a distance of 300 mm from the centre line of the arc versus time. The

maximum of the *incident energy* response for each *sensor* shall be determined and considered as the *incident energy* (total heat) in kJ/m^2 measured by each *sensor*. Because the arc does not follow a path that is equidistant from each *sensor*, the resulting *incident energy* values vary between *sensors*.

The average of the *incident energies* of all the calorimetric *sensors* located at the height of the middle of the *arc gap*, i.e. of all the six monitor *sensors* and all the *sensors* in the centre of each panel, which is part of the test apparatus setting, shall be $313,8 \text{ kJ/m}^2 \pm 41,8 \text{ kJ/m}^2$ ($7,5 \text{ cal/cm}^2 \pm 1,0 \text{ cal/cm}^2$).

The highest measured *incident energy* of any of the *sensors* located at the height of the middle of the *arc gap* shall not be more than 30 % greater than the average of the incident energies of these *sensors* and the lowest measured *incident energy* of any of these *sensors* shall not be more than 30 % lower than average.

If three panels are part of the test apparatus setting, the highest measured *incident energy* of any of the top panel *sensors* shall not be more than 25 % greater than the average of the *incident energies* of these *sensors* and the lowest measured *incident energy* of any of these *sensors* shall not be more than 25 % lower than the average.

If the above *incident energy* distribution requirements are not fulfilled, inspect the test set-up and check the verification of the *sensors* system and the electrical conditions, correct the problems and repeat the apparatus verification procedure until the above requirements are fulfilled.

It is advisable that an arc exposure apparatus verification test is conducted prior to the start and end of each day's testing and after any equipment adjustment or failure and that the results are recorded. It is further advisable that a synchronization check as described in Note 2 of 6.10.2.1 is carried out at the same time.

9.3.4 Verification *bare shot* test protocol

The parameters of the test apparatus setting shall be checked, confirmed and recorded for each *bare shot* used for the purpose of arc exposure and apparatus verification.

In addition, the ambient temperature and relative humidity shall be measured and reported prior to each verification *bare shot*.

Values to be measured, recorded and reported for each verification *bare shot* shall be peak arc current, r.m.s. arc current, *arc duration*, *arc energy*, and r.m.s. *arc voltage*. A graph of the arc current shall be plotted to show proper waveform.

10 Test apparatus care and maintenance

10.1 Surface reconditioning

Each *sensor* surface shall be visually inspected after each test and, based on the surface condition, may be wiped immediately after each test, while still hot, to remove any decomposition products which condense and could dry-in and be a source of future error. If a deposit collects and appears to be thicker than a thin layer of paint, or is irregular, the reconditioning of the *sensor* surface is required.

Immediate cleaning of *calorimeters* can be commonly accomplished with water. If the deposits are not water dissolvable, the cooled *sensor* shall be carefully cleaned with a cleaning liquid and/or a paint remover, making certain to follow safe handling practices. The surface shall be repainted with a thin layer of the same paint as in 6.2.2. The same paint shall be used on all *sensors* and the paint shall be dry before running the next test.

It is recommended to carry out a *bare shot* according to 9.3.3 after each surface reconditioning of *sensors*, for the purpose of curing new paint and of apparatus verification.

Alternatively, instead of removing the paint, it might be sufficient to burn off the contamination on the surface of the copper disc during a *bare shot* after having cleaned the *calorimeter* with water prior to the *bare shot*.

NOTE 1 Mixture of three volume parts of 1,1,1-trichloroethane and one volume part of ethanol has been found suitable as *calorimeter* cleaning liquid.

NOTE 2 Acetone or petroleum solvents have been found suitable as paint remover.

It is recommended to carry out verification also according to 9.2 prior to verification according to 9.3.3.

10.2 Care of panels, mannequins and sensors

Sensor panels and mannequins shall be kept dry.

For outdoor tests, panels, mannequins and *sensors* may be covered between tests shots to prevent excess heating or cooling resulting from exposure to the environmental conditions.

10.3 Care of electrodes

The electrode gap shall be maintained to the required distance before each *bare shot* or *test shot*. The electrodes shall be changed when the required distance cannot be maintained (electrodes too short).

11 Test procedures

11.1 Procedure A – testing with panels

11.1.1 Test parameter and settings

The r.m.s. value of the symmetrical component of the arc current shall be $8 \text{ kA} \pm 0,5 \text{ kA}$, a $300 \text{ mm} \pm 15 \text{ mm}$ electrode gap, stainless steel electrodes and a $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ distance between the arc centre line and the surface of the panel. The duration of the arc shall be varied to produce the required series of test exposures over a range of *incident energies*, which shall meet the criteria of 11.1.3.

The *monitor sensors* shall be adjusted to position 1 for *incident energy* exposures needed for the determination of an expected value of *ATPV*, *EBT*, or *ELIM* of up to $2\,300 \text{ kJ/m}^2$ (about 55 cal/cm^2) or position 2 for an expected value of *ATPV*, *EBT*, or *ELIM* above $1\,675 \text{ kJ/m}^2$ (about 40 cal/cm^2), with positions 1 and 2 indicated in Table 1. For the lateral position of the *monitor sensors* with respect to a panel or mannequin see Table 1.

It is recommended not to change the positions of the *monitor sensors* during a series of tests needed for the determination of the *arc rating* of a *material*.

The recording of temperature data from the monitor and *panel sensors* shall start prior to arc initiation to establish a reliable initial temperature of the *sensors* and shall continue at least 30 s after arc initiation.

11.1.2 Sequence of tests with test specimens of *material* or *material assembly*

For the determination of the *ATPV*, *EBT* or *ELIM* of a *material* or *material assembly*, a series of the tests shots necessary to produce data from at least 20 test specimens shall be run, with the specimens exposed to a range of *incident energies*. The sets of measured *incident energy* data points (see 12.1.4) shall meet the distribution criteria of 11.1.3. If the distribution criteria are not met, additional specimens shall be tested to fulfil the distribution criteria.

All valid data points shall be used. A data point shall not be used when a copper *calorimeter* temperature exceeds 500 °C.

NOTE 1 Each test of the series usually consists of three specimens of the same *material* or *material assembly*, one for each of the three two-sensor panels. Thus in order to obtain at least data for 20 test specimens, the test series will consist of at least seven *test shots*.

In the sequence of tests for the determination of the *arc rating*, the first aim is to determine the *ATPV*.

If during the testing for the determination of the *ATPV* two or more occurrences of *material breakopen* are noted at *incident energies* below a value of 20 % above the *ATPV* determination, the *EBT* shall also be determined.

NOTE 2 This is a typical case, where more than 20 test specimens can be required so that also the *breakopen* response can be evaluated (see 12.3 for the determination of the *EBT* as result of the *breakopen* response of test specimens).

11.1.3 Criteria for set of data obtained from iterative process of *test shots*

11.1.3.1 *Test shots* for determination of the *ATPV*

For the determination of the *ATPV* (see 12.2), the set of data points shall be distributed in the following way:

- a) at least 3 data points shall be below the *mix zone*;
- b) at least 3 data points shall be above the *mix zone*;
- c) at least 10 data points shall be in the range of ± 20 % of the final *ATPV*.

NOTE Data points in this energy range typically are in the *mix zone*, i.e. some data points exceed and some data points do not exceed the Stoll criteria.

A sequence of *test shots*, which shall provide at least 20 data points, shall be carried out in such an order as to fulfil the above data point distribution requirements.

The sequence of *test shots* is best carried out as an iterative process, i.e. in such a way that the results from an increasing number of *test shots* allow to fulfil the data point distribution requirements increasingly better, thus to determine an always increasingly better estimate of the *ATPV* (see, for example, Annex C).

In case that the obtained minimum 20 data points are not sufficient for fulfilling the data point distribution requirements, further *test shots* shall be carried out.

In addition, in case of a multilayer *material*:

- at least three data points shall also be obtained where the *incident energy* has not caused *ablation* of the layer on top of the innermost layer of the *material*.
- at least three data points shall also be obtained where the *incident energy* has caused *ablation* of the layer on top of the innermost layer.

11.1.3.2 *Test shots* for the determination of the *EBT*

For the determination of the *EBT* (see 12.3), the set of data points shall be distributed in the following way:

- a) at least three data points shall be below the *mix zone*;
- b) at least three data points shall be above the *mix zone*;
- c) at least 10 data points shall be in the range of ± 20 % of the final *EBT*.

NOTE Data points in this energy range typically are in the *mix zone*, i.e. some data points do or do not show *breakopen* in case of the determination of the *EBT*.

An iterative process similar to the process used for the determination of the *ATPV* shall be carried out in order to fulfil the above data point distribution requirements for the determination of the *EBT*. For the calculation of the iteratively estimated values of the *EBT* according to 12.3, the binary responses “0” and “1” are determined by the information of *material breakopen* and/or *shrink-open* (i.e. “1” meaning occurrence of *breakopen* and/or *shrink-open*).

11.1.3.3 Test shots for the determination of the *ELIM*

For the determination of the *ELIM* (see 12.4), it is sufficient to have the set of data points required for the determination of the *ATPV* or of the *EBT*, if the *EBT* is lower than the *ATPV*.

However, it is not necessary to determine the *EBT* with the statistical precision as required by 11.1.3.2 (i.e. based on a set of data points obtained from at least 20 specimens) if, after testing of a few specimens, it has become evident that the *EBT* is at least 20 % greater than the *ATPV*.

11.2 Procedure B – testing with mannequins

11.2.1 Test parameters and settings

The r.m.s. value of the symmetrical component of the arc current shall be $8 \text{ kA} \pm 0,5 \text{ kA}$, a $300 \text{ mm} \pm 15 \text{ mm}$ electrode gap, stainless steel electrodes and a $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ distance between the arc centre line and the surface of the mannequin.

If the manufacturer indicates that an *arc rating* shall be attributed to a *garment* or clothing, made of a *material* of which the *arc rating* determined according to Procedure A is known, the duration of the arc shall be selected such that the resulting *incident energy* exposure value shall be in the range $^{+25}_0$ % of the *arc rating* of the *material*.

However, the duration of the arc may be selected to be shorter than indicated above, if the test ordering party is not aiming to obtain an *arc rating* attributed to a *garment* or assembly of *garments* as high as the *arc rating* of the *material*.

The *monitor sensors* shall be adjusted as function of incident exposure energies as specified in 11.1.1 and in 6.2.3.2 and Table 1.

The recording of temperature data from the *monitor sensors* shall start prior to arc initiation to establish a reliable initial temperature of the *sensors* and shall continue at least 30 s after arc initiation.

11.2.2 Single test or sequence of tests with test specimen(s) of *garment* or *garment assembly*

For the evaluation of the response of a *garment* or an *assembly of garments*, at least one specimen of *garment* or *garment assembly* mounted on a mannequin shall be tested.

It may be necessary to carry out a sequence of tests at different *incident energy* exposures, with each test carried out on a new test specimen, in order to fulfil the following requirement for attributing an *arc rating* to a *garment* or *garment assembly*:

- Amongst the number of tested specimens, at least the specimen tested at the lowest *incident energy* shall meet the visual inspection criteria given in 12.6.2.

If the above requirement is not fulfilled, further tests at lower incident energies need to be carried out until the above requirement is fulfilled; otherwise no *arc rating* can be attributed to the *garment* or *garment assembly*.

It is recommended to test a specimen of *garment* or *garment assembly* at a targeted level of *incident energy* equal to (e.g. in the range $^{+10}_0$ % of) the *arc rating* of the *material* or *material*

assembly which it is made of, in order to evaluate whether an *arc rating* as high as the *arc rating* of the *material* or *material assembly* can be attributed to the *garment* or *garment assembly*.

NOTE 1 Usually, testing of further specimens at lower *incident energy* exposure will be carried out only if the previously tested specimens do not meet the visual inspection criteria. However, a manufacturer can also want to attribute an *arc rating* to a *garment* or *garment assembly*, which is (considerably) lower than the *arc rating* of the *material* or *material assembly*; in this case testing can deliberately be carried out at an incident exposure energy (considerably) lower than the *arc rating* of the *material* or *material assembly*.

NOTE 2 Experience has shown that *garments* and *garment assemblies* are usually designed and manufactured in such a way that testing of one, two or eventually three specimens is sufficient for attributing an *arc rating* to a *garment* or *garment assembly*.

If the above requirement for attributing an *arc rating* is fulfilled, the value of the *arc rating* shall be determined as follows.

- From the number of tested specimens, the specimen tested at the highest *incident energy*, which meets the visual inspection criteria given in 12.6.2, and for which it is also true, that all specimens tested at lower *incident energies* – if any – meet the visual inspection criteria, shall be selected.
- The value of the *incident energy* to which the selected specimen has been exposed during the test, shall be compared with the value of the *arc rating* of the *material* or *material assembly*, of which it is made,
- At most the lower of these two values shall be attributed to the *garment* or *garment assembly* as its *arc rating*.

Therefore, the *arc rating* of a *garment* or *garment assembly* will never be equal to or greater than the exposure *incident energy*, at which any tested specimen of the *garment* or *garment assembly* has failed the visual inspection criteria given in 12.6.2.

And therefore the *arc rating* of a *garment* or *garment assembly* will never be higher than the *arc rating* of the *material* or *material assembly* of which the *garment* or *garment assembly* is made.

11.3 Air ventilation and initial temperature of sensors

Testing shall be carried out in an essentially still air environment. If a forced ventilation system is used to ventilate the area in order to carry away combustion products, smoke and fumes, this ventilation shall not be turned on during exposure and until data acquisition is completed.

The temperature of the *sensors* before each *test shot* shall be between 15 °C and 35 °C.

The *sensors* may be cooled or heated for example after exposure with a jet of air or by contact with a cold or hot surface. It shall be confirmed by reading the *sensors* that their initial temperature is between 15 °C and 35 °C.

11.4 Specimen mounting

11.4.1 Procedure A – testing with panels

The specimen shall be fixed to the panel without stretching the *material* and in a manner that permits the specimen to shrink during arc exposure by help of the clamping system of the panel. If multiple-layer specimens are used, they shall be mounted in a manner that represents normal layering of clothing.

11.4.2 Procedure B – testing with mannequins

A *garment* intended to protect the torso and arms (e.g. shirts, jackets, vests, coveralls, bib combined with jacket) shall be mounted on a mannequin consisting of at least a torso, and shall be tested with the centre of the electrode gap at the height of the sternum, as shown in Figure 8 a).

A *garment* intended to protect legs (e.g. trousers) shall be mounted on a mannequin consisting of at least lower part of torso (including waist, hips, and crotch) with leg stubs, and shall be tested with the centre of the electrode gap at the height of the crotch, as shown in Figure 8 c). However, no such testing is required if the same *garment* components (e.g. clothing *materials*, sewing threads, hardware) and/or design features (e.g. elasticated waist band) have already been tested in a *garment* intended for the protection of the torso and arms and have met the visual performance requirements for such a *garment*.

A *garment* intended to protect torso, arms and also legs shall be tested when mounted as shown in Figure 8 a) and, if the lower part of the *garment* or *garment assembly* has *garment* components and/or features different from the components and/or features of the upper part, another specimen of this *garment* or assembly of *garments* shall be tested also when mounted as shown in Figure 8 c). However, no testing at position as shown in Figure 8 c) is required if the same *garment* components (e.g. clothing *materials*, sewing threads, hardware) and/or design features (e.g. elasticated waist band) have already been tested in a *garment* intended for the protection of the torso and arms and have met the visual performance requirements for such a *garment*.

In addition, *garments* which do not have the same closure system along the whole front and/or which have additional design features at the waist [e.g. (elastic) waist band] shall also be mounted on a mannequin consisting of at least a torso with leg stubs, and tested with the centre of the electrode gap at the height of the navel, as shown in Figure 8 b). However, no testing at position as shown in Figure 8 b) is required if the same design features have already been tested in a *garment* intended for the protection of the torso and arms and have met the visual performance requirements for such a *garment*.

Specimens of an assembly of *garments* worn on top of each other shall be tested with the centre of the electrode gap at the height(s) relevant for the outermost *garment* of the assembly.

The test specimens shall be mounted in a manner that represents the intended way of wearing the clothing together with accessories according to the manufacturer's instructions. Zippers shall not be cut. The mannequin shall be dressed in a test specimen with all the closures fastened. The test specimen shall be smoothed over the front of the mannequin and excess *material(s)* gathered behind the mannequin.

The mannequin shall be usually positioned in such a way that the front of the *garment* or *garment assembly* is exposed to the *electric arc*. If a *garment* or *garment assembly* contains also construction elements (e.g. side seams, doffing closure(s), accessories) and/or design features, which will not be adequately exposed to the *electric arc* when the mannequin is in its usual position, the position of the mannequin(s) shall be changed by turning it (e.g. by 90° for exposure from the side, or by 180° for exposure from the back). An additional *garment* or *garment assembly* shall be tested on the mannequin in a turned position, so that the respective *garment* construction element on the mannequin in the turned position is fully exposed from the front to the *electric arc*. The mannequin shall always be positioned in such a way that the closest distance between the part of the surface of the mannequin which will be exposed to the *electric arc*, and the centre line of the electrodes is 300 mm. However, no such testing at rotated position(s) is required if the same construction elements and/or design features have already been tested at equal or greater *incident energy* exposure in a *garment* intended for the protection of the torso and arms and have met the visual performance requirements for such a *garment*.

The mannequin shall be dressed prior to mounting of test *garment(s)* with white untreated cotton underwear. The basis weight of the underwear shall not exceed 180 g/m². The actual basis weight shall be reported. The white cotton underwear shall be used to subjectively detect heat transfer through the *garment(s)*, closures or interface area and to subjectively detect release of chemicals from the *garment(s)*, as far as such release may change the colour of the white undergarment. As an underlayer, the white untreated cotton will start to exhibit scorching or *charring* or both when receiving a heat exposure of approximately 85 kJ/m² (2 cal/cm²).

NOTE 1 Actual energy required to show onset of discolouration due to scorching or *charring* may vary depending on the actual weight of the underlayer.

NOTE 2 An example of successfully used underwear is $(170 \pm 8,5)$ g/m², white jersey knit cotton underwear briefs and (140 ± 7) g/m² white jersey knit, cotton crew-neck T-shirts.

NOTE 3 The test ordering party can specify that the underwear can be made alternatively from other *materials* and/or *materials* with other basis weight (e.g. synthetic *materials*, which can melt and/or release chemicals when hot, etc.) or that the testing be carried out without dressing the mannequin with underwear.

A description of the actual underwear used shall be recorded and reported in the test report.

11.5 Specimen description

The following test specimen data shall be recorded:

- a) identification number;
- b) product code of (each) *material* or (each) layer of *material* and/or *garment* tested;
- c) order of layering of *material* or *material assembly*, with outer layer listed first;
- d) *material* type of (each) layer or *material* (as and if indicated in manufacturer information);
- e) basis weight of (each) layer or *material* (as and if indicated in manufacturer information);
- f) weave/knit type of (each) layer or *material* (as and if indicated in manufacturer information);
- g) colour of outer and inner side of (each) *material*;
- h) number of specimens tested;
- i) actual average basis weight of test specimens after pre-treatment;
- j) information about whether it is known that the *material* or *material assembly* meets the flammability requirements of 4.3.3 of IEC 61482-2:2018;
- k) information about which value shall be attributed to the tested product as its *arc rating*: either a) *ATPV* or *EBT*, whichever of both is the lower one, or b) *ELIM*.

11.6 Test protocol

The *sensors* shall be inspected and reconditioned, if required, and the electrodes shall be adjusted to their correct position and gap and temperature.

In addition, the ambient temperature and relative humidity shall be measured and reported.

The fuse wire shall be mounted on electrodes.

Take all safety precautions and ensure that all persons are in a safe area.

Test specimens shall be exposed to the *electric arc*.

Values to be measured, recorded and reported for each bare and *test shot* shall be peak arc current, r.m.s. arc current, *arc duration*, *arc energy*, and r.m.s. *arc voltage*. A graph of the arc current shall be plotted to show proper waveform.

At the completion of the data acquisition period, the electric supply shall be shut off, the test area ventilated and the protective grounds applied (see Clause 7).

After data acquisition, any flames or fire shall be extinguished, unless it was predetermined to let the specimen(s) burn until the specimen self-extinguishes or is consumed.

The thermal and electrical data and *material response* as required by Clause 13 shall be determined and recorded.

12 Test results

12.1 Heat calculation

12.1.1 General

The arc initiation time corresponds to the time of the start of the arc, i.e. t_0 , as determined from the electrical arc signal according to 6.10.3.

An initial temperature of each *sensor* ($T_{0,i}$ for *sensor i*) prior to the arc exposure, i.e. prior to t_0 , shall be determined from the temperature data recorded up to t_0 .

All *sensor* temperature responses shall then be converted to *heat energy* in units of kJ/m², taking the temperature dependence of the heat capacity of copper into account, using formula (2).

12.1.2 Copper heat capacity

The heat capacity C_p in J/(g·K) of each copper *calorimeter* at the temperature T is calculated using

$$C_p = \frac{(A + B \times T + C \times T^2 + D \times T^3 + E \times T^4)}{63,546} \quad (1)$$

where

C_p is the heat capacity of copper in J/(g·K);

T is the temperature in K;

$A = 17,728\ 91$;

$B = 28,098\ 70 \times 10^{-3}$;

$C = -31,252\ 89 \times 10^{-6}$;

$D = 13,972\ 43 \times 10^{-9}$;

$E = 0,068\ 611 \times 10^{-6}$.

and 63,546 is the molecular weight for copper, in g.

NOTE 1 The heat capacity of copper in J/(g·K) at any temperature between 289 K and 1358 K is determined via formula (1) (Shomate equation with coefficients from NIST³).

NOTE 2 The value in cal/g K can be obtained by dividing the result in formula (1) by 4,1840 J/cal.

12.1.3 Incident and transmitted energy

The *heat energy* Q_i in kJ/m², to which the *sensor i* is exposed (i.e. which is incident onto the monitor *sensors* and onto panel *sensors*, which are not covered by a test specimen, or which is transmitted through test specimens onto panel *sensors*), is determined at each sampling time for all copper *calorimeters* (*monitor sensors* and *panel sensors*) by using the relationship

$$Q_i = \frac{10 \times m_i}{a_i \times 63,546} \times \left[A \times (T_i - T_{0,i}) + B \times \left[\frac{T_i^2 - T_{0,i}^2}{2} \right] + C \times \left[\frac{T_i^3 - T_{0,i}^3}{3} \right] + D \times \left[\frac{T_i^4 - T_{0,i}^4}{4} \right] + E \times \left[\frac{1}{T_{0,i}} - \frac{1}{T_i} \right] \right] \quad (2)$$

³ CHASE, M.W., Jr., NISI-JANAF Thermochemical Tables, Fourth Edition, J. Phys. Chem. Ref. Data, Monograph 9, 1998, 1-1951.

where

- Q_i is the *heat energy* for *sensor i* in kJ/m²;
 m_i is the mass of the copper disc of the *sensor i* in g;
 T_i is the temperature of copper disc of the *sensor i* at each sampling time in K;
 $T_{0,i}$ is the initial temperature of copper disc of the *sensor i* at t_0 (arc initiation time) in K;
 a_i is the area of the exposed copper disc of the *sensor i* in cm².

NOTE 1 This formula is obtained by analytical integration of formula (1) according to:

$$Q = \frac{m}{a} \times \int_{T_0}^T C_p dT \quad (3)$$

- Q is the *heat energy* for *sensor* in kJ/m²;
 m is the mass of the copper disc of the *sensor* in g;
 T is the temperature of copper disc of the *sensor*;
 a is the area of the exposed copper disc of the *sensor* in cm².

This formula makes it unnecessary to use approximate numerical integration methods for determining the *incident energy* vs. time curve.

NOTE 2 Q_i can be expressed in cal/cm² by dividing the value obtained in formula (2) by 41,840.

12.1.4 Panel *sensor* response (transmitted energy (E_t) comparison with *Stoll* curve)

From the energy data obtained from the two *sensors* on each panel, i.e. the data of energy transmitted through the test specimens (thus incident onto the surfaces behind the test specimens), an average transmitted energy data array $Q_{t,avg}$ shall be calculated for each tested specimen as follows:

For each sampling interval, the average transmitted energy shall be calculated from the *incident energy* values from the two *sensors* and not from any curves mathematically fitted to the *incident energy* values.

The *Stoll curve* is given by formula (4), where t is the time value in seconds since the initiation of the arc exposure, i.e. since t_0 .

The *Stoll* response Q_{Stoll} can be expressed in kJ/m² via:

$$Q_{Stoll} [\text{kJ/m}^2] = 50,204 \times t^{0,2901} [t \text{ in s}] \quad (4)$$

NOTE $Q_{Stoll} [\text{cal/cm}^2] = 1,1991 \times t^{0,2901} [t \text{ in s}]$.

Onto the plot of the average transmitted energy data values obtained for a test specimen (i.e. from a panel covered by a test specimen), the *Stoll curve* shall be superposed in such a way that the start of the *Stoll curve* coincides with the value t_0 , i.e. the value zero on the x -axis (time axis).

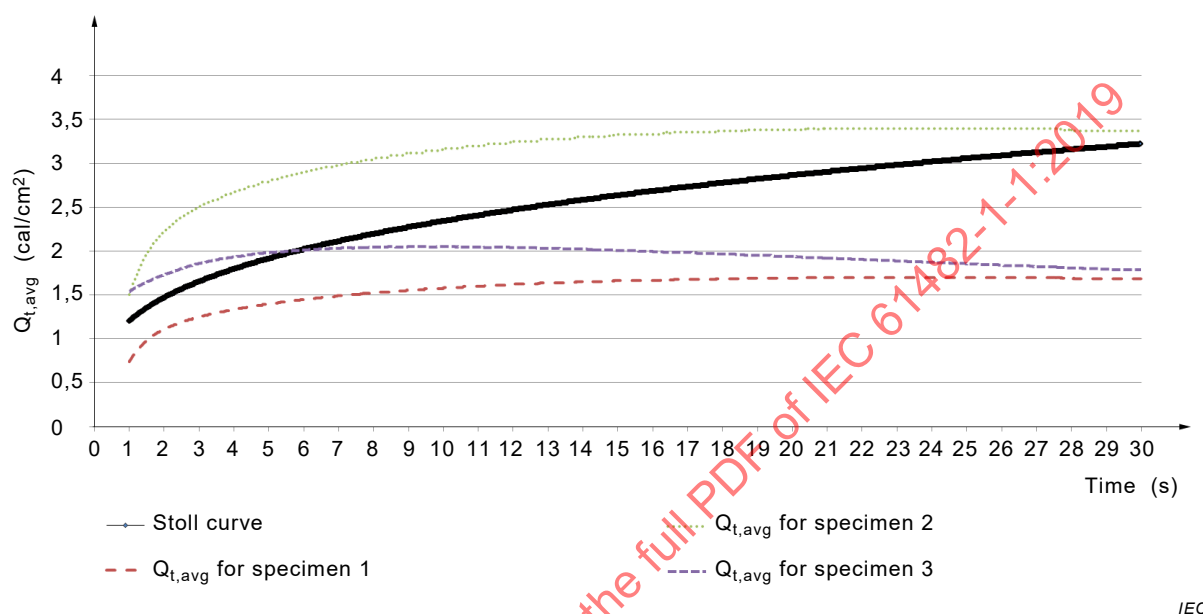
The average transmitted energy data array of all tested specimens shall be compared with the *Stoll curve*.

The time interval from the initiation of the arc, i.e. t_0 , up to 1 s shall not be considered for the comparison; the comparison shall be made only in the time range starting 1 s after arc initiation (t_0) up to 30 s.

As result of the comparison, the following binary response values Y shall be recorded:

- $Y = 1$ for a $Q_{t,avg}$ data array which is equal to or exceeding the *Stoll curve* criteria (i.e. crosses or is above the *Stoll curve*) in the time interval between 1 s and 30 s;
- $Y = 0$ for a $Q_{t,avg}$ data array which does not exceed the *Stoll curve* criteria (i.e. does not cross and is not above the *Stoll curve*) in this time interval.

Figure 11 gives the typical average transmitted energy curves $Q_{t,avg}$ for test specimens.



Key

Specimen 1	$Q_{t,avg}(t)$ curve is always below <i>Stoll curve</i>	$Y = 0$
Specimen 2	$Q_{t,avg}(t)$ curve is always above <i>Stoll curve</i>	$Y = 1$
Specimen 3	$Q_{t,avg}(t)$ curve is crossing <i>Stoll curve</i>	$Y = 1$

Figure 11 – Typical average transmitted energy curves $Q_{t,avg}$ (i.e. average response of the two sensors of same panel) for test specimens

12.1.5 Monitor sensor responses (*incident energy* (E_i))

The *incident energy* to which the test specimens have been exposed shall be determined from the *incident energy* curves obtained from the *monitor sensors*.

For each sampling interval, the average shall be calculated from the *incident energy* values from the two *sensors*, and not from any curves mathematically fitted to the *incident energy* values.

From the *incident energy* values for each sampling interval, calculated for each of the two *monitor sensors* next to each panel or each mannequin (i.e. by the *sensors*, which are on the left and right side of a panel or mannequin), average values for each sampling interval shall be calculated and the maximum of these average values shall be determined. The average shall be determined from the sampling data acquired, and not from any curves mathematically fitted to the data. The resulting maximum value shall be considered as the incident heat energy, E_i , delivered to each respective panel or mannequin.

If a *monitor sensor* is at different distance from the centre line of the arc than the panel or mannequin next to which it is positioned, the values of energy versus time calculated for a

monitor sensor (i.e. the values of the *incident energy* curve) shall be corrected by an *incident energy* correction factor. The *incident energy* correction factor shall be the square of the ratio of the actual distance of the *monitor sensor* divided by the actual distance of the panel or mannequin next to which the *monitor sensor* is positioned (see 9.3.2).

12.2 Determination of arc thermal performance value (ATPV)

A minimum of 20 measured panel responses (see 11.1.2) shall be used to calculate an *ATPV* value. If more than 20 points are collected during a specific test exposure sequence, all valid data points shall be used in determining *ATPV*.

A nominal logistic regression shall be performed on the resulting test data (See Annex A for discussion of the logistic regression technique.).

- The *incident energy* to which a specimen on the panel has been exposed, calculated from the maximum average *incident energy monitor sensor* response (see 12.1.5), is used as the independent continuous variable, X , for each panel.
- A corresponding nominal binary Y response value “1” (the dependent variable) is attributed if the averaged *panel sensor* response for the tested specimen equals or exceeds the *Stoll* criteria in the time interval between 1 s and 30 s, or a value “0” is attributed if the response does not equal nor exceed the *Stoll* criteria in this time interval (see 12.1.4).

The logistic regression shall be used to determine values of slope and intercept to calculate (inverse prediction) the 50 % probability value of exceeding the *Stoll curve* criteria. This is the *ATPV* result, or the *incident energy* value that would just intersect the *Stoll curve* criteria. The *ATPV* value is determined as:

$$ATPV = \left| \frac{I}{S} \right| \quad (5)$$

where

I is the *intercept*;

S is the *slope*.

12.3 Determination of breakopen threshold energy (EBT)

If it is required to determine the *EBT* (see 11.1.3), the following technique shall be used.

Breakopen energy response is evaluated in a similar manner to an *ATPV* determination. This is done using the *material breakopen* and *shrink-open* information (see 3.1.9 and 3.1.35) coupled with the *incident energy*, E_i , determined in 12.1.5. If *shrink-open* occurs, it shall be treated as *breakopen*.

A nominal logistic regression shall be performed on the resulting test data. The maximum average *incident energy monitor sensor* response is used as the continuous variable, X . The corresponding nominal binary Y value response is the *material breakopen* response. A binary response value of $Y = 1$ shall be recorded for each panel that exhibits *breakopen* or *shrink-open*, and a value of $Y = 0$ for those that do not.

The logistic regression shall be used to determine values of slope and intercept to calculate (inverse prediction) the 50 % probability value of *material breakopen*. This is the *EBT* value, or the *incident energy* value that would just predict *breakopen*. The *EBT* value is determined as

$$EBT = \left| \frac{I}{S} \right| \quad (6)$$

where

I is the *intercept*;
 S is the *slope*.

12.4 Determination of the *incident energy limit (ELIM)*

The *ELIM* shall be determined in the following way. A binary response value of $Y = 1$ shall be recorded for each *incident energy* data point that exhibits reaching or exceeding of the *Stoll curve* in the time interval between 1 s and 30 s or exhibits *breakopen* or *shrink-open*, and a binary response value of $Y = 0$ for those data points that do not.

The *ELIM* shall be calculated as the average of the three highest *incident energy* data points just below the *mix zone*, i.e. with binary response $Y = 0$, i.e. without *breakopen*, without *shrink-open* and without reaching nor exceeding the *Stoll curve* criteria in the time interval between 1 s and 30 s. If the *mix zone* is empty, the *ELIM* is the average of the three highest *incident energy* data points without *breakopen*, without *shrink-open* and without reaching nor exceeding the *Stoll curve*.

12.5 Visual inspection

Effects of the exposure on the *material(s)* or *clothing* specimens shall be observed and reported:

- during the arc exposure;
- after the arc exposure but prior to removal of the *material(s)* from the panel(s) or the *clothing* from the mannequins;
- after the exposed specimens have cooled and careful removal of the *material(s)* from the panel(s) or the *clothing* from the mannequins.

The effects caused by the exposure and eventually amplified by the careful removal shall be considered and rated according to Table 2. The observations shall be described and reported by, for example, the following terms: *breakopen*, *ablation*, *shrink-open*, *melting*, *dripping*, *ignition*, *afterflame time*, self-extinguishing, *charring*, *embrittlement*, *shrinkage*, colour change. Also the functioning of closures and other accessories of the *garment* shall be reported.

NOTE Observations can be made based on real time observation and/or from video recording.

Table 2 – Reporting requirements and rating of visual inspection performance in case of testing clothing *material(s)* according to Procedure A and *garment(s)* or an assembly of *garments* according to Procedure B

Observed effect	Time / duration of observation	Reporting requirements and rating of visual inspection performance in case of testing according to	
		Procedure A	Procedure B
<i>Breakopen</i>	prior to removal from the panel/mannequin	"yes" or "no"	"yes" (optionally indicate location and size of area of <i>breakopen</i>) or "no"

Observed effect	Time / duration of observation	Reporting requirements and rating of visual inspection performance in case of testing according to	
		Procedure A	Procedure B
Ablation	prior to removal from the panel/mannequin	“yes” (indicate which layer(s)) or “no”	“yes” (indicate which layer(s) and optionally location and size of area of <i>ablation</i>) or “no”
<i>Shrink-open</i>	prior to removal from the panel	“yes” or “no”	not applicable
<i>Melting and/or dripping</i>	during arc exposure and up to removal from the panel/mannequin	“yes” or “no”	“yes” or “no”
<i>Ignition</i>	during arc exposure and up to removal from the panel/mannequin	“yes” or “no”	“yes” (optionally indicate location and size of area of <i>ignition</i>) or “no”
<i>Afterflame time</i>	after arc exposure up to removal from the panel/mannequin	time, rounded to full seconds	time(s) rounded to full seconds and area(s) of burning
In case of <i>ignition</i> , self-extinguishing	during arc exposure and up to removal from the panel/mannequin	“yes” or “no”	“yes” or “no”
<i>Charring</i>	prior and after removal from the panel/mannequin	“yes” (reporting of location and size of area of <i>charring</i> are optional) or “no”	“yes” (reporting of location and size of area of <i>charring</i> are optional) or “no”
<i>Embrittlement</i>	after removal from the panel/mannequin	“yes” (reporting of location and size of area of <i>embrittlement</i> are optional) or “no”	“yes” (reporting of location and size of area of <i>embrittlement</i> are optional) or “no”
Expansion and <i>shrinkage</i>	after removal from the panel/mannequin	expansion of <i>material</i> , or no <i>shrinkage</i> , or moderate <i>shrinkage</i> , or excessive <i>shrinkage</i>	expansion of <i>material</i> , or no <i>shrinkage</i> , or moderate <i>shrinkage</i> , or excessive <i>shrinkage</i>
Functioning of closures which are essential for rapid undressing of test clothing after arc exposure	prior to removal from the panel/mannequin	applicable only in case of optional testing of <i>material</i> samples containing closures: “yes” or “no”	“yes” or “no”
Functioning of other closures and/or of closures of accessories (e.g. pockets) of <i>garments</i>	prior to removal from the panel/mannequin	applicable only in case of optional testing of <i>material</i> samples containing closures: “yes” or “no”	“yes” or “no”
Change of colour	prior and after removal from the panel/mannequin	“yes” and description of colour change or “no”	“yes” and description of colour change or “no”

Observed effect	Time / duration of observation	Reporting requirements and rating of visual inspection performance in case of testing according to	
		Procedure A	Procedure B
Change of colour of white cotton underwear	On mannequin after removal of the tested clothing	not applicable	“yes” and description(s) and location(s) of colour change(s), or “no”

In case of testing of *garment(s)* or assemblies of *garments* with underwear according to Procedure B, the effect of the exposure on the underwear shall be described, reported and rated according to Table 2. It may be investigated, in particular, whether off gases or other release of chemicals from the test *garment(s)* during the exposure may have caused some change of colour or deterioration of other properties of the underwear.

12.6 Arc rating

12.6.1 Arc rating of a material or material assembly

The *ATPV* shall be reported as the *arc rating* of the tested *material* or *material assembly*, if according to 11.1.3 it has not been necessary to determine also the *EBT* and/or if an *EBT* value has been determined and it is found to be above the determined *ATPV*.

If an *EBT* value has been determined and been found to be below a determined *ATPV*, then the *EBT* value shall be reported as the *arc rating* of the tested *material* or *material assembly*.

If it has been specified that the *arc rating* shall be given by the value of the *ELIM* and not by the value of the *ATPV* or *EBT*, the *ELIM* shall be determined and reported.

12.6.2 Arc rating of a garment or garment assembly

The *arc rating* of the *material* or *material assembly*, of which a *garment* or *garment assembly* is made, shall be determined according to Procedure A, prior to testing specimens of the *garment* or *garment assembly* according to Procedure B for the purpose of attributing an *arc rating* to the *garment* or *garment assembly*.

The *incident energy* at which specimen(s) shall be tested and how the *arc rating* shall be determined based on the visual assessment of tested specimen(s), are specified in 11.2.2.

The purpose of the *garment* visual assessment criteria is to assess the observed effects on all components (sewing thread, closures, buttons, reflective tapes, logos, labels, embroideries, belts, optional extras, etc.) of the *garment* or *garment assembly* other than the *material(s)* of which the *garment* or *garment assembly* is made.

A specimen of a *garment* or *garment assembly* shall be considered as fulfilling the visual assessment criteria if it meets the requirements given in Table 3.

Table 3 – Visual assessment criteria in case of testing *garment(s)* or a *garment assembly* according to Procedure B

Observed effects	Time / duration of observation	Visual assessment criteria	Observed effects not impacting the <i>arc rating</i> but which should be noted
<i>Melting and/or dripping</i>	during arc exposure and up to removal from the mannequin	No <i>dripping</i> and no molten flaming debris from the components (e.g. sewing thread, closures, buttons, reflective tapes, logos, labels, embroideries, belts).	<i>Melting</i> of components without <i>dripping</i> and molten flaming debris.
<i>Melting</i>	after removal from the mannequin	No <i>melting</i> of the components (e.g. closures, buttons, reflective tapes, logos, labels, embroideries, belts) through to the inner side of the <i>garment</i>	
<i>Afterflame time</i>	after arc exposure up to removal from the mannequin	No burning of components (e.g. sewing thread, closures, buttons, reflective tapes, logos, labels, embroideries, belts) for more than 5 s after arc exposure.	This criterion is not applicable for labels, embroideries or other added decorations with a surface area of less than 10 cm ² (see ISO 11612:2015, 6.3.2.4).
Functioning of closures which are essential for rapid undressing of test clothing after arc exposure	when removing from the mannequin	From the state of the clothing being closed to being fully opened, the action of opening by a person shall not last more than 30 s. (See IEC 61482-2:2018, 5.2.5)	
<i>Breakopen</i> (if the <i>arc rating</i> shall be given as <i>ELIM</i>)	prior to removal from the mannequin	No <i>breakopen</i> through all the layers of test clothing	This criterion is not applicable in case that the <i>arc rating</i> shall be given as <i>ATPV</i> or <i>EBT</i>

The visual assessment criteria are necessary within this test method stand, for the purpose of being able to attribute an *arc rating* to a *garment* or *garment assembly*.

13 Test report

13.1 Reporting requirements common for tests according to Procedures A and B

The test report shall contain the following basic test report information:

- name of the test institute which has carried out the test;
- test report identification number;
- date of test;
- name of the test ordering party (e.g. manufacturer);
- number and edition of this test standard, indicating also which Procedure has been carried out (i.e. Procedure A or B). Any deviation from the standard shall be indicated and the reason for the deviation given and explained;
- specimen data described as indicated in 11.5;

- g) information about pre-treatment of test specimens, i.e. cleaning process used and number of cleaning cycles applied to the test specimens;
- h) information about pre-conditioning, i.e. room temperature and humidity where samples were kept prior to testing.

The test report shall contain also:

- the information according to 13.2, if a *material* or *material assembly* has been tested according to Procedure A, or
- the information according to 13.3, if a *garment* or *garment assembly* has been tested according to Procedure B.

The values of *ATPV*, *EBT*, and/or *ELIM*, reported in 13.2 or 13.3 as resulting from testing according to either Procedure A or B, when given in units of cal/cm², shall be rounded down to the first digit after the decimal point in case of the value being less than 10 cal/cm², and shall be rounded down to the last digit before the decimal point in case of the value being greater than 10 cal/cm².

The values of *ATPV*, *EBT*, and/or *ELIM*, reported in 13.2 or 13.3 as resulting from testing according to either Procedure A or B, when given in units of kJ/m², shall be rounded down to the last digit before the decimal point in case of the value being less than 1 000 kJ/m² and shall be rounded down to the second digit before the decimal point in case of the value being greater than 1 000 kJ/m².

Additional information to comply with ISO/IEC 17025 or with another set of requirements for the competence of testing and calibration laboratories may be necessary.

If requested, the exposed specimens and unused specimens shall be returned to the person requesting the test, in accordance with any prior arrangement. All test specimens shall be marked with a reference to the *test shot* number, date.

13.2 Reporting requirements specific for tests according to Procedure A

If a *material* or *material assembly* has been tested according to Procedure A, the following information specific for Procedure A shall be reported.

- a) Number of specimens tested.
- b) The *arc rating* attributed to the *material* or *material assembly* according to 12.6.1, if determined, shall be given in the units of kJ/m² and in the units of cal/cm².
- c) If no *arc rating* has been determined, it shall be stated "Warning: No arc-rating has been determined", and the reason no *arc rating* has been determined shall be stated.
- d) If no *arc rating* could be determined, it shall be stated "Warning: No arc-rating could be determined", and the reason no *arc rating* could be determined shall be stated.
- e) Plot of logistic regression curve(s) for the determination of the *ATPV* and/or *EBT*, indicating the values of the *ELIM* and of at least the *ATPV* and/or *EBT*, whichever of these is the lower value.
- f) If requested, the 95 % confidence level of the determination of the *ATPV* by logistic regression, if determined, and/or the 95 % confidence levels of the determination of the *EBT* by logistic regression, if determined, shall be given in the units of kJ/m² and in the units of cal/cm² (see annex B).

The test report about testing according to Procedure A may be split into a main summary part and a related annex:

- g) a main summary part containing the information according to 13.1 and the above information items a) to f);
- h) a related annex containing detailed information about *bare shots* and *test shots*, as specified below.

In addition, the following information shall be reported for each *test shot* and for each *bare shot* (i.e. for the *bare shot* carried out before and the *bare shot* carried out after the reported series of *test shots* and for any *bare shots* carried out between *test shots* of the reported series of *test shots*):

- conditions of each test (i.e. of each single *test shot*), including
 - *test shot* number (i.e. number of single *test shots*),
 - actual measured arc current r.m.s.(in A),
NOTE AC component only.
 - actual measured peak arc current (in A),
 - actual measured *arc voltage* (in V),
 - actual measured *arc duration* (in s),
 - *arc energy* (in kJ),
 - plot of actual arc current and *arc voltage* versus time.

For each *bare shot*, also the following information shall be reported:

- actual distances between the centre line of the arc electrodes and the surfaces of panel and monitor *sensors*;
- plot of the *incident energy* values E_i measured by each single panel and monitor *sensor*, and list of the average, highest and lowest *incident energy* values which needed to be determined for verifying the fulfilment of the *incident energy* distribution requirements according to 9.3;
- report of any abnormalities relating to the test apparatus.

For each *test shot*, also the following information shall be reported:

- for each panel, the *incident energy* E_i (in cal/cm² and kJ/m²) delivered to the panel, i.e. the average response from the pair of the two monitor *sensors*, according to 12.1.5;
- for each panel, the plot of the average response from the pair of the two panel *sensors* (transmitted energy) together with the *Stoll curve*, according to 12.1.4;
 - if requested, for each panel, photographs of test specimen before testing and after testing on the panel and after removal from the panel;
 - the relevant visual inspection performance as required according to 12.5, for each test specimen;
 - report of any abnormalities relating to the test apparatus.

13.3 Reporting requirements specific for tests according to Procedure B

If a *garment* or *garment assembly* has been tested according to Procedure B, the following information specific for Procedure B shall be reported:

- a) number of specimens tested;
- b) description of mounting of each *garment* or *garment assembly* tested (11.4.2):
 - according to which position (Figure 8a, b, or c),
 - testing from front or angle of rotated mannequin (e.g. 90° for testing from the side, 180° for testing from the back),
 - testing with or without underwear (see last paragraphs of 11.4.2), including reporting of area weight of underwear;
- c) photograph of the *garment* or photographs of the *garments* of an assembly before the arc exposure;

- d) photograph of a specimen of the *garment* or *garment assembly* after exposure – the photograph shall show the specimen which has been exposed to an *incident energy* nearest to the *arc rating* of the *garment* or *garment assembly*;
- e) the *arc rating* of the *material* of the *garment* or of the *material assembly* representative of the *garment* or *garment assembly* as quoted by the test ordering party shall be given in the units of kJ/m^2 and in the units of cal/cm^2 and also at least the identification number of one test report according to Procedure A which supports the *arc rating* quoted by the test ordering party shall be given;
- f) if an *arc rating* has been attributed to the *garment* or *garment assembly* according to 12.6.2, the *arc rating* of the *garment* or *garment assembly* shall be given in the units of kJ/m^2 and in the units of cal/cm^2 ;
- g) if no *arc rating* has been determined, it shall be stated “Warning: No arc-rating has been determined”, and the reason no *arc rating* has been determined shall be stated;
- h) if no *arc rating* could be determined, it shall be stated “Warning: No arc-rating could be determined”, and the reason no *arc rating* could be determined shall be stated.

In addition, the following information shall be reported for each *test shot* and for each *bare shot* (i.e. for the *bare shot* carried out before and the *bare shot* carried out after the reported single *test shot* or series of *test shots* and for any *bare shots* carried out between *test shots* of the reported series of *test shots*):

- conditions of each test (i.e. of each single *test shot*), including
 - *test shot* number (i.e. number of single *test shots*),
 - actual measured arc current r.m.s.(in A),

NOTE AC component only.

- actual measured peak arc current (in A),
- actual measured *arc voltage* (in V),
- actual measured *arc duration* (in s),
- *arc energy* (in kJ),
- plot of actual arc current and *arc voltage* versus time.

For each *bare shot*, also the following information shall be reported:

- actual distances between the centre line of the arc electrodes and the surfaces of monitor *sensors* and the closest surface points of mannequins;
- plot of the *incident energy* values E_i measured by each single panel and monitor *sensor*, and list of the average, highest and lowest *incident energy* values which needed to be determined for verifying the fulfilment of the *incident energy* distribution requirements according to 9.3;
- report of any abnormalities relating to the test apparatus.

For each *test shot*, also the following information shall be reported:

- for each mannequin, the *incident energy* E_i (in cal/cm^2 and kJ/m^2) delivered to the mannequin, i.e. the average response from the pair of the two monitor *sensors*, according to 12.1.5;
- if requested, for each mannequin, photographs of test specimen of *garment* or *garment assembly* before testing and after testing on the mannequin and after removal from the mannequin;
- the relevant visual inspection performance as required according to 12.5 for each test specimen;
- indication, for each test specimen, of which of the relevant visual assessment criteria according to 12.6 have been fulfilled or not;
- report of any abnormalities relating to the test apparatus.

Annex A (informative)

Logistic regression technique

Binomial logistic regression is a form of regression used when the dependent variable is limited to two binary responses (dichotomy) and the independent variable is continuous (it can also be applied to multiple continuous independent variables). The logistic regression technique applies maximum likelihood estimation after transforming the dependent variable into a probability variable, the natural logarithm of the odds of the dependent occurring or not. It thus generates an estimate of the probability of a certain event occurring by solving the following:

$$\ln \left[\frac{p}{1-p} \right] = a + bx + R$$

or

$$\left[\frac{p}{1-p} \right] = e^a \times e^{bx} \times e^R$$

where

- $\ln$ is the natural logarithm;
- p is the probability that event Y occurs, p ($Y = 1$);
- $p/(1-p)$ is the odds ratio; $(1-p)$ is the probability that event Y does not occur;
- $\ln [p/(1-p)]$ is the log odds ratio;
- R is the error.

NOTE The right hand side of the formula is the standard linear regression form.

The logistic regression model is simply a non-linear transformation of the linear regression model. The logistic distribution is an S-shaped distribution function that is somewhat similar to the standard normal distribution. The logit distribution estimated probabilities lie between 0 and 1. This can be seen by rearranging the equation above and solving for p :

or

$$p = \left[\frac{1}{1 + e^{-(a+bx)}} \right]$$

If $(a+bx)$ becomes large, p tends to 1, when $(a+bx)$ becomes small, p tends to 0, and when $(a+bx) = 0$ then $p = 0,5$ (the value used for *ATPV* and *EBT* in this method). The 50 % probability value is the point where the probability of occurring/not occurring is identical and would represent, in the case of the *ATPV* measurement, the point at which you just crossed the *Stoll curve*.

The analysis technique makes no assumptions about linearity of the relationship between the independent variable and the dependent, does not require normally distributed variables, does not assume the error terms are homoscedastic (the variance of the dependent variable is the same with different values of the independent variable – a criterion for ordinary least squares regression), and in general has less stringent requirements.

Operationally, a dummy variable of 1 or 0 is utilized to represent the particular binary response of the dependent item measured. In the *ATPV* example above, the coding of the dependent variable corresponds to:

$Y = 1$ if the heat response of the *calorimeter* equals or exceeds the *Stoll curve*,

$Y = 0$ if the heat response of the *calorimeter* does not exceed the *Stoll curve*.

The independent, continuous variable in this case is the *incident energy* from the thermal arc exposure.

There are several commercial and free software packages that can be used to perform this analysis.

A logistic regression is performed from a series of measurements and the values for a and b are determined (plus a host of other descriptive features – see the particular documentation for the software package used). The Stoll criterion (or *breakopen* response) is then determined by calculating x at the $p = 0,5$ or 50 % probability value, which from above is simply where $(a + bx) = 0$ or

$$x = \left| \frac{a}{b} \right|$$

The absolute value is used here since some packages express their model calculation in the reverse manner (p = probability not occurring, etc.), which flips the S-shaped distribution. This can introduce a negative sign on the value of a or b , however the value at the 50 % probability point is the same.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61482-1-1:2019

Annex B (informative)

95 % confidence intervals of *ATPV* and *EBT*

Annex B exemplifies the *ATPV* 95 % confidence interval calculations as it is important information and no other uncertainty propagation procedure for *ATPV* and *EBT* is regarded. The 95 % probability relates to the reliability of the logistic regression procedure based on the sample of measured data points. The 95 % confidence interval does not mean that for a given realized interval calculated from the sample data there is a 95 % probability the population parameter, i.e. the *arc rating* value *ATPV* or *EBT*, lies within the interval, nor that there is a 95 % probability that the interval covers the population parameter.

The *arc rating* values *ATPV* and *EBT* are based on logistic regression as follows:

$$p = \left[\frac{e^{(a+bx)}}{1 + e^{(a+bx)}} \right]$$

or

$$p = \left[\frac{1}{1 + e^{(-a-bx)}} \right]$$

where

x is the independent variable (heat energy);

a and b are intercept and regression coefficient, respectively.

When $p = 0,5$ (50 %), $x = |a/b|$.

The probability density function (PDF) for the logit is presented in Figure B.1.

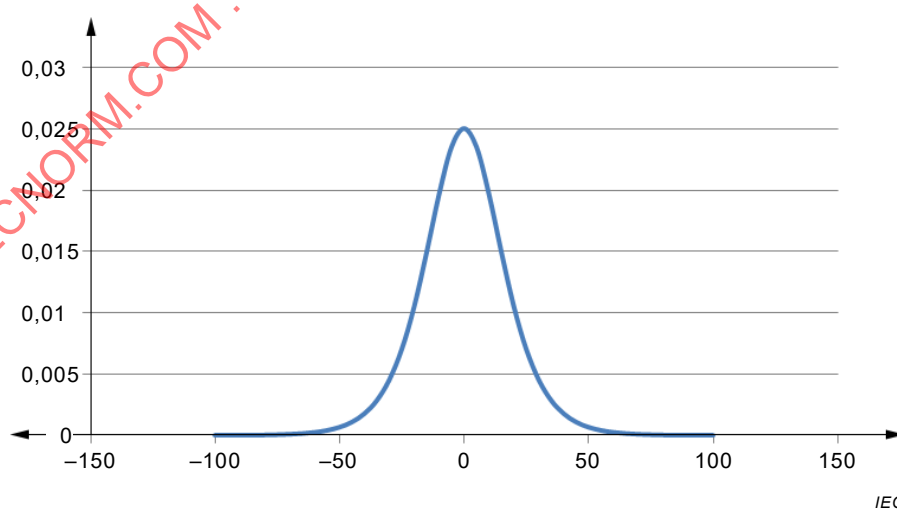


Figure B.1 – Probability density function (PDF)

Its cumulative density function (CDF), described by the probability formulas, is presented in Figure B.2.

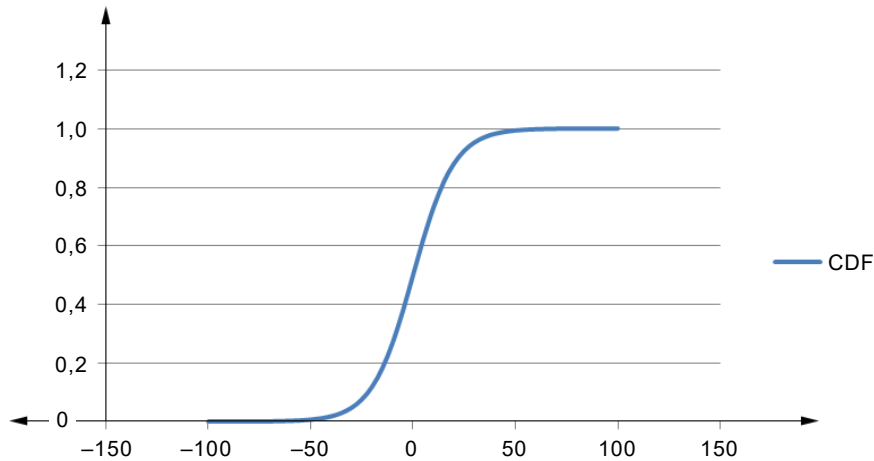


Figure B.2 – Cumulative density (CDF)

The determination of *ATPV/EBT* has as basis the logistic regression fitting represented by logit CDF. The linearization of this probability function can be described as:

$$Y = a + bE$$

The confidence intervals of the CDF can be obtained by the covariance matrix resulting from the fitting procedure, using as inputs the incident energies (E_i) and binary burning evaluations according to Stoll or breakopen inspections (p_i), for *ATPV* or *EBT* respectively. With parameters variances, defined as V_a and V_b and covariance V_{ab} , obtained from the covariance matrix diagonal and side, we have the following definition for the asymptotic standard variation *ASE*:

$$ASE = (V_a + 2V_{ab}E + V_bE^2)^{1/2}$$

This is based on the general error propagation rule:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N c_i c_j u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j)$$

where $u_c^2(y)$ is the combined variance of an estimated parameter y considering every variance $u^2(x_i)$ in the measurement process. Partial derivatives c_i are given for the measuring function relation f as $\left[\frac{\partial f}{\partial x_i}\right]$. $r(x_i, x_j)$ is the correlation coefficient within estimations x_i and x_j . The correlation coefficient can be determined as a function of covariance $u(x_i, x_j)$ as:

$$r(x_i, x_j) = \frac{u(x_i, x_j)}{u(x_i)u(x_j)}$$

For confidence levels within 95 % (upper and lower limits), the logit function is defined as:

$$Y_{i\text{lower}} = Y_i + 1,96 ASE_i$$

$$Y_{i\text{upper}} = Y_i - 1,96 ASE_i$$

Probabilities are obtained as:

$$P_{\text{lower}} = \exp(Y_{\text{lower}}) / [1 + \exp(Y_{\text{lower}})]$$

$$P_{\text{upper}} = \exp(Y_{\text{upper}}) / [1 + \exp(Y_{\text{upper}})]$$

An example is shown by the following data (Table B.1) and the graph with probability, lower and upper limits (Figure B.3).

Table B.1 – Example of *incident energy X* and binary response *Y* (fulfilment of Stoll criteria) for 21 test shots

Test	<i>Incident energy, X</i> cal/cm ²	Stoll criteria	Binary response, <i>Y</i>
1	6,4	NO	0
2	7,1	NO	0
3	7,3	NO	0
4	7,9	NO	0
5	7,9	NO	0
6	8	NO	0
7	8,4	NO	0
8	8,5	NO	0
9	8,9	NO	0
10	9,2	YES	1
11	9,3	NO	0
12	9,7	YES	1
13	9,7	NO	0
14	10	NO	0
15	10,1	YES	1
16	10,6	YES	1
17	10,8	YES	1
18	10,9	YES	1
19	10,9	YES	1
20	11,1	YES	1
21	11,4	YES	1

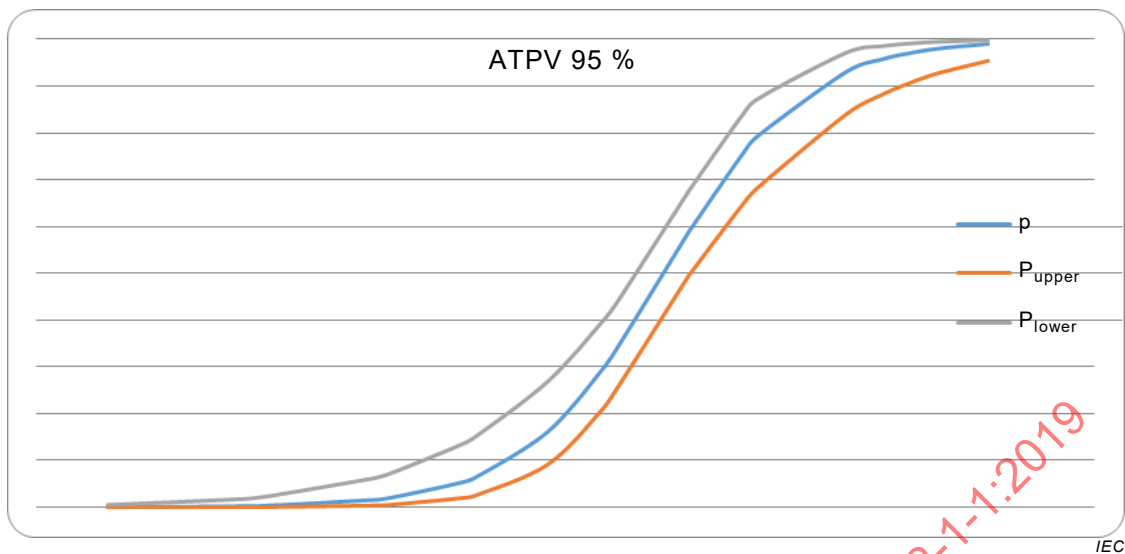


Figure B.3 – Graph with probability, lower and upper limits

Data reported:

$$ATPV = 9,6 \text{ cal/cm}^2$$

$$ATPV_{lower} = 9,4 \text{ cal/cm}^2$$

$$ATPV_{upper} = 9,7 \text{ cal/cm}^2$$

Ablation

Annex C (informative)

Iterative process of *test shots* of Procedure A

There is a wide variety of ways to arrive at the end of the test sequence with all data set statistical requirements met as required by the Procedure A for the determination of the values of *ATPV* and/or *EBT* and/or *ELIM* (see 11.1.3.1). Any specific sequence of shots is a matter of the experience and preferences of a test person or manufacturer representative.

The iterative process for the determination of the *ATPV* described below is an example for a common sequence of *test shots* that would guarantee the compliance of the set of data points with the statistical requirements.

- a) After having obtained the first three data points (e.g. after having completed one arc exposure with three panels), assuming binary responses *Y* of “0” and “1” (i.e. “1” for heat transfer responses above the *Stoll curve* criteria in the time interval between 1 s and 30 s), a first estimate of the *ATPV* can be determined. If not, one or more further *test shots* need to be carried out in order to obtain a set of data points which contains binary responses *Y* of “0” and “1”, so that a first estimate of the *ATPV* can be calculated.
- b) Using this estimation, the *arc durations* for the remaining *test shots* can be decreased or increased so that the requirements a), b) and c) of 11.1.3.1 will be fulfilled.

NOTE 1 For example, if the approximated *ATPV* is 272 kJ/m² (6,5 cal/cm²) then *arc durations* for the next *test shot(s)* are selected such that the incident energies on the panels during the next *test shot(s)* will fall with the range of 218 kJ/m² to 327 kJ/m² (5,2 cal/cm² to 7,8 cal/cm²).

- c) As each successive *test shot* is performed, a new estimate of the *ATPV* can be calculated according to 12.2 and the accuracy of the *ATPV* estimation will improve so that the *incident energy* target range of *ATPV* ± 20 % can also be more accurately established.

NOTE 2 In the example above, 10 of the data points would need to have *incident energy* values within the range of 218 kJ/m² to 327 kJ/m² (5,2 cal/cm² to 7,8 cal/cm²) for a *material* with an *ATPV* of 272 kJ/m² (6,5 cal/cm²).

If less than 10 data points fall in this range, additional tests will be needed until 10 data points of the total data points have *incident energy* values within 20 % of the *ATPV* calculated from all the obtained data points.

NOTE 3 A least-squares fit of the maximum difference between the average measured panel *sensor* thermal energy response and the corresponding *Stoll* response (independent value) and the average measured *incident energy* for each panel (dependent variable) can be used to guide the selection of appropriate incident exposure energies.

Annex D (informative)

Example *materials* for insulating and mounting boards

D.1 General

Annex D gives examples of sources of *materials* specified in this document. Equally suitable alternatives are available from other sources. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of these products. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

According to 6.2 and 6.3, the calorimetric *sensors* are constructed from a copper *calorimeter* (consisting of a copper disc and a thermocouple wire) mounted into a surrounding insulating board. Calorimetric *sensors* can then be mounted:

- for use as panel *sensors* into the high temperature resistant front board of panels, or
- for use as monitor *sensors* into blocs made of high temperature resistant *material*.

Materials for front board of panels or for monitor blocks do not usually also meet the thermal conductivity requirement for insulating board *materials*.

However, if the copper *calorimeters* are directly mounted into the front board of panels or into the monitor blocks, then such panel front boards or monitor blocks are made of *materials* which also meet the thermal conductivity requirement for insulating board *materials*.

D.2 *Materials* for use as thermally insulating mounting board (6.2)

Marinite® P density: 961 kg/m³,
thermal conductivity: 0,16 W/mK at 204 °C, 0,17 W/mK at 538 °C
maximum operating temperature: 760 °C

or

Marinite® I&M density: 865 kg/m³,
thermal conductivity: 0,14 W/mK at 204 °C, 0,15 W/mK at 538 °C
maximum operating temperature: 760 °C

or

Marinite® I&M density: 737 kg/m³,
thermal conductivity: 0,12 W/mK at 204 °C, 0,12 W/mK at 538 °C
maximum operating temperature: 760 °C

NOTE The issue with the lower density grade(s) of Marinite® is durability. It has been found that the ceramic *sensor* boards will wear out considerably faster as the density goes down. That, and the copper disc retaining pins have a tendency to fall out. In other words, Marinite®P and Marinite®C are a better choice than Marinite®I&M. Unfortunately, Marinite®C is available standard only in 25,4 mm, 31,8 mm, 38,1 mm, and 50,8 mm thickness sheets. (It would be necessary to special order other thicknesses or machine the ceramic holder face down for thinner specimens.) Marinite®P is available in thicknesses of 12,7 mm, 19,1 mm, 25,4 mm, 38,1 mm, 50,8 mm.

Monolux® 500 density: 700 kg/m³,
thermal conductivity: 0,18 W/mK at 25 °C, 0,19 W/mK at 200 °C,
0,20 W/mK at 500 °C
thermal resistance up to: 800 °C

D.3 *Materials for use as mounting board, but not sufficiently thermally insulating for use as insulating board (6.3)*

- e.g. **Marinite® A** density: 1 041 kg/m³,
thermal conductivity: 0,28 W/mK at 538 °C
maximum operating temperature: 760 °C
- e.g. **Monolux® 800** density: 770 kg/m³,
thermal conductivity: 0,35 W/mK at 25 °C, 0,30 W/mK at 200 °C,
 0,31 W/mK at 500 °C, 0,33 W/mK at 800 °C
thermal resistance up to: 800 °C

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61482-1-1:2019

Annex E (informative)

Recommended provisions for use of the test method for accident replication and for research

In order to be able to vary the *incident energy* to which a test specimen will be exposed by other means than by varying the *arc duration*, or to assess the performance of test specimens at other distances than the standardized distances of Procedure A or B, it is recommended to construct the test setup in a way which allows for the following adjustments:

- a) It is recommended to construct panels, mannequins and support for panels and for mannequins in such a way that the distance from the front of the panels or mannequins to the centre line of the electrodes is adjustable in the range between 200 mm and 600 mm.
- b) It is recommended to construct also the support of the *monitor sensors* in such a way that the distance from the front of the *monitor sensors* to the centre line of the electrodes is adjustable in the range between 200 mm and 600 mm.
- c) It is recommended that the position of the electrodes can be adjusted in such a way that the electrode gap can be set to a value in the range between 30 mm and 300 mm.

The test ordering party may specify that the underwear may be made from other *materials* and/or *materials* with other basis weight (e.g. synthetic *materials*, which may melt and/or release chemicals when hot, etc.), i.e. with underwear other than untreated cotton with no more than 180 g/m² basis weight as specified in 11.4.2, or that the testing be carried out without dressing the mannequin with underwear.

For accident replication and research it is also recommended to use an electric supply capable of providing alternating arc current with symmetric arc current components greater or less than only 8 kA ± 0,5 kA.

Bibliography

IEC 60050-121:1998, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 121: Electromagnetism*

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 61482-1-2:2014, *Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc – Part 1-2: Test methods – Method 2: Determination of arc protection class of material and clothing by using a constrained and directed arc (box test)*

IEC 62475, *High-current test techniques – Definitions and requirements for test currents and measuring systems*

ISO 3175-2, *Textiles – Professional care, drycleaning and wetcleaning of fabrics and garments – Part 2: Procedure for testing performance when cleaning and finishing using tetrachloroethene*

ISO 6330, *Textiles – Domestic washing and drying procedures for textile testing*

ISO 9151, *Protective clothing against heat and flame – Determination of heat transmission on exposure to flame*

ISO 13688, *Protective clothing – General requirements*

ISO 15797, *Textiles – Industrial washing and finishing procedures for testing of workwear*

CHASE, M.W., Jr., NIST-JANAF Thermochemical Tables, Fourth Edition, J. Phys. Chem. Ref. Data, Monograph 9, 1998, 1-1951

MORRISON, Hugh D., PhD, *Ontario Power Technologies*, December 3, 1999

STOLL, A.M. and CHIANTA, M.A., Method and Rating System for Evaluation of Thermal Protection. *Aerospace Medicine*, 1969, Vol. 40, pp. 1232-1238

STOLL, A.M. and CHIANTA, M.A., Heat Transfer through Fabrics as Related to Thermal Injury. *Transactions – New York Academy of Sciences*, Nov. 1971, Vol 33 (7), pp. 649-670

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61482-1-1:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	70
1 Domaine d'application	73
2 Références normatives	73
3 Termes, définitions, symboles et unités	74
3.1 Termes et définitions	74
3.2 Symboles et unités.....	79
4 Principe des procédures d'essai A et B.....	80
4.1 Procédure A – Procédure d'essai de l' <i>arc électrique</i> à l'air libre pour un <i>matériau</i>	80
4.2 Procédure B – Procédure d'essai de l' <i>arc électrique</i> à l'air libre pour un <i>article d'habillement</i>	80
5 Signification et utilisation des procédures d'essai A et B.....	81
5.1 Généralités	81
5.2 Procédure A – Procédure d'essai de l' <i>arc électrique</i> à l'air libre pour un <i>matériau</i>	81
5.3 Procédure B – Procédure d'essai de l' <i>arc électrique</i> à l'air libre pour un <i>article d'habillement</i>	81
6 Appareillage d'essai	82
6.1 Généralités	82
6.2 <i>Capteurs</i> calorimétriques	82
6.2.1 Constitution d'un <i>calorimètre</i>	82
6.2.2 Constitution d'un <i>capteur</i> de panneau.....	84
6.2.3 Constitution et placement d'un <i>capteur</i> de surveillance.....	86
6.3 Constitution des panneaux.....	88
6.4 Constitution du mannequin.....	91
6.5 Disposition des panneaux et des <i>capteurs</i> de surveillance pour les essais selon la procédure A.....	91
6.6 Disposition des mannequins et des <i>capteurs</i> de surveillance pour les essais selon la procédure B	92
6.7 Barre d'alimentation et électrodes.....	96
6.7.1 Généralités.....	96
6.7.2 Disposition structurelle à cage.....	96
6.7.3 Électrodes	98
6.7.4 Fil fusible.....	98
6.8 Alimentation électrique.....	98
6.9 Commande du circuit d'essai	99
6.10 Système d'acquisition et de traitement de données	99
6.10.1 Généralités	99
6.10.2 Acquisition de données.....	99
6.10.3 Synchronisation des signaux	100
7 Sécurité des opérateurs.....	101
8 Préparation des éprouvettes.....	101
8.1 Description des éprouvettes d'essai.....	101
8.1.1 Éprouvettes d'essai pour la procédure A.....	101
8.1.2 Éprouvettes d'essai pour la procédure B.....	102
8.2 Traitement préalable des éprouvettes d'essai par nettoyage	102
8.3 Préconditionnement des éprouvettes d'essai	102

9	Étalonnage et vérification	102
9.1	Préétalonnage du système d'acquisition de données	102
9.2	Vérification des <i>calorimètres</i>	103
9.3	Vérification de l'exposition à l'arc et de l'appareillage pour les panneaux à deux <i>capteurs</i> et les <i>capteurs</i> de surveillance	103
9.3.1	Montage des électrodes et du fil fusible	103
9.3.2	Placement des panneaux à deux <i>capteurs</i> , des mannequins et des <i>capteurs</i> de surveillance	103
9.3.3	<i>Tir à blanc</i> de vérification.....	104
9.3.4	Protocole d'essai de <i>tir à blanc</i> de vérification	105
10	Entretien et maintenance de l'appareillage d'essai	105
10.1	Reconditionnement de surface	105
10.2	Entretien des panneaux, des mannequins et des <i>capteurs</i>	106
10.3	Entretien des électrodes	106
11	Procédures d'essai	106
11.1	Procédure A – essais avec panneaux	106
11.1.1	Paramètres d'essai et réglages.....	106
11.1.2	Séquence d'essais avec des éprouvettes d'essai de matériau ou d'assemblage de matériaux	106
11.1.3	Critères pour l'ensemble de données résultant du processus itératif des <i>tirs d'essai</i>	107
11.2	Procédure B – essais avec mannequins.....	108
11.2.1	Paramètres d'essai et réglages.....	108
11.2.2	Essai unique ou séquence d'essais avec une ou des éprouvettes d' <i>article d'habillement</i> ou d' <i>assemblage d'articles d'habillement</i>	108
11.3	Ventilation et température initiale des <i>capteurs</i>	109
11.4	Montage de l'éprouvette.....	110
11.4.1	Procédure A – essais avec panneaux	110
11.4.2	Procédure B – essais avec mannequins.....	110
11.5	Description des éprouvettes.....	111
11.6	Protocole d'essai	112
12	Résultats d'essai	112
12.1	Calcul de la chaleur	112
12.1.1	Généralités	112
12.1.2	Capacité thermique du cuivre	113
12.1.3	Énergie incidente et énergie transmise	113
12.1.4	Réponse des <i>capteurs</i> de panneau (comparaison de l'énergie transmise (E_t) avec la <i>courbe de Stoll</i>).....	114
12.1.5	Réponse des <i>capteurs</i> de surveillance (<i>énergie incidente</i> (E_i))	115
12.2	Détermination de la <i>valeur de performance thermique de l'arc</i> (<i>ATPV</i>).....	116
12.3	Détermination du <i>seuil d'énergie d'éventration</i> (<i>EBT</i>)	116
12.4	Détermination de la <i>limite d'énergie incidente</i> (<i>ELIM</i>).....	117
12.5	Examen visuel	117
12.6	<i>Valeur assignée d'arc</i>	119
12.6.1	<i>Valeur assignée d'arc</i> d'un <i>matériau</i> ou d'un <i>assemblage de matériaux</i>	119
12.6.2	<i>Valeur assignée d'arc</i> d'un <i>article d'habillement</i> ou d'un <i>assemblage d'articles d'habillement</i>	119

13	Rapport d'essai	121
13.1	Consignation des exigences communes pour des essais conformes aux procédures A et B	121
13.2	Consignation des exigences spécifiques aux essais conformes à la procédure A	122
13.3	Consignation des exigences spécifiques aux essais conformes à la procédure B	123
Annexe A	(informative) Technique de régression logistique	125
Annexe B	(informative) Intervalles de confiance à 95 % des valeurs <i>ATPV</i> et <i>EBT</i>	127
Annexe C	(informative) Processus itératif des <i>tirs d'essai</i> de la procédure A	131
Annexe D	(informative) Exemples de <i>matériaux</i> pour plaques de montage isolantes	132
D.1	Généralités	132
D.2	<i>Matériaux</i> destinés à être utilisés comme plaque de montage à isolation thermique (6.2)	132
D.3	<i>Matériaux</i> destinés à être utilisés comme plaque de montage, mais ne présentant pas une isolation thermique suffisante pour être utilisés comme plaque isolante (6.3)	133
Annexe E	(informative) Dispositions d'utilisation recommandées de la méthode d'essai à des fins de reconstitution d'un accident et de recherche	134
Bibliographie		135
Figure 1	– Exemple de constitution d'un <i>calorimètre</i>	84
Figure 2	– Exemple de constitution d'un <i>capteur</i> de panneau	85
Figure 3	– Exemple de constitution d'un capteur de surveillance avec plaque de recouvrement facultative	87
Figure 4	– Panneau	89
Figure 5	– Exemple d'ensemble de fixation du <i>matériau</i> d'un panneau	90
Figure 6	– Disposition de trois panneaux à deux <i>capteurs</i> avec <i>capteurs</i> de surveillance (vue de dessus) pour des essais selon la procédure A	92
Figure 7	– Placement relatif des électrodes d'arc et du ou des mannequins et des <i>capteurs</i> de surveillance pour des essais selon la procédure B	93
Figure 8	– Exemples de configuration du mannequin	95
Figure 9	– Exemple de disposition à cage (barre d'alimentation, tubes de barres et électrodes d'arc) représentée avec trois panneaux pour des essais selon la procédure A (les <i>capteurs</i> de surveillance ne sont pas représentés)	97
Figure 10	– Placement relatif de la disposition à cage (barre d'alimentation, tubes de barres et électrodes d'arc) et d'un mannequin-torse et ses <i>capteurs</i> de surveillance pour des essais selon la procédure B	98
Figure 11	– Courbes typiques de l'énergie transmise moyenne $Q_{t,moy}$ (c'est-à-dire réponse moyenne des deux <i>capteurs</i> d'un même panneau) pour les éprouvettes d'essai	115
Figure B.1	– Fonction de densité de probabilité (PDF)	127
Figure B.2	– Fonction probabiliste de densité (CDF)	128
Figure B.3	– Graphique avec limites de probabilité, inférieure et supérieure	130

Tableau 1 – Placement des <i>capteurs</i> de surveillance selon l'exposition à l' <i>énergie incidente</i>	88
Tableau 2 – Consignation des exigences et évaluation de l'examen visuel dans le cas des essais de <i>matériau(x)</i> pour vêtements selon la procédure A et de l'article ou des <i>articles d'habillement</i> ou d'un ensemble d' <i>articles d'habillement</i> selon la procédure B	118
Tableau 3 – Critères visuels d'évaluation dans le cas des essais d'un ou de plusieurs <i>articles d'habillement</i> ou d'un <i>assemblage d'articles d'habillement</i> selon la procédure B.....	120
Tableau B.1 – Exemple d' <i>énergie incidente X</i> et de réponse binaire <i>Y</i> (satisfaction des critères de Stoll) pour 21 <i>tirs d'essai</i>	129

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61482-1-1:2019

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TRAVAUX SOUS TENSION – VÊTEMENTS DE PROTECTION CONTRE LES DANGERS THERMIQUES D'UN ARC ÉLECTRIQUE –

Partie 1-1: Méthodes d'essai – Méthode 1: Détermination de la valeur assignée d'arc (ELIM, ATPV et/ou EBT) des matériaux pour vêtements et des vêtements de protection utilisant un arc ouvert

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 61482-1-1 a été établie par le comité d'études 78 de l'IEC: Travaux sous tension.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2009. Cette édition constitue une révision technique.

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

- ajout de la *limite d'énergie incidente* (*ELIM* – Energy Limit) comme valeur de propriété supplémentaire relative à l'application de la *valeur assignée d'arc*;
- remplacement dans le domaine d'application de l'exigence concernant la longueur de carbonisation par une indication de l'applicabilité de la procédure A pour l'essai des *matériaux* satisfaisant aux exigences concernant la propagation limitée de flamme spécifiées dans l'IEC 61482-2;
- clarification de la définition et de la signification de la *courbe de Stoll*;
- modification de la spécification de placement des *capteurs de surveillance* par rapport à l'*arc électrique* en fonction de l'exposition des éprouvettes d'essai à une *énergie incidente* élevée;
- modification des spécifications de constitution des *capteurs de surveillance*;
- spécification de la peinture noire;
- suppression des *calorimètres* de la poitrine du mannequin;
- spécification du placement possible du ou des mannequins à une hauteur différente par rapport au centre de l'*arc électrique* et de la rotation possible permettant une exposition appropriée de toutes les parties de l'*article d'habillement* ou du vêtement qui altèrent les performances;
- description plus explicite des exigences concernant le système d'acquisition de données;
- préconditionnement des échantillons;
- modification des exigences concernant la vérification de l'appareil et de l'exposition à l'arc par des tirs à blanc;
- description plus explicite des procédures d'essai A et B, notamment les paragraphes qui traitent de la «séquence d'essai», du «paramètre d'essai» et des «critères d'essai»;
- ajout de la détermination des *valeurs assignées d'arc* des *articles d'habillement* et/ou des assemblages d'*articles d'habillement*.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport sur le vote
78/1256/FDIS	78/1262/RVD

Le rapport de vote donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2

Les termes définis à l'Article 3 sont indiqués en *italique* dans la présente norme.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61482, publiées sous le titre général *Travaux sous tension – Vêtements de protection contre les dangers thermiques d'un arc électrique*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61482-1-1:2019

TRAVAUX SOUS TENSION – VÊTEMENTS DE PROTECTION CONTRE LES DANGERS THERMIQUES D'UN ARC ÉLECTRIQUE –

Partie 1-1: Méthodes d'essai – Méthode 1: Détermination de la valeur assignée d'arc (ELIM, ATPV et/ou EBT) des matériaux pour vêtements et des vêtements de protection utilisant un arc ouvert

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61482 définit des procédures d'essai permettant de déterminer la *valeur assignée d'arc* des *matériaux pour vêtements* et des *articles d'habillement* ou assemblages d'*articles d'habillement* résistant à la flamme, destinés à être utilisés dans les vêtements pour travailleurs en cas de danger d'*arc électrique*.

Un *arc ouvert* dans des conditions de laboratoire contrôlées permet de déterminer les valeurs de l'*ELIM*, de l'*ATPV* ou de l'*EBT* des *matériaux*, *articles d'habillement* ou assemblages d'*articles d'habillement*.

NOTE 1 L'utilisateur peut, s'il le souhaite, classer les performances de protection d'arc en niveaux de protection des *valeurs assignées d'arc* sur la base des valeurs *ELIM*, *ATPV* et/ou *EBT* qui correspondent le mieux aux différents niveaux de danger et de risque, que l'analyse du risque par l'utilisateur peut produire.

NOTE 2 Le présent document n'a pas pour objet la répartition des performances de protection d'arc des *matériaux* et des vêtements en classes de protection d'arc. L'IEC 61482-1-2, qui utilise un arc contraint pour les essais, spécifie des procédures de détermination de ces classes de protection d'arc APC1 et APC2.

NOTE 3 Cette méthode d'essai n'est ni destinée ni appropriée à l'évaluation du caractère de *résistance à la flamme* ou non des *matériaux* ou des *articles d'habillement* puisque cela est couvert par l'IEC 61482-2.

Le présent document ne couvre pas les effets autres que thermiques d'un *arc électrique*, comme le bruit, les émissions lumineuses, l'augmentation de la pression, l'huile chaude, le choc électrique, les conséquences d'un choc physique ou mental ou des effets toxiques.

Le présent document ne couvre pas les *vêtements de protection* utilisés pour réaliser des travaux utilisant intentionnellement un *arc électrique*, par exemple un soudage à l'arc, une torche à plasma.

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 60584-1, *Couples thermoélectriques – Partie 1: Spécifications et tolérances en matière de FEM*

IEC 61482-2:2018, *Travaux sous tension – Vêtements de protection contre les dangers thermiques d'un arc électrique – Partie 2: Exigences*

ISO/IEC 17025:2017, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

ISO/TR 11610, *Vêtements de protection – Vocabulaire*

ISO 11612:2015, *Vêtements de protection – Vêtements de protection contre la chaleur et les flammes – Exigences de performance minimales*

3 Termes, définitions, symboles et unités

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'ISO/TR 11610, 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>

3.1.1

ablation

<essai d'arc électrique> réponse du matériau mise en évidence par la formation d'un ou de plusieurs trous dans une ou plusieurs couches extérieures, mais non dans toutes les couches d'une éprouvette d'assemblage de matériaux

Note 1 à l'article: Pour l'utilisation du présent document, le trou est défini comme suit:

- a) avec la présence d'un trou dans la couche d'une surface d'au moins 1600 mm² ou d'au moins 80 mm dans toute direction plane,
- b) avec le passage d'un ou de plusieurs fils individuels à travers une ouverture, qui ne réduisent pas la taille du trou.

3.1.2

durée d'arc

durée de temps de l'arc

Note 1 à l'article: La *durée d'arc* est exprimée en millisecondes (ms).

3.1.3

énergie d'arc

W_{arc}

<essai d'arc électrique> énergie électrique fournie à l'arc et convertie dans l'arc

Note 1 à l'article: L'*énergie d'arc* est la somme des valeurs de *tension d'arc* instantanées multipliées par les valeurs de *courant d'arc* instantanées multipliées par les valeurs de temps incrémentielles au cours de la *durée d'arc*.

Note 2 à l'article: L'*énergie d'arc* est exprimée en kilojoules (kJ).

3.1.4

intervalle d'arc

distance entre les électrodes d'arc

Note 1 à l'article: L'*intervalle d'arc* est exprimé en millimètres (mm).

3.1.5

valeur assignée d'arc

<essai d'arc électrique> valeur numérique attribuée à un produit, qui décrit ses performances de protection lorsqu'il est soumis à l'essai selon les règles de l'essai de l'arc ouvert

Note 1 à l'article: La *valeur assignée d'arc* peut être la valeur de performance thermique de l'arc (*ATPV* – arc thermal performance value), l'énergie de seuil à l'éventration (*EBT* – *breakopen threshold energy*) ou la limite d'énergie incidente (*ELIM*).

Note 2 à l'article: Les *valeurs assignées d'arc* sont exprimées en kJ/m^2 (cal/cm^2).

3.1.6

valeur de performance thermique de l'arc

ATPV

<essai d'*arc électrique*> valeur numérique d'*énergie incidente* attribuée à un produit qui décrit ses propriétés thermiques d'atténuation (réduction) d'un *flux de chaleur* généré par un *arc électrique*

Note 1 à l'article: L'analyse de régression logistique appliquée aux points de données obtenus à partir des essais d'un ensemble d'éprouvettes d'essai permet de calculer l'*ATPV* d'un *matériau* ou d'un *assemblage de matériaux*. Il s'agit de la valeur d'*énergie incidente* pour laquelle le transfert de chaleur à travers les éprouvettes d'essai est suffisant pour atteindre les critères de Stoll avec une probabilité de 50 %.

Note 2 à l'article: L'*ATPV* attribuée à un *article d'habillement* ou un *assemblage d'articles d'habillement* est inférieure ou égale à l'*ATPV* du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux* dont il est constitué, selon que l'éprouvette ou les éprouvettes soumises à l'essai satisfont également aux critères supplémentaires d'évaluation de la conception visuelle et des performances.

Note 3 à l'article: L'abréviation «*ATPV*» est dérivée du terme anglais développé correspondant «arc thermal performance value».

3.1.7

tension d'arc

tension aux bornes de l'arc

Note 1 à l'article: La *tension d'arc* est exprimée en volts (V).

3.1.8

tir à blanc

<essai d'*arc électrique*> événement d'*arc électrique* au cours duquel les panneaux ou les mannequins sont dénudés, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas couverts par les éprouvettes d'essai

3.1.9

éventration

<essai d'*arc électrique*> *réponse du matériau* mise en évidence par la formation d'un trou dans l'éprouvette de *matériau*

Note 1 à l'article: Pour l'utilisation du présent document, le trou est défini comme suit:

- a) avec une dimension d'une surface d'au moins 300 mm^2 ou d'au moins 25 mm dans toute direction plane,
- b) avec le passage d'un ou de plusieurs fils individuels à travers une ouverture, qui ne réduisent pas la taille du trou.

Note 2 à l'article: Il est considéré qu'une éprouvette d'*assemblage de matériaux* présente une *éventration* lorsque toutes les couches montrent la formation d'un ou de plusieurs trous.

Note 3 à l'article: La formation d'un trou par rétrécissement complet est considérée comme une forme particulière d'éventration.

3.1.10

énergie de seuil à l'éventration

EBT

<essai d'*arc électrique*> valeur numérique d'*énergie incidente* attribuée à un produit (*matériau* ou vêtement) qui décrit ses propriétés d'éventration lors de son exposition à une *énergie thermique* générée par un *arc électrique*

Note 1 à l'article: L'analyse de régression logistique appliquée aux points de données obtenus à partir des essais d'un ensemble d'éprouvettes d'essai permet de calculer l'*EBT* d'un *matériau* ou d'un *assemblage de matériaux*. Il s'agit de la valeur d'*énergie incidente* pour laquelle l'éventration se produit avec une probabilité de 50 %.

Note 2 à l'article: L'*EBT* attribuée à un *article d'habillement* ou un *assemblage d'articles d'habillement* est inférieure ou égale à l'*EBT* du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux* dont il est constitué, selon que l'éprouvette ou les éprouvettes soumises à l'essai satisfont également aux critères supplémentaires d'évaluation de la conception visuelle et des performances.

Note 3 à l'article: L'abréviation «*EBT*» est dérivée du terme anglais développé correspondant «breakopen threshold energy».

3.1.11

temps de combustion

durée de flamme résiduelle

durée pendant laquelle une flamme est visible sur l'éprouvette d'essai après la fin de la *durée de l'arc électrique*

Note 1 à l'article: Le *temps de combustion* est exprimé en secondes (s).

3.1.12

calorimètre

assemblage d'un disque de cuivre avec couple thermoélectrique fixé utilisé pour mesurer l'énergie thermique et l'énergie incidente

3.1.13

capteur calorimétrique

capteur

assemblage d'un *calorimètre* et d'un *matériau* non conducteur et résistant à la chaleur, dans lequel le *calorimètre* est encastré

Note 1 à l'article: Le terme *capteur* est employé dans le présent document au sens de *capteur calorimétrique*.

3.1.14

carbonisation

réponse du matériau mise en évidence par la formation d'un résidu charbonneux résultant d'une pyrolyse ou d'une combustion incomplète

3.1.15

gouttage

réponse du matériau mise en évidence par la formation de gouttelettes de polymère qui tombent du *matériau* ou de l'*article d'habillement*

3.1.16

arc électrique

conduction gazeuse autonome dans laquelle la plupart des porteurs de charge sont des électrons produits par émission électronique primaire

Note 1 à l'article: Au cours des travaux sous tension, l'*arc électrique* est généré par une ionisation gazeuse par suite d'une connexion électrique ou d'un claquage accidentel(le) entre des parties sous tension ou entre une partie sous tension et un circuit de terre d'une installation électrique ou d'un dispositif électrique. Au cours des essais, l'*arc électrique* est initié par le soufflement d'un fil fusible.

[SOURCE: IEC 60050-121:1998, 121-13-12, modifié – La Note 1 à l'article a été ajoutée pour faire spécifiquement référence aux travaux sous tension et aux essais d'arc.]

3.1.17

fragilisation

formation d'un résidu cassant résultant d'une pyrolyse ou d'une combustion incomplète

3.1.18

résistant à la flamme

<essai d'*arc électrique*> propriété mise en évidence par les *matériaux* pour vêtements qui satisfont aux exigences concernant la propagation limitée de flamme spécifiée dans l'IEC 61482-2

3.1.19

article d'habillement

élément du vêtement, qui peut se composer d'une seule ou de plusieurs couches de *matériaux*

3.1.20**assemblage d'articles d'habillement****ensemble d'articles d'habillement**

vêtements composés de deux *articles d'habillement* ou plus portés ensemble, qui peuvent individuellement couvrir différentes parties du corps du porteur et/ou qui peuvent être portés entièrement ou partiellement l'un au-dessus de l'autre

Note 1 à l'article: Par exemple combinaison d'une veste et d'un pantalon ou combinaison d'une chemise, d'un pantalon et d'une veste ou d'un manteau qui ont été conçus pour être portés ensemble.

3.1.21**flux thermique** q

<essai d'*arc électrique*> intensité thermique transmise par un *arc électrique*, indiquée par le niveau de transfert d'énergie thermique par unité de surface et de temps

3.1.22**allumage**

début d'inflammation et de combustion

3.1.23**énergie incidente** E_i

<essai d'*arc électrique*> énergie thermique Q résultant d'un *arc électrique*, reçue par unité de surface à une distance spécifiée de l'*arc électrique*

3.1.24**limite d'énergie incidente****ELIM**

<essai d'*arc électrique*> valeur numérique de l'*énergie incidente* attribuée à un produit (*matériau* ou vêtement), en dessous de laquelle toutes les réponses du produit se situent sous la *courbe de Stoll*, sans *éventration*

Note 1 à l'article: Les points de données obtenus à partir de la vérification par essai d'un ensemble d'éprouvettes d'essai, également utilisées pour déterminer l'*ATPV* et/ou l'*EBT* permettent de calculer l'*ELIM* d'un *matériau* ou d'un *assemblage de matériaux*.

Note 2 à l'article: L'*ELIM* attribuée à un *article d'habillement* ou un *assemblage d'articles d'habillement* est inférieure ou égale à l'*ELIM* du *matériau* ou de l'assemblage de matériaux dont il est constitué, selon que l'éprouvette ou les éprouvettes soumises à l'essai satisfont également aux critères supplémentaires d'évaluation de la conception visuelle et des performances.

Note 3 à l'article: L'abréviation «*ELIM*» est dérivée du terme anglais développé correspondant «incident energy limit».

3.1.25**matériau**

substances, à l'exclusion des autres matières, dont est constitué un vêtement

3.1.26**assemblage de matériaux**

ensemble de matériaux représentatif de l'accumulation de couches d'un article d'habillement ou d'un assemblage d'articles d'habillement

Note 1 à l'article: La valeur assignée d'arc d'un *assemblage de matériaux* dont est constitué un *ensemble d'articles d'habillement* portés l'un sur l'autre, ne peut être déterminée à partir de la valeur assignée d'arc de chaque matériau dont est constitué chaque *article d'habillement*, mais ne peut être déterminée que par essai des éprouvettes d'assemblage de matériaux représentatives de l'assemblage d'articles d'habillement.

3.1.27**réponse du matériau**

réaction du *matériau* à un *arc électrique*, caractérisée par l'*allumage*, le *temps de combustion* (*durée de flamme résiduelle*), l'*éventration*, la *fusion*, le *gouttage*, le *rétrécissement*, etc.

3.1.28

fusion

réponse du matériau mise en évidence par ramollissement et déformation

Note 1 à l'article: Les *matériaux* qui fondent sont normalement des polymères.

3.1.29

zone mixte

<essai d'*arc électrique*> plage d'énergies incidentes mesurées (la variable indépendante X), dans laquelle une réponse binaire (c'est-à-dire soit la valeur «0», soit la valeur «1») (la variable dépendante Y) est attribuée à un paramètre étudié de la réponse du matériau mesurée ou à une combinaison de plusieurs paramètres étudiés

Note 1 à l'article: Une *zone mixte* d'une distribution de points de données est établie lorsque l'*énergie incidente* la plus élevée avec une réponse binaire «0» est supérieure à l'*énergie incidente* la moins élevée avec une réponse binaire «1». La *zone mixte* d'une distribution de points de données est vide lorsque l'*énergie incidente* la plus élevée avec une réponse binaire «0» est inférieure à l'*énergie incidente* la moins élevée avec une réponse binaire «1».

Note 2 à l'article: Voir 11.1.3.1 et 12.2 pour les paramètres de *réponse du matériau* étudiés pour la détermination de l'*ATPV*.

Note 3 à l'article: Voir 11.1.3.2 et 12.3 pour les paramètres de *réponse du matériau* étudiés pour la détermination de l'*EBT*.

Note 4 à l'article: Voir 11.1.3.3 et 12.4 pour les paramètres de *réponse du matériau* étudiés pour la détermination de l'*ELIM*.

3.1.30

capteur de surveillance

<essai d'*arc électrique*> *capteur calorimétrique* monté de chaque côté du panneau ou du mannequin, non couvert par une éprouvette d'essai et utilisé pour mesurer l'*énergie incidente* à une distance spécifiée de l'*arc électrique*

3.1.31

arc électrique à l'air libre

<essai d'*arc électrique*> arc électrique entre deux électrodes opposées verticalement destinées à assurer une répartition uniforme de l'énergie émise autour de la ligne centrale formée par les électrodes, l'énergie émise n'étant pas dirigée par une contrainte physique (par exemple, enveloppe, mur)

[SOURCE: IEC 61482-2:2018, 3.1.13]

3.1.32

capteur de panneau

<essai d'*arc électrique*> *capteur calorimétrique* monté sur le panneau, qui, lorsqu'il est couvert par une éprouvette d'essai, est utilisé pour mesurer l'énergie transmise par une éprouvette d'essai

3.1.33

vêtement de protection

vêtement recouvrant ou remplaçant le vêtement personnel et conçu pour protéger contre un ou plusieurs dangers

[SOURCE: ISO 13688:2013, 3.5, modifié – La définition a été modifiée pour la clarifier en supprimant le terme peu clair «protecteur»]

3.1.34

rétrécissement

réponse du matériau mise en évidence par la réduction de la taille de l'éprouvette

3.1.35**formation d'un trou par rétrécissement complet**

<essai d'arc électrique> réponse du matériau due à un rétrécissement excessif qui entraîne le dégagement de l'éprouvette d'essai hors du dispositif de serrage et l'exposition du panneau par l'éprouvette

Note 1 à l'article: La formation d'un trou par rétrécissement complet est considérée comme une forme particulière d'éventration.

3.1.36**courbe de Stoll**

modèle empirique de blessure cutanée par brûlure au second degré prévue

Note 1 à l'article: La *courbe de Stoll* définit la relation entre la quantité d'énergie thermique transférée vers les tissus humains et la durée d'exposition.

Note 2 à l'article: Voir Stoll, A.M. and Chianta, M.A. Method and rating system for evaluation of thermal protection.

3.1.37**tir d'essai**

<essai d'arc électrique> événement d'arc électrique au cours duquel l'éprouvette ou les éprouvettes d'essai sont montées sur le ou les supports d'éprouvettes de l'appareillage d'essai, l'éprouvette ou les éprouvettes recouvrant certains capteurs ou la totalité de ces capteurs, sauf les capteurs de surveillance, et étant exposées aux effets de l'arc électrique

3.1.38**rapport X/R**

rapport de la réactance inductive du système à la résistance

Note 1 à l'article: Le rapport X/R est proportionnel au rapport L/R de la constante de temps et indique par conséquent le taux de décroissance de tout décalage en courant continu. Un rapport X/R élevé correspond à une constante de temps élevée et à un taux lent de décroissance.

3.2 Symboles et unités

$ATPV$	arc thermal performance value (valeur de performance thermique de l'arc)	kJ/m^2 (cal/cm^2)
C_p	capacité thermique	$\text{J/g } ^\circ\text{C}$
EBT	breakopen threshold energy (énergie de seuil à l'éventration)	kJ/m^2 (cal/cm^2)
E_i	énergie incidente	kJ/m^2
E_t	énergie transmise	kJ/m^2
$ELIM$	incident energy limit (limite d'énergie incidente)	kJ/m^2 (cal/cm^2)
Q	énergie thermique	kJ/m^2
q	flux thermique	kW/m^2
T	température	K
t	temps	s
t_0	temps d'amorçage de l'arc	s

NOTE

$$1 \text{ kJ/m}^2 = 1 \text{ kW} \cdot \text{s/m}^2 = 0,1 \text{ J/cm}^2 = 0,0239006 \text{ cal/cm}^2$$

$$1 \text{ cal/cm}^2 = 41,840 \text{ kJ/m}^2 = 41,840 \text{ kW} \cdot \text{s/m}^2$$

4 Principe des procédures d'essai A et B

4.1 Procédure A – Procédure d'essai de l'arc électrique à l'air libre pour un matériau

La procédure A définie dans le présent document permet de déterminer la *valeur assignée d'arc* d'un *matériau* ou d'un *assemblage de matériaux*, exprimée par la valeur de l'*ATPV* ou de l'*EBT*, selon la plus faible de ces deux valeurs, ou exprimée par la valeur de l'*ELIM* si la personne qui a demandé les essais a spécifié que la *valeur assignée d'arc* doit être exprimée par l'*ELIM*. La détermination de l'*ATPV*, de l'*EBT* et de l'*ELIM* s'effectue par comparaison de la quantité de chaleur transmise à travers l'éprouvette ou les éprouvettes avec les critères de Stoll et l'observation éventuelle d'une *éventration* en cas d'exposition à différents niveaux d'*énergie incidente* mesurés par les *capteurs de surveillance*.

Les éprouvettes d'essai utilisées dans cette procédure se présentent sous la forme d'éprouvettes plates de *matériau* ou d'*assemblage de matériaux*, montées sur des panneaux d'essai.

La valeur assignée d'arc d'un *assemblage de matériaux* dont est constitué un *ensemble d'articles d'habillement* portés l'un sur l'autre, ne peut être déterminée à partir de la *valeur assignée d'arc* de chaque *matériau* ou *assemblage de matériaux* dont est constitué chaque *article d'habillement*, mais ne peut être déterminée que par essai d'une éprouvette d'*assemblage de matériaux* représentative de l'*assemblage d'articles d'habillement*.

Au cours des essais, la quantité d'énergie thermique transmise à travers le *matériau* ou l'*assemblage de matériaux* est mesurée pendant et après l'exposition à un *arc électrique*.

Au cours de chaque essai d'exposition à l'arc simple (c'est-à-dire au cours de chaque *tir d'essai* simple), des *capteurs calorimétriques* de cuivre permettent de mesurer à la fois l'*énergie thermique* de l'exposition et le flux thermique transféré à travers l'éprouvette ou les éprouvettes. La variation de température en fonction du temps est utilisée, ainsi que les propriétés physico-thermiques connues pour le cuivre, pour déterminer respectivement les énergies thermiques reçues et transmises à travers les éprouvettes.

La *réponse du matériau* doit faire l'objet d'une description supplémentaire en enregistrant les effets observés de l'exposition à l'*arc électrique* sur les éprouvettes et en utilisant les termes donnés en 3.1.27.

4.2 Procédure B – Procédure d'essai de l'arc électrique à l'air libre pour un article d'habillement

La procédure B définie dans le présent document permet d'affecter la *valeur assignée d'arc* à un vêtement. La *valeur assignée d'arc* est basée sur la *valeur assignée d'arc* du *matériau d'article d'habillement* telle que déterminée par la procédure A et attribuée par évaluation de la conception et des performances du vêtement (composé d'un *article d'habillement* ou d'un *ensemble d'articles d'habillement*). Cette procédure consiste à exposer le vêtement à un *arc électrique à l'air libre*, ce qui produit une *énergie incidente* sur la surface extérieure du vêtement approximativement supérieure ou égale à (voir 11.2) la *valeur assignée d'arc*, déterminée selon la procédure A, du *matériau* ou de l'ensemble total de *matériaux* dont est constitué le vêtement. L'*article d'habillement* ou l'*assemblage d'articles d'habillement* doit être évalué avec les fournitures de confection, les poches et les fermetures localisées conformément à la confection et serrées selon les instructions d'utilisation du fabricant. L'éprouvette soumise à l'essai de l'*article d'habillement* ou de l'*assemblage d'articles d'habillement* doit satisfaire aux critères visuels d'évaluation (voir 12.6.2, Tableau 3). Dans ce cas, la *valeur assignée d'arc* du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux* peut être attribuée au vêtement comme sa propre *valeur assignée d'arc* (voir 11.2.2).

Dans le cas où une éprouvette d'*article d'habillement* ou d'*assemblage d'articles d'habillement*, soumise à l'essai à un niveau donné d'*énergie incidente*, ne satisfait pas aux critères visuels

d'évaluation de la conception et des performances (voir 12.6.2, Tableau 3), cette valeur d'*énergie incidente* ne peut être attribuée au vêtement comme sa propre *valeur assignée d'arc*.

Une ou plusieurs autres éprouvettes du vêtement ou de l'*assemblage d'articles d'habillement* peuvent toutefois être soumises à l'essai avec une ou des *énergies incidentes* réduites. Lorsqu'une éprouvette de l'*article d'habillement* ou de l'*assemblage d'articles d'habillement* soumise à l'essai avec une *énergie incidente* réduite, et également lorsque toutes les éprouvettes finalement soumises à l'essai avec des *énergies incidentes* réduites satisfont aux critères visuels d'évaluation (voir 12.6.2, Tableau 3), cette valeur d'*énergie incidente* réduite peut être attribuée au *vêtement* ou à l'*assemblage d'articles d'habillement* comme sa propre *valeur assignée d'arc* (voir 11.2.2).

La partie qui sollicite la réalisation des essais peut volontairement définir une valeur d'*énergie incidente*, qui peut être (nettement) inférieure à la *valeur assignée d'arc* du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux*, pour déterminer si la valeur spécifiée peut être attribuée au vêtement comme sa propre *valeur assignée d'arc* et soit vérifiée par essai. Dans ce cas, les essais peuvent être volontairement effectués uniquement à une énergie incidente d'exposition (nettement) inférieure à la *valeur assignée d'arc* du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux*.

Les éprouvettes d'essai utilisées dans cette procédure se présentent sous la forme d'*articles d'habillement* ou d'un *ensemble d'articles d'habillement* montés sur des mannequins d'essai.

5 Signification et utilisation des procédures d'essai A et B

5.1 Généralités

Les procédures d'essai A et B permettent de déterminer la *valeur assignée d'arc* des *matériaux* pour vêtements et des vêtements *résistants à la flamme*, utilisés pour les travaux électrotechniques dans le cas d'un *arc électrique*.

Les procédures d'essai maintiennent l'éprouvette dans une position statique verticale, et n'impliquent aucun mouvement, excepté celui résultant de l'exposition.

IMPORTANT – Cette méthode d'essai et les procédures ne sont ni destinées ni appropriées à l'évaluation du caractère de résistance à la flamme des *matériaux* ou des *articles d'habillement*.

NOTE Les procédures d'essai définissent des conditions normales d'exposition. Des conditions d'exposition différentes peuvent produire des résultats d'essai différents.

5.2 Procédure A – Procédure d'essai de l'*arc électrique* à l'*air libre* pour un *matériau*

La procédure A définie dans le présent document permet de déterminer la *limite d'énergie incidente (ELIM)*, la *valeur de performance thermique de l'arc (ATPV)* et/ou l'*énergie de seuil à l'éventration (EBT)*, d'un *matériau* ou d'un *assemblage de matériaux*.

Du fait de la variabilité de l'exposition à l'arc et de la constitution des tissus, différentes valeurs d'énergie thermique transférée peuvent être mesurées par les *capteurs* couverts par les éprouvettes d'essai en cas d'exposition à un arc électrique. Les résultats de mesure du transfert de chaleur pour un nombre suffisamment important d'éprouvettes d'essai (au moins 20 éprouvettes d'essai) font l'objet d'une analyse statistique conformément à l'Article 12.

5.3 Procédure B – Procédure d'essai de l'*arc électrique* à l'*air libre* pour un *article d'habillement*

La procédure B définie dans le présent document permet habituellement d'évaluer la conception des *vêtements de protection* et de déterminer la *valeur assignée d'arc* des vêtements, lorsque le *matériau* ou l'*assemblage de matériaux* constitutif du vêtement, c'est-à-dire d'un *article d'habillement* ou d'un *ensemble d'articles d'habillement*, a tout d'abord été soumis à l'essai et sa propre *valeur assignée d'arc* déterminée suivant la procédure A.

La *valeur assignée d'arc* d'un vêtement est inférieure ou égale à la *valeur assignée d'arc* du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux* total, ou aucune *valeur assignée d'arc* ne peut être attribuée au vêtement, selon la satisfaction aux critères visuels d'évaluation pour les *articles d'habillement* et les *assemblages d'articles d'habillement*.

6 Appareillage d'essai

6.1 Généralités

L'appareillage d'essai doit être constitué des éléments suivants:

- barre d'alimentation;
- contrôleur de l'arc;
- enregistreur ou système d'acquisition de données;
- électrodes d'arc;
- trois supports d'éprouvettes autour de l'axe de l'*arc électrique*, dont un, deux ou les trois peuvent être des panneaux (utilisés pour la procédure A) ou des mannequins (utilisés pour la procédure B). Dans le cas de la procédure A, un panneau doit être placé à chacune des trois positions. Il n'est pas admis, dans le cas de la procédure A, de remplacer les panneaux de forme différente ou constitués de *matériaux* différents pendant une séquence de *tirs d'essai*, dans la mesure où de telles modifications peuvent faire varier la distribution de chaleur;
- deux *capteurs de surveillance* pour chaque panneau ou pour chaque mannequin, avec un capteur du côté gauche et un capteur du côté droit de chaque panneau ou mannequin.

6.2 Capteurs calorimétriques

6.2.1 Constitution d'un *calorimètre*

Les *calorimètres* doivent être constitués de cuivre de qualité électrique en plaçant un fil de couple thermoélectrique dans la disposition représentée à la Figure 1 a).

Un exemple de fixation mécanique du couple thermoélectrique dans le disque de cuivre est représenté à la Figure 1 b). Le brasage du couple thermoélectrique dans le disque n'est pas admis.

Les disques de cuivre et la matière de remplissage, s'ils sont utilisés, doivent être de qualité électrique d'une pureté supérieure à 99,90 %, qualité IACS C110 (UNS11000). Les disques de cuivre doivent avoir une épaisseur de $1,6 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, un diamètre de $40,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ et une masse de $18 \text{ g} \pm 1 \text{ g}$. Le centre de chaque disque de cuivre doit comporter un trou d'une profondeur de $1,3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ et d'un diamètre de $1,2 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$.

NOTE 1 La qualité IACS (International Annealed Copper Standard) donne le niveau de conductivité électrique du cuivre.

La masse de chaque disque doit être déterminée à $\pm 0,05 \text{ g}$ près et le diamètre et l'épaisseur doivent l'être à $\pm 0,03 \text{ mm}$ près. Le diamètre réel (pour le calcul de la surface) et les valeurs de masse de chaque disque doivent être utilisés pour les calculs de la réponse de chaque *capteur* selon la Formule (3) donnée en 12.1.2. Le rapport masse/surface de tous les *calorimètres*, dans le cas où des valeurs moyennes sont utilisées pour les calculs, doit être égal à $\pm 0,008 \text{ g/cm}^2$ de leur valeur moyenne.

NOTE 2 Le choix de disques de cuivre pour les *calorimètres* en utilisant la «valeur moyenne» pour le rapport masse/surface [Formule (3)] peut faciliter le fonctionnement et le remplacement des *calorimètres*.

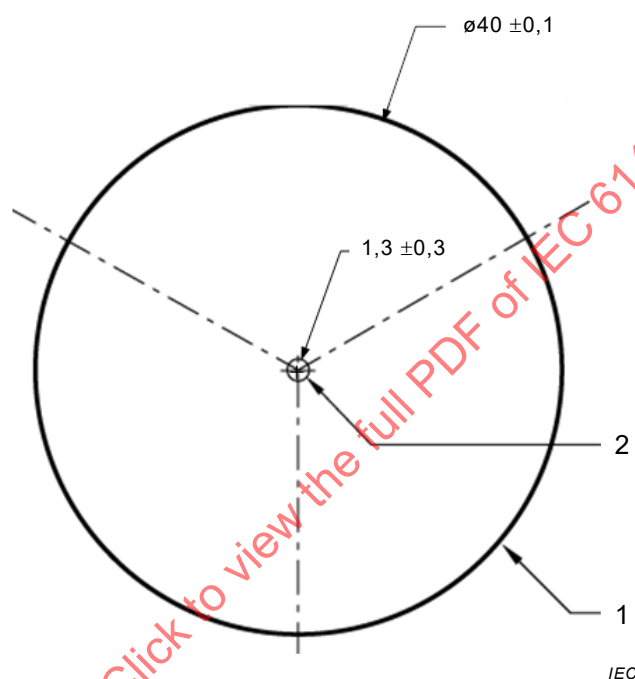
Les couples thermoélectriques doivent être de type à rondelle exposée K (NiCr – NiAl), d'une section de $0,05 \text{ mm}^2$ (N° 30 AWG) mais jamais plus, ou de section équivalente conformément à l'IEC 60584-1. Le fil de couple thermoélectrique doit être installé dans le *calorimètre* comme représenté à la Figure 1 b). Les fils de couples thermoélectriques – dont le diamètre extérieur

est de 0,5 mm après retrait de l'isolant, c'est-à-dire 2 fois le diamètre de 0,254 mm d'un seul fil – doivent être dénudés sur toute la longueur intérieure du trou du disque de cuivre et doivent être entièrement en contact les uns avec les autres, et avec le disque de cuivre environnant, si nécessaire à l'aide de la matière de remplissage en cuivre ajoutée dans le trou. Les fils de couples thermoélectriques doivent être séparés (par exemple, à l'aide d'un outil fin) immédiatement après leur sortie du disque de cuivre.

NOTE 3 Une loupe peut être utilisée pour vérifier la séparation correcte des fils de cuivre à l'arrière du disque de cuivre, ainsi que l'absence de tout endommagement des fils.

NOTE 4 Chaque fil de couple thermoélectrique qui sort du disque de cuivre est généralement dénudé sur une courte longueur donnée après sa sortie du trou du disque.

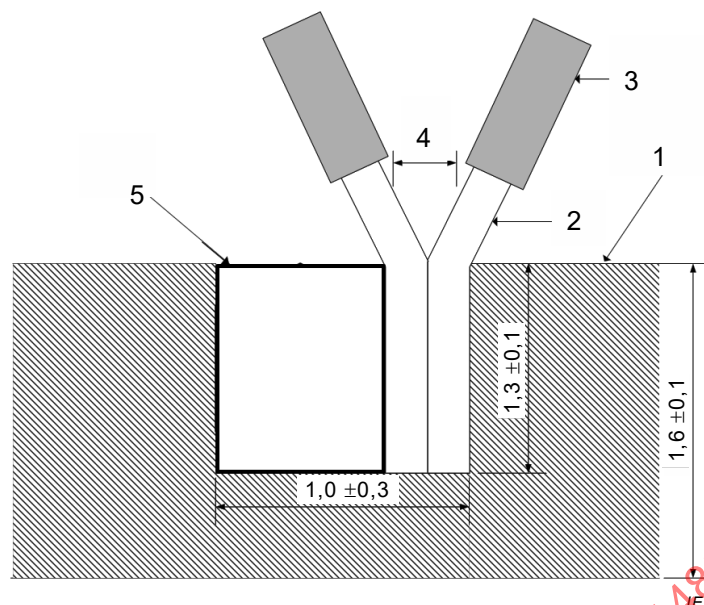
Dimensions en millimètres



Légende

- 1 disque de cuivre
- 2 emplacement du couple thermoélectrique

a) Position d'installation du couple thermoélectrique du côté arrière du disque de cuivre



Légende

- 1 disque de cuivre
- 2 partie dénudée du fil de couple thermoélectrique
- 3 isolation du fil de couple thermoélectrique
- 4 séparation du couple thermoélectrique à la surface du disque de cuivre
- 5 matière de remplissage pour fixer et maintenir le contact intégral du couple thermoélectrique

b) Installation du fil de couple thermoélectrique – Détails du trou et méthode de fixation du couple thermoélectrique

Figure 1 – Exemple de constitution d'un calorimètre

6.2.2 Constitution d'un capteur de panneau

Le capteur de panneau est un *capteur calorimétrique* constitué d'un *calorimètre* monté sur une plaque isolante environnante dont les propriétés physiques sont spécifiques (Figure 2). La plaque isolante doit entourer le disque de cuivre sur une épaisseur d'au moins 5 mm dans toutes les directions.

NOTE 1 Dans le cas de *capteurs calorimétriques* conformes à, par exemple, l'ISO 9151, le disque de cuivre est entouré d'un anneau de plaque isolante d'un diamètre extérieur de 89 mm. Une autre solution type consiste à intégrer le disque de cuivre dans une plaque isolante quadratique de 130 mm × 130 mm.

Les propriétés physiques de la plaque isolante doivent être les suivantes.

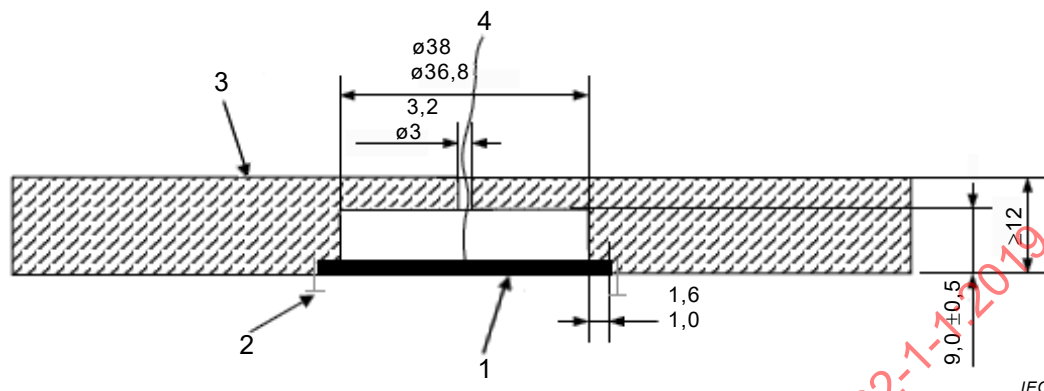
- Il doit s'agir d'une plaque isolante thermique non combustible et sans amiante.
- Sa température de fonctionnement maximale admissible doit être au moins de 760 °C.
- La conductivité thermique doit être inférieure ou égale à 0,20 W/(m·K) à des températures jusqu'à 500 °C.

Pour des raisons pratiques, une épaisseur d'au moins 12 mm s'est avérée suffisante pour une rigidité mécanique du fait de la fragilité de la plaque isolante.

En variante, le disque de cuivre du *calorimètre* peut être installé directement sur la plaque avant du panneau (voir Figure 4), si cette dernière est constituée d'un *matériau* isolant satisfaisant aux exigences de propriétés physiques concernant la plaque isolante utilisée pour un *capteur calorimétrique*.

NOTE 2 Exemple de matériau constitutif de la plaque isolante: *matériau* isolant au silicate de calcium, par exemple, Marinite® de qualité P, C ou I&M, ou Monolux® 500 ¹. Voir l'Annexe D pour de plus amples informations sur les matériaux adaptés.

Dimensions en millimètres



Légende

- | | | | |
|---|------------------|---|--|
| 1 | calorimètre | 3 | plaque isolante |
| 2 | cheville d'acier | 4 | fil de transmission de couple thermoélectrique vers l'acquisition de données |
- Le disque doit être maintenu par au moins trois chevilles sur toute sa circonférence

Figure 2 – Exemple de constitution d'un capteur de panneau

Une cavité circulaire est usinée dans la plaque avant afin d'y installer le disque de cuivre, de sorte que sa surface soit de niveau avec celle de la plaque de montage. Toute nouvelle cavité doit avoir un diamètre qui permet un ajustement serré du disque de cuivre. La dimension de l'épaulement d'appui doit être supérieure ou égale à 1,0 mm, sans toutefois dépasser 1,6 mm, c'est-à-dire que le diamètre intérieur ne doit pas être inférieur à 36,8 mm et pas supérieur à 38 mm.

NOTE 3 «Ajustement serré» signifie que lorsque le disque est installé et que la plaque avant est retournée, le disque ne tombe pas.

NOTE 4 Un ajustement serré du disque de cuivre dans la plaque isolante évite tout échauffement du côté du disque par la chaleur et les gaz chauds, voire leur pénétration derrière le disque et de ce fait la détérioration des côtés de la cavité.

NOTE 5 Afin de réduire le plus possible la surface de contact entre l'épaulement du rebord et l'arrière du disque de cuivre, l'usinage de l'épaulement peut s'effectuer selon un angle léger vers l'intérieur (par exemple, de quelques degrés), c'est-à-dire à distance de l'arrière du disque de cuivre.

NOTE 6 Après vérification du montage du disque de niveau avec la surface de la plaque de montage et de son ajustement serré nécessaire avec la plaque, le disque peut être fixé à l'aide de chevilles (par exemple, au moins trois chevilles) également réparties autour de sa circonférence.

NOTE 7 Exemple de chevilles adaptées: chevilles droites en acier inoxydable en forme d'épingle de cravate (par exemple, avec un diamètre de 0,6 mm) à tête plate en acier inoxydable. La découpe de ces chevilles suit une longueur pratique (par exemple, 5 mm), leur martelage dans la plaque s'effectuant de manière rectiligne ou légèrement inclinée, la tête étant aplatie par l'assise du marteau pour moitié sur le disque et pour moitié sur la plaque.

¹ La Marinite P (et également la Marinite C ou I&M) et le Monolux 500 sont des exemples de produits appropriés disponibles sur le marché. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que l'IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif des produits ainsi désignés.

La surface exposée du disque de cuivre doit être recouverte d'une mince couche lisse de peinture à pulvériser noire mate à haute température², avec une température de fonctionnement intermittente jusqu'à 600 °C et un coefficient d'émissivité supérieur à 0,9 à une température normale de laboratoire pour une plage de longueurs d'onde comprise entre 400 nm et 2 000 nm.

La peinture doit être appliquée en couches aussi fines que possible jusqu'à ce que le cuivre ne soit plus visible.

NOTE 8 Si la couche de peinture est trop épaisse, la dilatation du disque au cours de l'exposition à l'arc peut provoquer la fissuration du revêtement et la réduction de son adhérence au disque de cuivre, et entraînant ainsi des mesurages incorrects par le *calorimètre*.

Une fois peint, le *capteur* doit être séché avant utilisation et doit présenter un revêtement uniforme. Il ne doit y avoir aucune zone plus épaisse ou irrégularité de surface visible.

NOTE 9 Une source externe de chaleur, par exemple, une lampe chauffante externe, peut être utilisée pour éliminer entièrement et plus rapidement tout porteur organique résiduel d'une surface fraîchement peinte.

6.2.3 Constitution et placement d'un *capteur de surveillance*

6.2.3.1 Constitution d'un *capteur de surveillance*

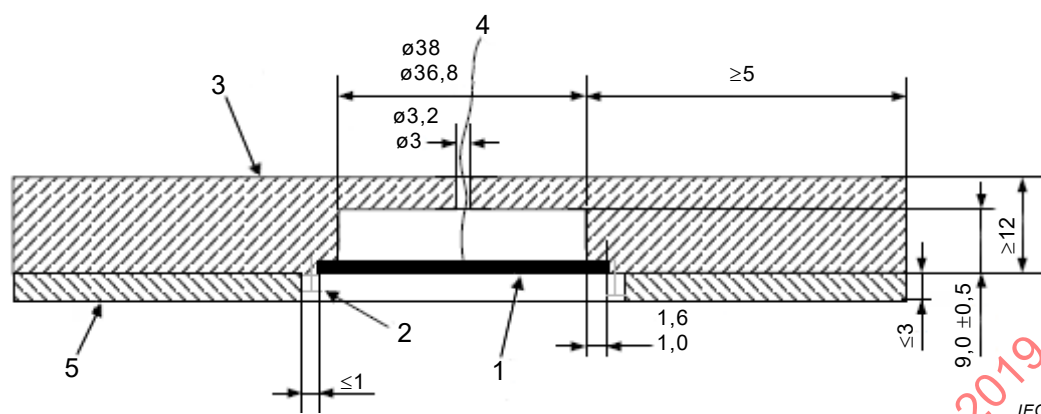
Un *capteur de surveillance* doit être constitué de manière à protéger entièrement les parties arrière et latérale du disque de cuivre contre l'effet (par exemple, chaleur, contamination) de tout dommage dû à la formation de l'arc.

Un *capteur de surveillance* est constitué d'un *capteur calorimétrique* tel qu'un capteur de panneau selon 6.2.2, mais peut être couvert par une plaque isolante supplémentaire d'une épaisseur maximale de 3 mm, et constitué d'un matériau dont la température assignée est supérieure à celle de la plaque isolante des *capteurs calorimétriques*. La conductivité thermique de la plaque isolante supplémentaire ne doit pas être 10 fois supérieure à celle de la plaque isolante des *capteurs calorimétriques*.

Le diamètre du trou de la plaque isolante supplémentaire doit être légèrement supérieur (pas plus de 2 mm) à celui du disque de cuivre afin de protéger la surface du *capteur de surveillance*. Le blindage peu épais peut être fixé à la surface du *capteur* à l'aide de vis, de chevilles ou par tout autre moyen (Figure 3).

2 Les peintures Krylon™ BBQ & Stove 1618 et ARCHITECT Grillspray, 400 ml, Tec-Art N° art./Code: J32 4 694 constituent des exemples de produits appropriés disponibles sur le marché. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que l'IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif de ces produits.

Dimensions en millimètres

**Légende**

- | | | | |
|---|--|---|--|
| 1 | calorimètre | 4 | fil de transmission de couple thermoélectrique vers l'acquisition de données |
| 2 | cheville d'acier
Le disque doit être maintenu par au moins trois chevilles sur toute sa circonférence | 5 | plaque isolante avec recouvrement (facultatif) |
| 3 | plaque isolante | | |

Figure 3 – Exemple de constitution d'un capteur de surveillance avec plaque de recouvrement facultative

Un revêtement à température assignée élevée doit être utilisé pour protéger le fil de couple thermoélectrique sur la partie arrière du *capteur de surveillance*.

Un *capteur de surveillance* doit être autoporteur ou fixé sur la partie non mobile du panneau ou du mannequin ou du support du panneau ou du mannequin.

NOTE Le montage des *capteurs de surveillance* sur les brides de fixation mobiles est source d'erreur dans la mesure où les *capteurs* sont déplacés par rapport à leur position étalonnée, notamment davantage en cas d'installation d'une éprouvette de tissu multicouche.

6.2.3.2 Placement des *capteurs de surveillance*

Les *capteurs de surveillance* doivent être placés perpendiculairement au rayon compris entre l'axe des électrodes et le centre de chaque *capteur de surveillance*. L'angle α entre le rayon par rapport au centre des *capteurs de surveillance* et le rayon par rapport à l'axe de la surface du panneau ou du mannequin doit être de 35^{+5}_0 degrés. De plus, il doit être possible de placer le capteur de surveillance à des distances de $340 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ (D_1) ou de $410 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ (D_2) par rapport à l'axe des électrodes d'arc (voir Figure 6). Les distances D_1 et D_2 doivent être indiquées dans le Tableau 1, elles doivent donc être choisies pour différentes expositions à l'énergie incidente.

Pour des essais à d'autres plages d'énergie incidente ou à des fins de recherche, l'expérience a montré qu'il convient de constituer un support de placement des *capteurs de surveillance* qui permet de régler la distance entre les *capteurs de surveillance*; par exemple, entre 200 mm et 600 mm.

Deux capteurs de surveillance doivent être installés. Il convient de les disposer de manière symétrique par rapport au panneau.

La distance réelle entre chaque *capteur de surveillance* doit être mesurée à ± 2 mm près et les valeurs associées doivent être enregistrées afin d'être utilisées pour le calcul de l'énergie incidente selon 12.1.4.

Des exemples de dispositions de six *capteurs* de surveillance, c'est-à-dire avec un *capteur* de surveillance installé à la position 1 de chaque côté du ou des panneaux ou du ou des mannequins, sont présentés aux Figures 6, 7 a) et 7 b).

Tableau 1 – Placement des capteurs de surveillance selon l'exposition à l'énergie incidente

Paramètre	Position du capteur de surveillance	
	Position 1	Position 2
Énergie incidente sur la surface du panneau ou du mannequin à une distance de 300 mm de l'axe vertical des électrodes	0 à 55 cal/cm ² (0 à 2 300 kJ/m ²)	> 40 cal/cm ² (> 1 675 kJ/m ²)
Distance entre l'axe vertical des électrodes et le centre de la surface du calorimètre de capteur de surveillance	D_1 340 mm $\pm$ 5 mm	D_2 410 mm $\pm$ 5 mm
Angle α entre la perpendiculaire à la surface du panneau et la perpendiculaire à la surface du capteur de surveillance	35 ⁺⁵ ₀ degrés	35 ⁺⁵ ₀ degrés
Angle α entre la perpendiculaire à la surface du mannequin et la perpendiculaire à la surface du capteur de surveillance	35 ⁺⁵ ₀ degrés	35 ⁺⁵ ₀ degrés

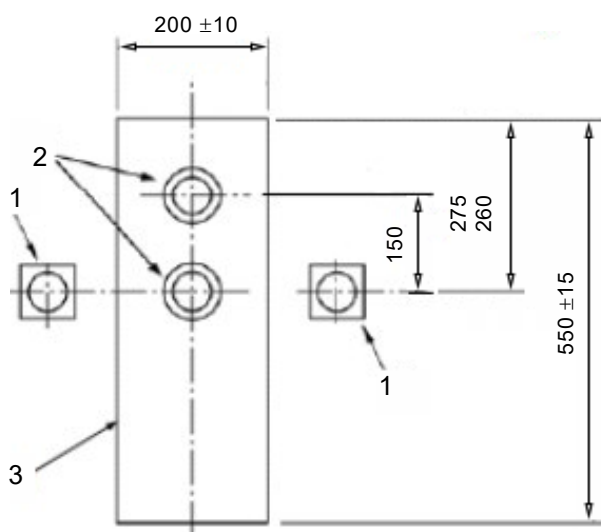
6.3 Constitution des panneaux

Chaque panneau doit être constitué d'une plaque frontale, d'un corps et d'un système de serrage du matériau. La plaque frontale doit être constituée d'un matériau électrique et thermique non conducteur résistant à la chaleur. Les dimensions de la plaque frontale d'un panneau doivent être de 200 mm $\pm$ 10 mm par 550 mm $\pm$ 15 mm.

Deux *capteurs calorimétriques* conformes à 6.2.2 doivent être intégrés dans la plaque frontale du corps de panneau. Les deux *capteurs* doivent être placés sur l'axe vertical de la plaque frontale. Le placement des deux *capteurs* est indiqué à la Figure 4 a). Les *capteurs* doivent être intégrés dans la plaque frontale de niveau avec sa surface.

NOTE La Figure 4 a) présente en exemple deux *capteurs*, chaque capteur étant constitué d'un disque de cuivre entouré d'un anneau lui-même constitué d'une plaque isolante, intégré dans la plaque frontale d'un panneau.

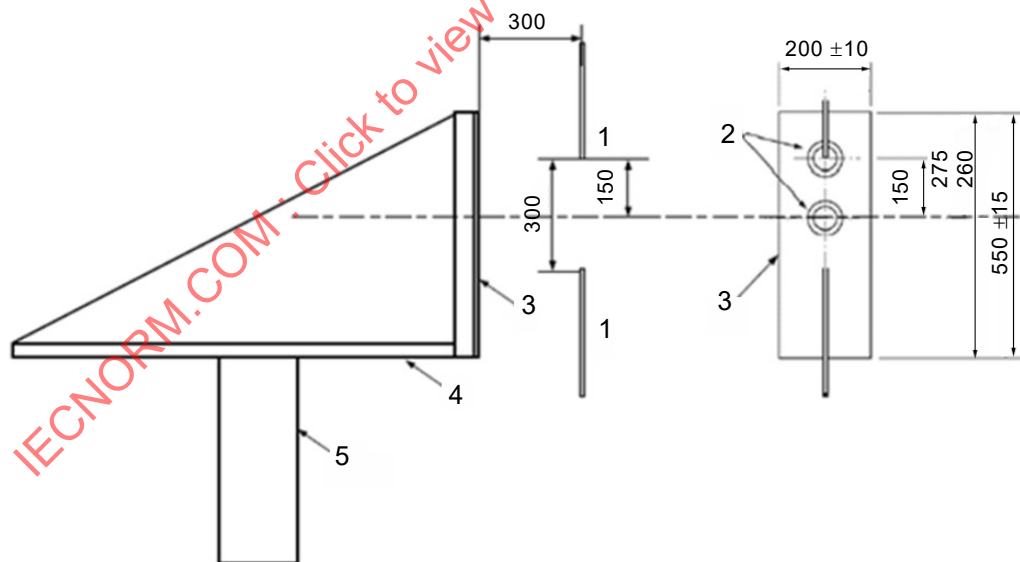
Dimensions en millimètres

**Légende**

- 1 *capteurs de surveillance*
 2 *capteurs de panneau*
 3 plaque frontale de panneau avec ses deux *capteurs* de panneau

a) Placement relatif des deux *capteurs* de panneau sur la plaque frontale du corps de panneau (vue de face) et des deux *capteurs* de surveillance adjacents

Dimensions en millimètres

**Légende**

- | | | | |
|---|----------------------------|---|---|
| 1 | électrodes | 3 | plaque frontale de panneau contenant deux <i>capteurs</i> de panneau |
| 2 | <i>capteurs</i> de panneau | 4 | le corps de panneau inclut tous les côtés sauf la plaque frontale (éventuellement mobile à l'aide d'un système coulissant permettant le réglage de la distance entre les électrodes et les <i>capteurs</i> de panneau, par exemple, entre 200 mm et 600 mm) |
| 5 | support de panneau isolant | | |

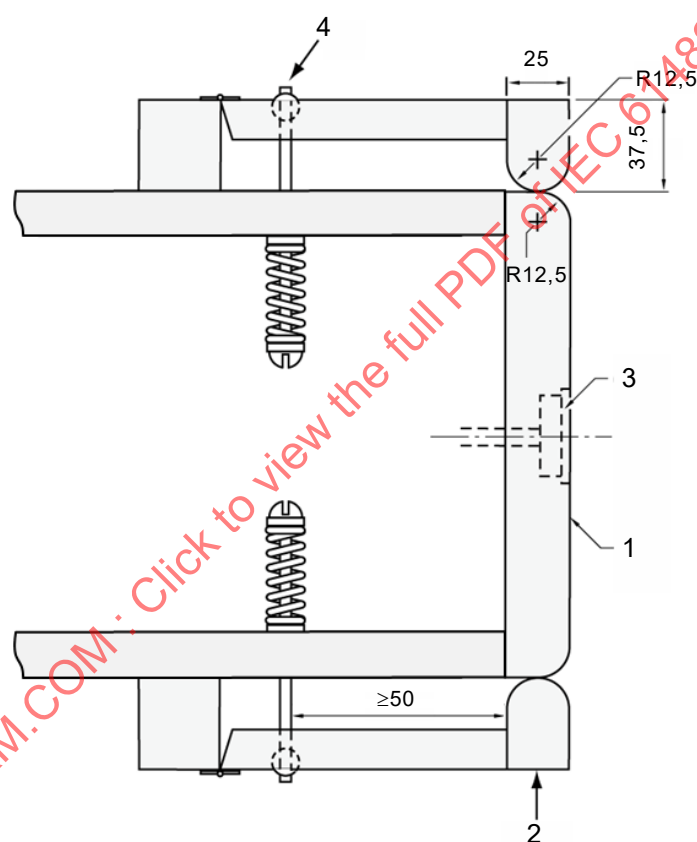
b) Panneau et placement relatif du panneau par rapport aux électrodes (vue latérale)

Figure 4 – Panneau

En variante, deux *calorimètres* peuvent être montés directement dans la plaque frontale, sans anneau constitué de plaque isolante. Dans ce cas, le *matériau* de la plaque frontale du panneau doit satisfaire aux exigences de propriété de *matériau* de la plaque isolante spécifiées en 6.2.2. Les *calorimètres* doivent également être montés et installés sur la plaque frontale selon les exigences de 6.2.2. Le panneau doit être constitué de manière à protéger les deux disques de cuivre et les deux fils de couples thermoélectriques contre l'effet (par exemple, chaleur, contamination) de tout dommage dû à la formation de l'arc.

Chaque panneau doit comporter un système de serrage du *matériau* (voir Figure 5). Le système de serrage doit être constitué de quatre brides de fixation, qui maintiennent l'éprouvette sur la plaque frontale de panneau (qui contient deux *capteurs de panneau*), et permet à l'éprouvette de rétrécir pendant l'exposition à l'arc. Chaque bride de fixation dans le système de serrage applique entre 4,4 N et 6,7 N pour fixer le *matériau* aux bords de la plaque frontale de panneau. D'autres moyens de montage qui répondent aux objectifs ci-dessus peuvent aussi être utilisés.

Dimensions en millimètres



IEC

Légende

- | | | | |
|---|-----------------|---|---|
| 1 | plaque frontale | 3 | <i>calorimètre</i> |
| 2 | bride latérale | 4 | ensemble type de brides de fixation à ressort |

Placer une bride de fixation sur chaque bord de la plaque frontale de panneau. Quatre brides de fixation par panneau sont exigées.

Figure 5 – Exemple d'ensemble de fixation du *matériau* d'un panneau

6.4 Constitution du mannequin

Un mannequin doit être utilisé. Ce mannequin, de sexe masculin ou féminin selon les vêtements à soumettre à l'essai, est constitué d'un torse et éventuellement également de moignons de bras ou de bras, de moignons de jambes ou de jambes et/ou d'une tête, et réalisé en fibre de verre non conductrice avec une résine à haute température ou avec d'autres *matériaux* non conducteurs et non inflammables à haute température.

Il est pratique et souhaitable que le mannequin puisse être démonté en parties de corps distinctes afin de faciliter l'enfilage et l'enlèvement des *articles d'habillement*.

Le mannequin doit être dans une position verticale. Le mannequin doit être droit et monté en position verticale pour permettre à l'éprouvette au niveau du sternum de constituer le point le plus proche de l'axe de l'arc [voir 6.6, Figure 8 a)].

Il est recommandé de prévoir également de pouvoir placer le mannequin à certaines hauteurs, de sorte que le nombril ou l'entrejambe, mais pas le sternum, soit à la hauteur du point milieu de l'espace entre les électrodes [voir 6.6, Figures 8 b) et 8 c)].

NOTE 1 Des mannequins avec un tour de poitrine de 1 000 mm $\pm$ 100 mm en constituent un exemple.

Afin de faciliter par exemple l'évaluation des performances de toutes les parties d'un article d'habillement ou d'un vêtement, qui peuvent altérer ses performances (par exemple, fermetures et/ou accessoires à retirer sur le côté ou la partie arrière du vêtement), il convient de permettre la rotation du ou des mannequins selon un certain degré, ce qui expose de manière appropriée chacune de ces parties à l'arc électrique (par exemple, rotation à un angle de 90° pour une exposition latérale ou à un angle de 180° pour une exposition arrière). Il convient qu'il soit également possible de remettre en place le ou les mannequins soumis à la rotation de sorte que la distance la plus proche entre la surface du mannequin, exposée à l'arc électrique, et l'axe des électrodes soit de 300 mm.

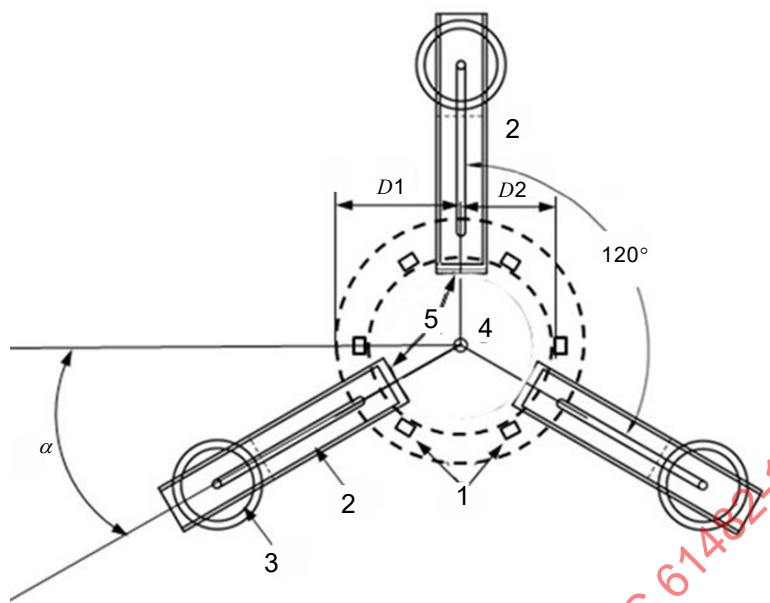
NOTE 2 Il est pratique de pouvoir régler horizontalement la distance entre l'axe des électrodes et le ou les mannequins, par exemple entre 200 mm et 600 mm.

6.5 Disposition des panneaux et des capteurs de surveillance pour les essais selon la procédure A

Lors des essais selon la procédure A, une configuration de trois panneaux contenant chacun deux *capteurs* de panneau (c'est-à-dire une configuration de trois panneaux à deux *capteurs*) doit être utilisée pour chaque essai. Les panneaux doivent être espacés selon un angle de 120° comme représenté à la Figure 6. Un *capteur de surveillance* doit être placé de chaque côté d'un panneau à deux capteurs comme représenté – par exemple – à la Figure 5. Voir 6.2.3.2 pour d'autres spécifications concernant le placement des *capteurs de surveillance* par rapport à l'axe des électrodes et/ou au côté des panneaux.

La distance entre le panneau et l'arc doit être de 300 mm dans le cas d'essais normalisés.

Dimensions en millimètres



Légende

- | | | | |
|-------|--|---|--|
| 1 | capteurs de surveillance installés à la position 1 | 4 | axe des électrodes d'arc |
| 2 | corps de panneau avec système coulissant permettant le réglage de la distance entre le panneau et les électrodes | 5 | plaque frontale du panneau sur laquelle sont montés deux capteurs de panneau |
| 3 | support du corps de panneau avec système coulissant | α | angle entre les axes du panneau et le capteur de surveillance (voir Tableau 1) |
| D_1 | Distance entre l'axe vertical des électrodes et le centre de la surface du calorimètre de capteur de surveillance installé à la position 1 | | |
| D_2 | Distance entre l'axe vertical des électrodes et le centre de la surface du calorimètre de capteur de surveillance installé à la position 2 | | |

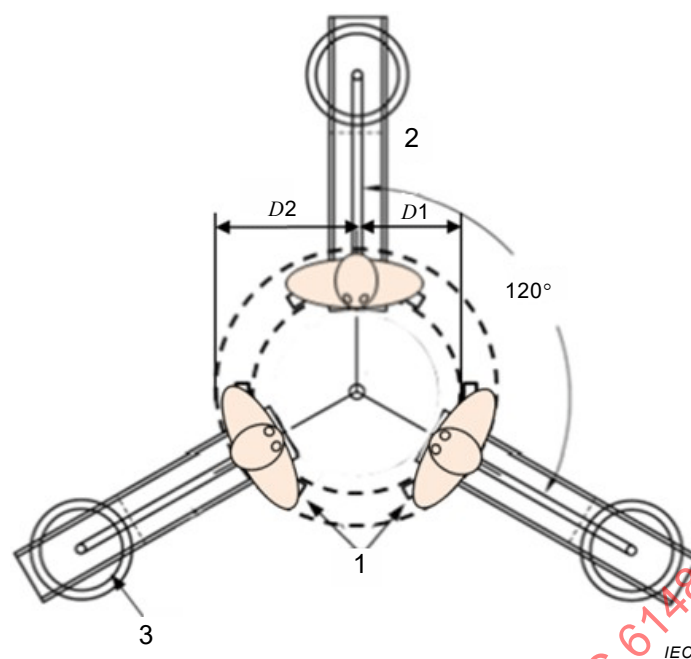
Figure 6 – Disposition de trois panneaux à deux capteurs avec capteurs de surveillance (vue de dessus) pour des essais selon la procédure A

6.6 Disposition des mannequins et des capteurs de surveillance pour les essais selon la procédure B

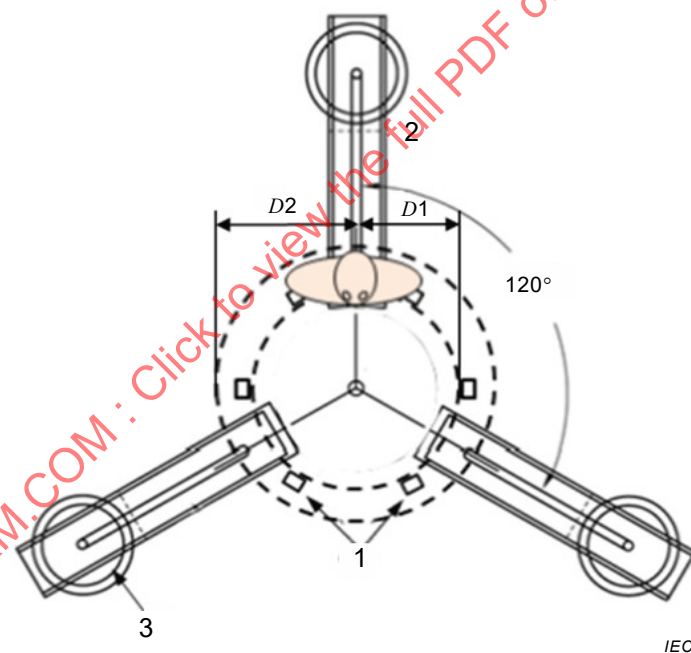
Au moins un mannequin doit être utilisé pour les essais selon la procédure B. Lorsque deux mannequins ou plus sont utilisés (c'est-à-dire deux ou trois mannequins), ils doivent être espacés au minimum selon un angle de 120° comme représenté à la Figure 7. Un capteur de surveillance doit être placé de chaque côté d'un mannequin. Voir 6.2.3.2 pour d'autres spécifications concernant le placement des capteurs de surveillance par rapport à l'axe des électrodes et/ou au côté du ou des mannequins ou du ou des panneaux.

La distance entre l'arc et le point sur la surface du mannequin le plus proche de l'arc doit être de 300 mm dans le cas d'essais normalisés.

L'espace autour des électrodes d'arc peut imposer le nombre de mannequins utilisés. Il s'avère que deux mannequins fournissent un vaste espace de travail adapté lors de l'habillement des mannequins. Il convient de maintenir l'espacement minimal de 120°.



a) Vue de dessus de la disposition avec trois mannequins et six capteurs de surveillance



b) Vue de dessus de la disposition avec un mannequin et deux panneaux, ainsi que six capteurs de surveillance

Légende

- 1 capteurs de surveillance installés à la position 1
- 2 support avec système coulissant pour la position de rotation/pivotement du mannequin et pour le réglage de sa distance par rapport aux électrodes
- 3 support du corps de panneau ou du mannequin avec système coulissant
- D_1 distance entre l'axe vertical des électrodes et le centre de la surface du *calorimètre* de capteur de surveillance installé à la position 1
- D_2 distance entre l'axe vertical des électrodes et le centre de la surface du *calorimètre* de capteur de surveillance installé à la position 2

Figure 7 – Placement relatif des électrodes d'arc et du ou des mannequins et des capteurs de surveillance pour des essais selon la procédure B

Il doit être possible de placer un mannequin, constitué au moins du torse, de sorte que le sternum soit placé au centre de l'espace entre les électrodes [voir Figure 8 a)].

NOTE 1 Un mannequin-torse comprenant des moignons de bras dans la position représentée à la Figure 8 a) est généralement utilisé pour l'essai des *articles d'habillement* destinés à protéger le torse et les bras (par exemple, chemises, vestes).

Le placement d'un mannequin, constitué au moins de la partie inférieure du torse et de la partie supérieure des jambes, doit être autorisé aux hauteurs suivantes:

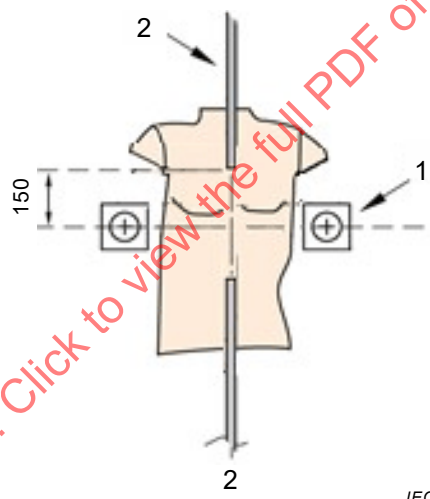
- a) placement vertical du mannequin de sorte que son nombril soit à la hauteur du centre de l'espace entre les électrodes [voir Figure 8 b)];

NOTE 2 Un mannequin-torse comprenant des moignons de bras et de jambes dans la position représentée à la Figure 8 b) peut être utilisé pour l'essai des *articles d'habillement* destinés à la protection de la partie inférieure du torse et/ou avec des éléments de conception supplémentaires au niveau de la taille (par exemple, combinaison avec ceinture (élastique)) et/ou la vérification par essai de l'interface entre la veste et les pantalons.

- b) placement vertical du mannequin de sorte que son entrejambe soit à la hauteur du centre de l'électrode [voir Figure 8 c)].

NOTE 3 Un mannequin avec hanches et jambes en position genoux levés comme représenté à la Figure 8 c) peut être utilisé pour l'essai des *articles d'habillement* destinés à la protection de la partie inférieure du torse et des jambes (par exemple, pantalons).

Dimensions en millimètres



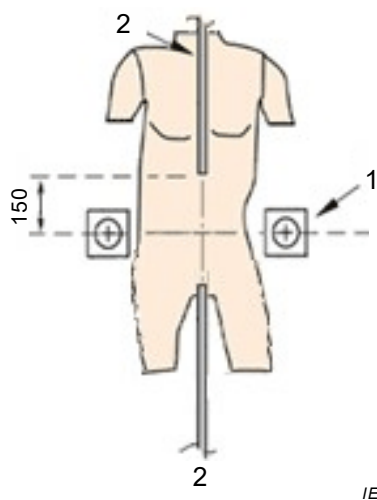
Légende

- 1 capteur de surveillance
2 électrodes

NOTE La longueur minimale des moignons de bras peut être de 100 mm afin de faciliter le montage des éprouvettes.

- a) **Mannequin-torse avec ou sans moignons de bras, avec placement du centre de l'espace entre les électrodes à la hauteur du sternum**

Dimensions en millimètres

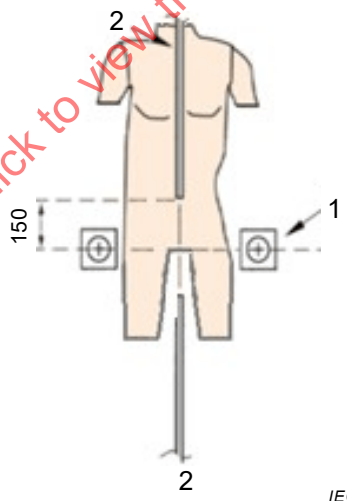
**Légende**

- 1 capteur de surveillance
2 électrodes

NOTE La longueur minimale des moignons de bras et de jambes peut être de 100 mm afin de faciliter le montage des éprouvettes.

b) Mannequin-torse avec moignons de jambes, avec placement du centre de l'espace entre les électrodes à la hauteur du nombril

Dimensions en millimètres

**Légende**

- 1 capteur de surveillance
2 Électrodes

NOTE La longueur minimale des jambes en position genoux levés peut être de 300 mm afin de faciliter le montage des éprouvettes.

c) Mannequin avec hanches et jambes en position genoux levés, avec placement du centre de l'espace entre les électrodes à la hauteur de l'entrejambe

Figure 8 – Exemples de configuration du mannequin

6.7 Barre d'alimentation et électrodes

6.7.1 Généralités

La barre d'alimentation et les électrodes d'arc doivent faire partie intégrante de la disposition structurelle conçue pour réduire les forces électromagnétiques agissant sur l'arc, et qui centre de ce fait la rotation de l'arc le long de l'axe entre les électrodes. Les Figures 9 et 10 donnent des exemples de disposition structurelle appropriée qui inclut une cage avec six tubes de barres conductrices. L'arc doit être dans la position verticale représentée.

6.7.2 Disposition structurelle à cage

Cette disposition doit être constituée de tubes conducteurs (par exemple, des tubes métalliques tels que des tubes en aluminium ou en acier). Il doit y avoir au moins six tubes de barres conductrices (exemples représentés aux Figures 9 et 10); la disposition de neuf tubes de barres conductrices s'est avérée également pratique.

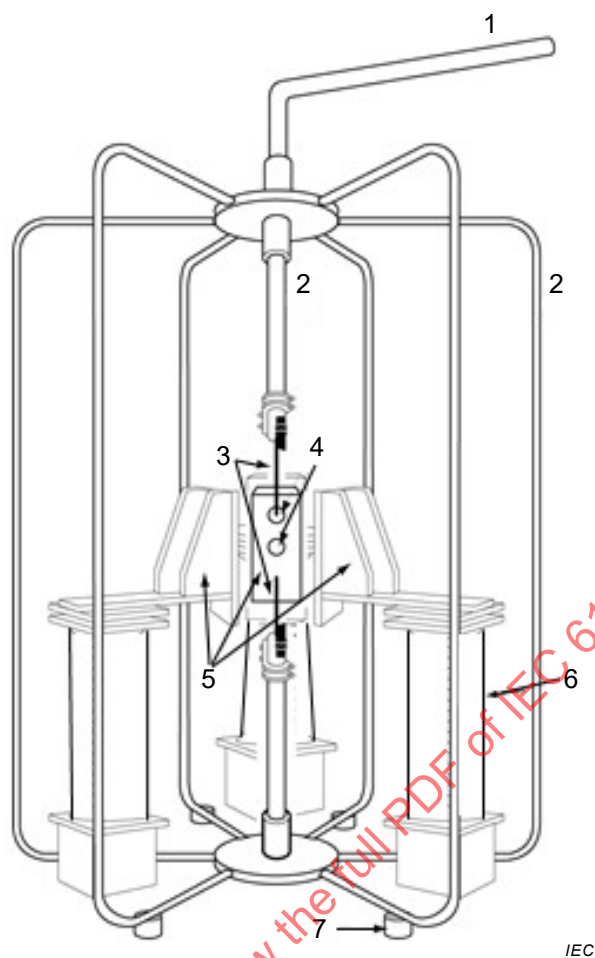
Le diamètre de la cage doit être compris entre 2,0 m et 2,5 m.

La hauteur de la cage doit être au moins égale à son diamètre et comprise entre 2,3 m et 4 m.

NOTE 1 Sur la base de la modélisation, plus le rapport entre la hauteur et le diamètre est élevé, meilleur est le centrage de l'arc sur l'axe entre les électrodes. Les forces électromagnétiques exercées sur l'appareillage d'essai maintiennent l'arc dans l'axe de l'*intervalle d'arc*.

Le point milieu de l'espace entre les électrodes doit être situé à la moitié de la hauteur de la cage ± 50 mm.

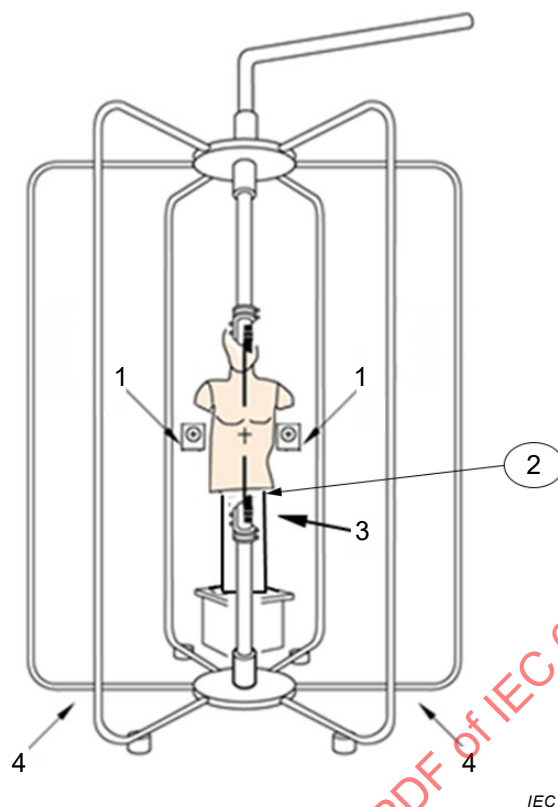
NOTE 2 Une plate-forme constituée d'un *matériau* non conducteur, qui pénètre finalement dans la cage, peut être placée à une hauteur qui permet d'accéder facilement aux électrodes, panneaux, mannequins et *capteurs* de surveillance.



Légende

- | | | | |
|---|-------------------------------|---|------------------------------|
| 1 | barre d'alimentation coaxiale | 5 | panneaux |
| 2 | barre | 6 | support isolant pour panneau |
| 3 | électrode | 7 | isolateur |
| 4 | capteurs de panneau | | |

Figure 9 – Exemple de disposition à cage (barre d'alimentation, tubes de barres et électrodes d'arc) représentée avec trois panneaux pour des essais selon la procédure A (les capteurs de surveillance ne sont pas représentés)



Légende

- | | | | |
|---|--|---|--|
| 1 | capteurs de surveillance | 3 | support pour mannequin (ou pour panneau) |
| 2 | système coulissant pour la position de rotation/pivotement du mannequin et pour le réglage de sa distance par rapport aux électrodes (non visible) | 4 | barres omnibus |

Les deux mannequins ou panneaux supplémentaires au plus et leurs capteurs de surveillance adjacents ne sont pas représentés.

Figure 10 – Placement relatif de la disposition à cage (barre d'alimentation, tubes de barres et électrodes d'arc) et d'un mannequin-torçe et ses capteurs de surveillance pour des essais selon la procédure B

6.7.3 Électrodes

Les électrodes sont constituées d'une tige en acier inoxydable (alliage de type UNS-S30300, UNS-782 S30400 ou S31603/316L) d'un diamètre nominal compris entre 15 mm et 25 mm.

6.7.4 Fil fusible

Un fil fusible, raccordant les extrémités des pointes d'électrodes opposées, doit être utilisé pour amorcer l'arc. Ce fil est consommé pendant l'essai; par conséquent, sa masse doit être très réduite pour diminuer le risque de brûlures avec du métal fondu. Le fil fusible doit être un fil conducteur (par exemple, en cuivre) d'un diamètre nominal de 0,5 mm ou moins.

6.8 Alimentation électrique

L'alimentation électrique doit être suffisante pour permettre la décharge d'un arc électrique amorcé avec un fil fusible, aux bornes d'un intervalle jusqu'à 315 mm, avec un courant d'arc alternatif comprenant une composante efficace en régime permanent symétrique de $8 \text{ kA} \pm 0,5 \text{ kA}$ et une durée d'arc jusqu'à au moins 1 s à partir d'une alimentation à fréquence industrielle.

La tension doit être suffisante pour maintenir l'arc pendant toute la durée de l'essai. Une tension en circuit ouvert d'au moins 2 000 V et un *rapport* X/R du circuit d'essai tel que le courant d'essai contient une composante continue générant une première crête du courant d'essai ayant une amplitude correspondant à 2,3 fois la valeur efficace symétrique, se sont avérés suffisants.

Un interrupteur utilisé pour l'amorçage de l'arc doit satisfaire aux exigences de 6.9, car il a été démontré que cette fonctionnalité produit des angles de fermeture, ce qui produit des courants asymétriques avec un *rapport* X/R tel qu'indiqué ci-dessus.

NOTE 1 Des débats et des recherches ont lieu pour déterminer si des courants d'essai autres que des courants entièrement asymétriques avec une tension d'au moins 2 000 V peuvent être envisagés. D'autres recherches se poursuivent afin de déterminer clairement si des essais effectués avec des courants symétriques et des tensions en circuit ouvert inférieures influent sur l'*ATPV*, l'*EBT* ou l'*ELIM*.

Pour pouvoir soumettre à l'essai des *matériaux* et des vêtements avec des *valeurs assignées d'arc* jusqu'à 4 184 kJ/m² (100 cal/cm²), l'alimentation électrique doit être suffisante pour permettre une *durée d'arc* plus longue.

NOTE 2 Lorsque l'alimentation électrique est capable de permettre uniquement des *arcs électriques* d'une durée plus courte, les essais sont limités aux seuls *matériaux* et vêtements avec une *valeur assignée d'arc* inférieure.

6.9 Commande du circuit d'essai

L'interrupteur utilisé pour l'amorçage de l'arc doit être capable d'une fermeture en tout point de l'onde avec une tolérance de $\pm 0,5$ ms entre des tirs à blanc et/ou des tirages d'arc ultérieurs. Le système de commande du circuit doit être capable de mesurer et d'enregistrer les valeurs réelles de courant, de tension et de durée d'arc. Le courant d'arc, sa tension et son énergie doivent être présentés sous forme de graphique pendant toute la *durée d'arc* et stockés sous forme numérique.

6.10 Système d'acquisition et de traitement de données

6.10.1 Généralités

Le système doit être capable de mesurer la *tension* et le *courant d'arc*, ainsi que des sorties de *calorimètre* comme l'exige cette méthode d'essai.

Le système de mesure peut nécessiter l'utilisation d'enregistreurs de formes d'ondes distincts ayant un taux d'acquisition différent.

6.10.2 Acquisition de données

6.10.2.1 Acquisition de données par les *calorimètres*

Le système d'acquisition (pour la conversion de l'analogique au numérique) des signaux émis par les *calorimètres*, qui peut être constitué du convertisseur (y compris le système d'isolation), de l'enregistreur, du calculateur et du logiciel, doit être capable d'enregistrer une sortie de *calorimètre* correspondant à une plage de températures comprises entre 0 °C et 500 °C. Le système d'acquisition de température doit avoir au moins une résolution de 0,1 °C et une exactitude de $\pm 0,75$ °C (ceci n'inclut pas l'exactitude du couple thermoélectrique et du *calorimètre*). Il doit être capable de réaliser des corrections de jonctions froides et de convertir les signaux en millivolts émis par le couple thermoélectrique de type K en température (conforme à l'IEC 60584-1).

L'enregistreur de forme d'onde dédié à l'enregistrement des données des *calorimètres* doit être capable d'enregistrer tous les canaux simultanément à une fréquence d'échantillonnage d'au moins 100 échantillons par seconde et par canal. Le système complet doit avoir une largeur de bande de -3 dB d'une fréquence d'au moins 20 Hz.

NOTE 1 Une fréquence d'échantillonnage trop faible empêche toute synchronisation précise des courbes de température avec le temps d'amorçage de l'arc t_0 . Une fréquence d'échantillonnage minimale de 100 garantit une résolution temporelle de 10 ms ou plus. Une largeur de bande minimale combinée de 20 Hz pour le module enregistreur numérique et tous les filtres analogiques et numériques lorsqu'ils sont utilisés s'est avérée suffisante pour éviter toute erreur significative du temps de montée des signaux.

NOTE 2 Un filtrage peut s'avérer nécessaire pour éliminer une partie du bruit qui affecte les signaux du couple thermoélectrique.

Le filtre doit conserver la forme d'onde et ne doit pas générer de décalage temporel.

NOTE 3 Une méthode acceptable de filtrage du bruit d'arc consiste à détecter son point initial et son point final affectant le signal numérique synchronisé, et à éliminer le bruit par remplacement des points du signal numérisé contenant le bruit, par une courbe polynomiale par partie interpolée qui conserve la fréquence d'échantillonnage d'origine. Cette méthode permet d'obtenir des points de signaux sans bruit.

Il n'est pas recommandé d'utiliser des filtres analogiques ou numériques tels que des filtres de Bessel, Butterworth, Chebyshev ou des algorithmes analogues, étant donné qu'ils peuvent générer un comportement de décalage temporel et remettre en cause les évaluations de l'énergie et des critères de Stoll.

Le système d'acquisition doit être capable d'enregistrer de manière continue:

- a) les données de température d'exposition au préarc afin d'obtenir les températures de *capteur* initiales, et
- b) les données de température des *capteurs* de surveillance et des *capteurs* de panneau jusqu'à au moins 30 s après l'amorçage de l'arc.

6.10.2.2 Acquisition de données pour la mesure de la tension et du courant

Le système d'acquisition qui permet de mesurer le courant et la tension d'arc peut être constitué de transformateurs d'isolement, de shunts, de diviseurs, d'un enregistreur de forme d'onde, d'un calculateur et d'un logiciel. L'enregistreur de forme d'onde doit avoir une fréquence d'échantillonnage minimale de 2 000 échantillons par seconde et une largeur de bande de –3 dB d'une fréquence d'au moins 200 Hz. Le système de mesure du courant et de la tension d'arc doit avoir une exactitude d'au moins 3 % du courant et de la tension appliqués.

6.10.3 Synchronisation des signaux

Tous les enregistreurs de formes d'onde utilisés dans le système d'acquisition de données pour mesurer le courant et la tension d'arc, ainsi que toutes les températures (c'est-à-dire l'augmentation de la température en fonction du temps) de tous les *calorimètres*, doivent être synchronisés pour assurer le maintien de la relation en temps réel entre toutes les formes d'onde.

Le système d'acquisition de données doit mesurer un signal d'arc électrique, adapté à la détermination synchronisée du temps d'amorçage de l'arc et de toutes les températures (c'est-à-dire l'augmentation de la température en fonction du temps) de tous les *calorimètres* des *capteurs* de surveillance et des *capteurs* de panneau.

Le temps d'amorçage de l'arc t_0 , qui correspond au temps de début de l'arc, doit être déterminé de manière fiable à partir de ce signal d'arc électrique (par exemple, courant).

NOTE 1 Une méthode fiable consiste à définir un niveau minimal de valeur de seuil, légèrement supérieur au bruit électrique (sans arc) habituel, et à déterminer alors le temps d'amorçage de l'arc t_0 comme le temps du point d'échantillonnage précédant le premier point d'échantillonnage au-dessus du seuil de bruit.

NOTE 2 Le signal d'un *capteur* distinct spécifique (qui mesure, par exemple, la tension induite par l'arc dans une bobine) peut être utilisé comme signal d'arc pour déterminer le temps d'amorçage de l'arc, en lieu et place de l'onde de courant d'arc.

NOTE 3 Une méthode de synchronisation fiable du lancement des systèmes d'acquisition de données consiste à utiliser le signal d'arc comme un élément déclencheur de chaque enregistreur de forme d'onde.

NOTE 4 La procédure suivante peut être utilisée pour vérifier la synchronisation réciproque des mesurages de tous les *calorimètres* des *capteurs*, c'est-à-dire qu'ils utilisent la même base de temps: Le temps $t_{0,i}$ est déterminé pour la réponse de chaque capteur i comme le temps du premier signal échantillonné présentant une variation cohérente de la température (c'est-à-dire supérieure à toute fluctuation due à la résolution du matériel ou à des causes environnementales préalables ou ultérieures à des formations d'arc). La synchronisation de tous les *capteurs* peut être considérée comme effective si la différence entre les premières et les dernières valeurs du temps de signal $t_{0,i}$ de chaque *capteur* est inférieure à 20 ms. Cette procédure peut être utilisée pour les *capteurs* de panneau uniquement lorsqu'ils ne sont pas couverts par les éprouvettes d'essai. Lorsque les *capteurs* de panneau sont couverts par les éprouvettes d'essai, elle ne permet pas de vérifier de manière fiable leur synchronisation réciproque, ainsi que leur synchronisation avec les *capteurs* de surveillance.

7 Sécurité des opérateurs

Pendant la durée de l'*arc électrique*, l'appareillage d'essai décharge de grandes quantités d'énergie. De plus, l'*arc électrique* produit une lumière très intense. Des précautions doivent être prises pour protéger le personnel qui travaille dans la zone.

Les dangers suivants, entre autres, peuvent survenir:

- une lumière très intense;
- un contact avec du métal fondu et vaporisé;
- une pression acoustique extrême;
- des produits de combustion, de la fumée et des vapeurs;
- l'appareillage d'essai, les électrodes et l'ensemble *calorimètre* deviennent chauds au cours de l'essai;
- un risque d'incendie dû à des éprouvettes enflammées et des gaz de combustion;
- un risque d'électrocution lors d'un reconditionnement ou de modifications, etc.

La sécurité des personnes doit être assurée selon la législation nationale.

NOTE 1 Des barrières de protection ou une distance de sécurité peuvent permettre d'empêcher toute électrocution et tout contact avec du métal fondu et vaporisé. Des verres fortement teintés peuvent permettre de protéger les observateurs des essais. Dans le cas d'essais à l'intérieur, les produits de combustion, la fumée et les vapeurs sont évacués par ventilation après les essais et avant pénétration dans la salle d'essai.

NOTE 2 Des dispositifs de protection respiratoire (par exemple, dispositifs de filtrage électriques avec cagoule ou masque complet et filtre approprié) peuvent être nécessaires lors du retrait ou du remplacement des éprouvettes directement après chaque essai en cas de persistance des produits de combustion, de la fumée et des vapeurs.

NOTE 3 Une méthode de ventilation de la zone peut être utilisée pour évacuer les produits de combustion, la fumée et les vapeurs.

8 Préparation des éprouvettes

8.1 Description des éprouvettes d'essai

8.1.1 Éprouvettes d'essai pour la procédure A

Les éprouvettes d'essai sous la forme d'un *matériau* ou d'un *assemblage de matériaux* plat doivent être découpées dans des échantillons d'*articles d'habillement* ou des échantillons de l'*assemblage d'articles d'habillement*, ou doivent être constituées de manière à être représentatives de l'*article d'habillement* ou de l'*assemblage d'articles d'habillement*.

La taille des éprouvettes après le traitement préalable par lavage selon 8.2 doit être plus longue et plus large que la longueur et la largeur de panneau réelle d'au moins 100 mm, mais ne doit toutefois pas dépasser cette longueur et cette largeur de plus de 130 mm.

Le strict respect de l'exigence concernant la longueur et la largeur maximale des éprouvettes d'essai est particulièrement important pour les *matériaux* dont le rétrécissement est dû à une exposition à l'arc à un niveau élevé tel que la *formation d'un trou par rétrécissement complet* peut se produire.

Au moins 20 éprouvettes d'essai rectangulaires doivent être découpées selon une longueur dans le sens de la chaîne du *matériau*. Plus de 20 éprouvettes d'essai peuvent être nécessaires selon 11.1.2 et 11.1.3.

Il est recommandé de préparer environ 30 éprouvettes d'essai. En l'absence d'homogénéité des *matériaux* et/ou en cas d'*EBT* d'un *matériau* nettement supérieure à son *ATPV*, un plus grand nombre d'éprouvettes d'essai peut même s'avérer nécessaire afin de pouvoir déterminer à la fois l'*ATPV* et l'*EBT*.

NOTE Une fois l'*ATPV* déterminée, l'essai d'éprouvettes supplémentaires n'est habituellement pas nécessaire pour déterminer l'*ELIM*.

8.1.2 Éprouvettes d'essai pour la procédure B

Les éprouvettes d'essai doivent être des *articles d'habillement* finis (c'est-à-dire avec les fournitures de confection, les poches et les fermetures, etc.) ou des *ensembles d'articles d'habillement* portés ensemble et/ou portés l'un sur l'autre selon les instructions d'utilisation normale du fabricant.

La taille des *articles d'habillement* ou de l'ensemble d'*articles d'habillement* doit être adaptée au mannequin.

Deux éprouvettes ou plus peuvent être nécessaires selon 11.2.2 et 11.4.2.

8.2 Traitement préalable des éprouvettes d'essai par nettoyage

Préalablement aux essais, chaque éprouvette d'essai ou le nombre d'échantillons de *matériau* à partir desquels les éprouvettes d'essai peuvent être constituées, doit faire l'objet d'un traitement préalable par nettoyage, si celui-ci est autorisé selon les instructions du fabricant.

Le nettoyage doit être réalisé conformément aux instructions du fabricant à partir de procédés normalisés. Les essais doivent être effectués après le nombre de cycles de nettoyage spécifié par le fabricant. Si le nombre de cycles de nettoyage n'est pas spécifié, les essais doivent être effectués après cinq cycles de nettoyage (un cycle de nettoyage correspond à un lavage et un cycle de séchage).

Si le lavage ainsi que le nettoyage à sec sont autorisés, les éprouvettes doivent alors uniquement être lavées. Les produits portant une étiquette mentionnant le nettoyage à sec uniquement doivent être uniquement nettoyés à sec.

NOTE Les instructions du fabricant indiquent généralement un ou plusieurs des procédés et méthodes de l'ISO 6330, de l'ISO 15797, de l'ISO 3175-2 ou des procédés normalisés équivalents pour le lavage.

L'état plat des éprouvettes peut être rétabli par pressage après nettoyage.

8.3 Préconditionnement des éprouvettes d'essai

Les éprouvettes doivent être preconditionnées préalablement aux essais. L'atmosphère de conditionnement doit être la température entre 18 °C et 28 °C et l'humidité relative entre 45 % et 75 % pendant au moins 24 h.

9 Étalonnage et vérification

9.1 Préétalonnage du système d'acquisition de données

Le système d'acquisition de données complet doit être étalonné. Son système de mesure des températures doit être étalonné en utilisant un appareil d'étalonnage/simulateur de couple thermoélectrique. Les étalonnages peuvent ainsi être effectués en de multiples points et à des

niveaux supérieurs à 100 °C. Étant donné la nature des essais, des vérifications fréquentes de l'étalonnage sont recommandées.

9.2 Vérification des *calorimètres*

Les *calorimètres* doivent être vérifiés en vue du contrôle de leur bon fonctionnement. La vérification peut être effectuée avant ou après la mise en place en position finale de tous les *capteurs calorimétriques* ou de tous les *calorimètres* pour panneau nécessaires, ainsi que de tous les capteurs de surveillance également nécessaires pour déterminer la *valeur assignée d'arc* (voir Tableau 1).

Une méthode de vérification acceptable consiste à exposer chaque *calorimètre* à une énergie rayonnante d'un projecteur de 500 W pendant une durée de 30 s de la manière suivante.

- La surface avant du projecteur doit être placée à une même distance de $250 \text{ mm} \pm 50 \text{ mm}$ par rapport à chaque *calorimètre*. Le faisceau du projecteur doit être centré sur le *calorimètre* et perpendiculaire à celui-ci.
- Cette méthode doit être appliquée sur les *calorimètres* en position finale pour les panneaux et les capteurs de surveillance en veillant à avoir la même température initiale $\pm 2 \text{ °C}$ au niveau de chaque *calorimètre*, c'est-à-dire éviter un préchauffage des *calorimètres* voisins lors de la vérification d'un *calorimètre*.
- Le projecteur doit émettre un *flux thermique* stable pendant au moins la durée nécessaire à la vérification de tous les *calorimètres*. Chaque *calorimètre* doit être exposé à une source d'énergie rayonnante fixe pendant 30 s.
- L'augmentation de la température de chaque *calorimètre* et la réponse du système d'acquisition de données doivent être mesurées et représentées sous forme de graphique.
- Pendant une durée de 30 s, aucune réponse de *calorimètre* ne doit varier de plus de 4 °C de la moyenne de l'ensemble des *calorimètres*.
- Tout *calorimètre* ne satisfaisant pas à cette exigence doit être remplacé ou réparé.

D'autres méthodes de vérification appropriée du fonctionnement de chaque *calorimètre* par rapport à la moyenne d'un groupe de *capteurs* adaptés identifiés sont acceptables, sous réserve que ces méthodes soient documentées et reproductibles, et qu'il ait par ailleurs été démontré qu'elles produisent les mêmes résultats.

9.3 Vérification de l'exposition à l'arc et de l'appareillage pour les panneaux à deux *capteurs* et les *capteurs* de surveillance

9.3.1 Montage des électrodes et du fil fusible

Préalablement à chaque vérification, les électrodes de l'appareillage d'essai doivent être placées de manière à produire un espace de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. Le point milieu de l'espace entre les électrodes doit se trouver à la même hauteur que les points centraux des *capteurs* de surveillance et des *capteurs* de panneau inférieurs (voir Figure 4). Raccorder le fil fusible à l'extrémité d'une électrode en effectuant plusieurs enroulements et torsions, puis à l'extrémité de l'autre électrode par la même méthode. Le fil fusible doit être tiré fermement et l'excédent de fil doit être coupé.

9.3.2 Placement des panneaux à deux *capteurs*, des mannequins et des *capteurs* de surveillance

Chaque panneau à deux *capteurs* ou chaque mannequin doit être placé de sorte que sa surface soit perpendiculaire à la droite qui relie l'axe des électrodes et la surface du panneau ou du mannequin. La distance entre l'axe des électrodes et le panneau ou le mannequin doit être de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.

Le placement des *capteurs de surveillance* tel qu'exigé en 6.2.3.2 (c'est-à-dire que le *capteur de surveillance* doit se situer à une distance de $340 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ de l'axe des électrodes (position 1 selon le Tableau 1 donné en 6.2) ou à une distance de $410 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ de ce même axe (position 2 selon le Tableau 1 donné en 6.2)) doit être vérifié. Si nécessaire, le placement doit être ajusté. En variante, les *capteurs de surveillance* peuvent, à des fins d'exposition et d'étalonnage de l'appareil, être placés de sorte que la surface de chaque capteur se situe à une distance de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ de l'axe des électrodes.

Dans tous les cas, la distance réelle de chaque *capteur de surveillance* doit être mesurée à $\pm 2 \text{ mm}$ près et les valeurs enregistrées et utilisées pour le calcul de l'énergie incidente selon 12.1.4 doivent être corrigées par un facteur de correction de l'énergie incidente, afin que chaque *capteur de surveillance* produise une matrice de valeurs d'énergie incidente en fonction du temps à une distance de 300 mm de l'axe des électrodes, c'est-à-dire à la position des *capteurs* de panneau. Ce facteur de correction de l'énergie incidente pour un *capteur de surveillance* doit correspondre au carré du rapport de la distance réelle du *capteur de surveillance* divisé par la distance réelle du panneau ou du mannequin à côté duquel est placé le *capteur de surveillance*.

9.3.3 Tir à blanc de vérification

Les paramètres d'essai propres au *tir à blanc* relatif à l'exposition à l'arc et à la vérification de l'appareillage doivent être les suivants:

- un courant d'arc de $8 \text{ kA} \pm 0,5 \text{ kA}$ tel qu'indiqué en 6.8;
- un espace entre les électrodes de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$;
- des électrodes en acier inoxydable;
- une distance de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ entre l'axe de l'arc et la surface des panneaux;
- une distance de $340 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ ou de $410 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ entre l'axe de l'arc et la surface du *capteur de surveillance*;
- une *durée d'arc* de $167 \text{ ms} \pm 2 \text{ ms}$ (c'est-à-dire une durée nominale de 10 cycles) avec une alimentation de 60 Hz ou une *durée d'arc* de $170 \text{ ms} \pm 2 \text{ ms}$ (c'est-à-dire une durée nominale de 8,5 cycles) avec une alimentation de 50 Hz.

L'arc doit être allumé et la réponse température-temps produite par chaque *capteur* doit être convertie en une réponse d'énergie incidente en fonction du temps selon 12.1, c'est-à-dire une matrice de valeurs d'énergie incidente à une distance de 300 mm de l'axe arc-temps. La valeur maximale de la réponse de l'énergie incidente pour chaque *capteur* doit être déterminée et considérée comme l'énergie incidente (chaleur totale) en kJ/m^2 mesurée par chaque *capteur*. Du fait que l'arc ne suit pas un trajet équidistant de chaque *capteur*, les valeurs d'énergie incidente obtenues varient entre les *capteurs*.

La valeur moyenne des *énergies incidentes* de tous les *capteurs* calorimétriques situés à mi-hauteur de l'*intervalle d'arc*, c'est-à-dire de l'ensemble des six *capteurs* de surveillance et de l'ensemble des *capteurs* placés au centre de chaque panneau, partie intégrante du réglage de l'appareillage d'essai, doit être de $313,8 \text{ kJ/m}^2 \pm 41,8 \text{ kJ/m}^2$ ($7,5 \text{ cal/cm}^2 \pm 1,0 \text{ cal/cm}^2$).

L'énergie incidente mesurée la plus élevée des *capteurs* situés à mi-hauteur de l'*intervalle d'arc*, ne doit pas être 30 % supérieure à la valeur moyenne des énergies incidentes de ces *capteurs* et l'énergie incidente mesurée la plus faible de ces *capteurs* ne doit pas être 30 % inférieure à la valeur moyenne.

Lorsque trois panneaux font partie intégrante du réglage de l'appareillage d'essai, l'énergie incidente mesurée la plus élevée des *capteurs* de panneau supérieurs ne doit pas être supérieure de plus de 25 % à la valeur moyenne des énergies incidentes de ces *capteurs* et l'énergie incidente mesurée la plus faible de ces *capteurs* ne doit pas être inférieure de plus de 25 % à la valeur moyenne.

Lorsque les exigences de distribution d'*énergie incidente* décrites ci-dessus ne sont pas satisfaites, examiner le montage d'essai et contrôler la vérification du système de *capteurs* et des conditions électriques, corriger les problèmes et répéter la procédure de vérification de l'appareillage jusqu'à ce que les exigences susmentionnées soient satisfaites.

Il est recommandé de réaliser un essai de vérification de l'appareillage d'exposition à l'arc préalablement au début et à la fin de chaque essai quotidien et après tout réglage ou toute défaillance du matériel. Il est également recommandé d'enregistrer les résultats. Il est également recommandé d'effectuer simultanément une vérification de synchronisation telle que décrite à la Note 2 de 6.10.2.1.

9.3.4 Protocole d'essai de *tir à blanc* de vérification

Les paramètres de réglage de l'appareillage d'essai doivent être vérifiés, confirmés et enregistrés pour chaque *tir à blanc* utilisé à des fins d'exposition à l'arc et de vérification de l'appareillage.

De plus, la température ambiante et l'humidité relative doivent être mesurées et consignées préalablement à chaque *tir à blanc* de vérification.

Les valeurs à mesurer, enregistrer et consigner pour chaque *tir à blanc* de vérification, doivent être le courant d'arc de crête, le courant d'arc efficace, la *durée d'arc*, l'*énergie d'arc* et la *tension d'arc* efficace. Un graphique du courant d'arc doit être tracé pour présenter la forme d'onde appropriée.

10 Entretien et maintenance de l'appareillage d'essai

10.1 Reconditionnement de surface

La surface de chaque *capteur* doit faire l'objet d'un examen visuel après chaque essai et, sur la base de son état, peut être essuyée immédiatement après l'essai, tandis qu'elle est chaude, afin d'éliminer les produits de décomposition éventuels qui se condensent et peuvent se dessécher, et constituer une source d'erreur future. Si un dépôt se forme et s'il s'avère plus épais qu'une couche mince de peinture, ou est irrégulier, le reconditionnement de la surface du *capteur* est nécessaire.

Un nettoyage immédiat des *calorimètres* peut être effectué couramment avec de l'eau. Si les dépôts ne sont pas solubles dans l'eau, le *capteur* refroidi doit être nettoyé avec soin au moyen d'un liquide de nettoyage et/ou d'un décapant pour peinture, en s'assurant de suivre des pratiques de manipulation en toute sécurité. La surface doit être repeinte avec une couche mince de la même peinture qu'en 6.2.2. La même peinture doit être utilisée sur tous les *capteurs* et la peinture doit être sèche avant de passer à l'essai suivant.

Il est recommandé d'effectuer un *tir à blanc* selon 9.3.3 après chaque reconditionnement de surface des *capteurs*, pour le séchage de toute nouvelle peinture et la vérification de l'appareillage.

En variante, en lieu et place de l'élimination de la peinture, la combustion des produits contaminants à la surface du disque de cuivre au cours d'un *tir à blanc* peut être suffisante, après le nettoyage du *calorimètre* avec de l'eau préalablement au *tir à blanc*.

NOTE 1 Le mélange de trois parties volumiques de 1,1,1-trichloroéthane et d'une partie volumique d'éthanol s'est avéré un liquide de nettoyage du *calorimètre* approprié.

NOTE 2 De l'acétone ou des solvants de pétrole se sont avérés un décapant pour peinture approprié.

Il est recommandé d'effectuer la vérification également selon 9.2 préalablement à une vérification selon 9.3.3.

10.2 Entretien des panneaux, des mannequins et des capteurs

Les panneaux de *capteurs* et les mannequins doivent être maintenus dans un état sec.

Pour les essais effectués en extérieur, les panneaux, les mannequins et les *capteurs* peuvent être couverts entre les tirs d'essai afin d'empêcher tout échauffement ou refroidissement supplémentaire dû à l'exposition aux conditions d'environnement.

10.3 Entretien des électrodes

Avant chaque *tir à blanc* ou *chaque tir d'essai*, l'espace entre les électrodes doit être maintenu tel qu'exigé. Les électrodes doivent être remplacées lorsque l'espace exigé ne peut être maintenu (électrodes trop courtes).

11 Procédures d'essai

11.1 Procédure A – essais avec panneaux

11.1.1 Paramètres d'essai et réglages

La valeur efficace de la composante symétrique du courant d'arc doit être de $8 \text{ kA} \pm 0,5 \text{ kA}$, un espace entre les électrodes de $300 \text{ mm} \pm 15 \text{ mm}$, des électrodes en acier inoxydable et une distance de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ entre l'axe de l'arc et la surface du panneau. La durée de l'arc doit varier afin de produire la série nécessaire d'expositions d'essai sur une plage d'énergies incidentes, laquelle doit satisfaire aux critères de 11.1.3.

Les *capteurs de surveillance* doivent être réglés sur la position 1 pour les expositions à l'énergie incidente nécessaires pour déterminer une valeur prévue de l'*ATPV*, de l'*EBT* ou de l'*ELIM* jusqu'à $2\,300 \text{ kJ/m}^2$ (environ 55 cal/cm^2) ou sur la position 2 pour une valeur prévue de l'*ATPV*, de l'*EBT* ou de l'*ELIM* supérieure à $1\,675 \text{ kJ/m}^2$ (environ 40 cal/cm^2), avec les positions 1 et 2 indiquées dans le Tableau 1. Voir le Tableau 1 pour la position latérale des *capteurs de surveillance* par rapport à un panneau ou un mannequin.

Il est recommandé de ne pas modifier les positions des *capteurs de surveillance* lors d'une série d'essais nécessaires pour déterminer la *valeur assignée d'arc* d'un *matériau*.

L'enregistrement des données de température des capteurs de surveillance et des *capteurs de panneau* doit commencer préalablement à l'amorçage de l'arc afin d'établir une température initiale fiable des *capteurs* et doit se poursuivre pendant au moins 30 s après l'amorçage de l'arc.

11.1.2 Séquence d'essais avec des éprouvettes d'essai de matériau ou d'assemblage de matériaux

Une série de tirs d'essais nécessaire pour produire les données d'au moins 20 éprouvettes d'essai doit être exécutée, avec les éprouvettes exposées à une plage d'énergies incidentes, afin de déterminer l'*ATPV*, l'*EBT* ou l'*ELIM* d'un *matériau* ou d'un *assemblage de matériaux*. Les ensembles de points de données d'énergie incidente mesurés (voir 12.1.4) doivent satisfaire aux critères de distribution de 11.1.3. Lorsque les critères de distribution ne sont pas satisfaits, des éprouvettes supplémentaires doivent être soumises à l'essai afin de satisfaire aux critères de distribution.

Tous les points de données valides doivent être utilisés. Un point de données ne doit pas être utilisé lorsque la température d'un *calorimètre* de cuivre dépasse $500 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

NOTE 1 Chaque essai de la série est constitué habituellement de trois éprouvettes du même *matériau* ou *assemblage de matériaux*, avec une éprouvette pour chacun des trois panneaux à deux *capteurs*. Ainsi, pour obtenir au moins des données pour 20 éprouvettes d'essai, la série d'essais est constituée d'au moins sept *tirs d'essai*.

Le premier objectif de la séquence d'essais destinée à déterminer la *valeur assignée d'arc* est d'établir l'*ATPV*.

Si, au cours des essais de détermination de l'*ATPV*, deux occurrences ou plus d'*éventration de matériau* sont constatées à des *énergies incidentes* inférieures à une valeur de 20 % au-dessus de la valeur de détermination de l'*ATPV*, l'*EBT* doit également être déterminée.

NOTE 2 Il s'agit d'un cas typique dans lequel plus de 20 éprouvettes d'essai peuvent être nécessaires pour pouvoir évaluer également la réponse à l'*éventration* (voir 12.3 pour la détermination de l'*EBT* du fait de la réponse à l'*éventration* des éprouvettes d'essai).

11.1.3 Critères pour l'ensemble de données résultant du processus itératif des *tirs d'essai*

11.1.3.1 *Tirs d'essai* pour la détermination de l'*ATPV*

L'ensemble de points de données doit être distribué de la manière suivante pour la détermination de l'*ATPV* (voir 12.2):

- a) au moins trois points de données doivent être en dessous de la *zone mixte*;
- b) au moins trois points de données doivent être au-dessus de la *zone mixte*;
- c) au moins 10 points de données doivent se situer dans la plage de ± 20 % de l'*ATPV* finale.

NOTE Les points de données situés dans cette plage d'énergies sont typiquement dans la *zone mixte*, c'est-à-dire que certains points de données dépassent et que d'autres ne dépassent pas les critères de Stoll.

Une séquence de *tirs d'essai*, qui doit produire au moins 20 points de données, doit être exécutée selon un ordre qui permet de satisfaire aux exigences susmentionnées de distribution des points de données.

La meilleure méthode d'exécution de la séquence de *tirs d'essai* consiste en un processus itératif, c'est-à-dire un processus tel que les résultats d'un nombre croissant de *tirs d'essai* permettent de satisfaire de mieux en mieux aux exigences de distribution des points de données, et ainsi de déterminer une estimation toujours meilleure de l'*ATPV* (voir par exemple l'Annexe C).

Dans le cas où les 20 points de données au minimum obtenus ne permettent pas de satisfaire aux exigences de distribution des points de données, des *tirs d'essai* supplémentaires doivent être effectués.

De plus, dans le cas d'un *matériau* multicouche:

- au moins trois points de données doivent également être obtenus, si l'*énergie incidente* n'a pas provoqué l'*ablation* de la couche au niveau de la partie supérieure de la couche la plus interne du *matériau*.
- au moins trois points de données doivent également être obtenus, si l'*énergie incidente* a provoqué l'*ablation* de la couche au niveau de la partie supérieure de la couche la plus interne.

11.1.3.2 *Tirs d'essai* pour la détermination de l'*EBT*

L'ensemble de points de données doit être distribué de la manière suivante pour la détermination de l'*EBT* (voir 12.3):

- a) au moins trois points de données doivent être en dessous de la *zone mixte*;
- b) au moins trois points de données doivent être au-dessus de la *zone mixte*;
- c) au moins 10 points de données doivent se situer dans la plage de ± 20 % de l'*EBT* finale.

NOTE Les points de données situés dans cette plage d'énergies sont typiquement dans la *zone mixte*, c'est-à-dire que certains points de données présentent ou ne présentent pas d'*éventration* dans le cas de la détermination de l'*EBT*.

Un processus itératif analogue au processus de détermination de l'*ATPV* doit être exécuté afin de satisfaire aux exigences susmentionnées de distribution des points de données pour la détermination de l'*EBT*. Pour le calcul des valeurs estimées par itération de l'*EBT* selon 12.3, les informations relatives à l'éventration de matériau et/ou à la *formation d'un trou par rétrécissement complet* permettent de déterminer les réponses binaires «0» et «1» (c'est-à-dire que «1» signifie l'occurrence d'une *éventration* et/ou de la *formation d'un trou par rétrécissement complet*).

11.1.3.3 Tirs d'essai pour la détermination de l'*ELIM*

L'ensemble de points de données nécessaires pour la détermination de l'*ATPV* ou de l'*EBT* si cette dernière valeur est inférieure à la première, permet de déterminer l'*ELIM* (voir 12.4).

Il n'est toutefois pas nécessaire de déterminer l'*EBT* avec la fidélité statistique exigée par 11.1.3.2 (c'est-à-dire sur la base d'un ensemble de points de données produits par au moins 20 éprouvettes), s'il est établi, après l'essai effectif de quelques éprouvettes, que l'*EBT* est au moins 20 % supérieure à l'*ATPV*.

11.2 Procédure B – essais avec mannequins

11.2.1 Paramètres d'essai et réglages

La valeur efficace de la composante symétrique du courant d'arc doit être de $8 \text{ kA} \pm 0,5 \text{ kA}$, un espace entre les électrodes de $300 \text{ mm} \pm 15 \text{ mm}$, des électrodes en acier inoxydable et une distance de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ entre l'axe de l'arc et la surface du panneau.

Dans le cas où le fabricant indique qu'une *valeur assignée d'arc* doit être attribuée à un *article d'habillement* ou un vêtement constitué d'un *matériau* dont la *valeur assignée d'arc* déterminée selon la procédure A est connue, la durée de l'arc doit être choisie de sorte que la valeur d'exposition à l'énergie incidente obtenue doit se situer dans la plage $^{+25}_0$ % comprise entre moins 0 % et plus 25 % de la *valeur assignée d'arc* du *matériau*.

La durée de l'arc peut toutefois être choisie de manière à être plus courte que celle indiquée ci-dessus, si l'objectif de la partie qui sollicite la réalisation des essais n'est pas d'obtenir une *valeur assignée d'arc* attribuée à un *article d'habillement* ou un ensemble d'*articles d'habillement* qui soit aussi élevée que la *valeur assignée d'arc* du *matériau*.

Les *capteurs de surveillance* doivent être réglés en fonction de l'exposition aux énergies incidentes spécifiées en 11.1.1 et en 6.2.3.2, ainsi que dans le Tableau 1.

L'enregistrement des données de température des *capteurs de surveillance* doit commencer préalablement à l'amorçage de l'arc afin d'établir une température initiale fiable des *capteurs* et doit se poursuivre pendant au moins 30 s après l'amorçage de l'arc.

11.2.2 Essai unique ou séquence d'essais avec une ou des éprouvettes d'article d'habillement ou d'assemblage d'articles d'habillement

Au moins une éprouvette d'*article d'habillement* ou d'*assemblage d'articles d'habillement* montée sur un mannequin doit être soumise à l'essai pour l'évaluation de la réponse d'un *article d'habillement* ou d'un *ensemble d'articles d'habillement*.

Il peut s'avérer nécessaire d'exécuter une séquence d'essais à des expositions à l'énergie incidente différentes, chaque essai étant effectué sur une nouvelle éprouvette d'essai, afin de satisfaire à l'exigence suivante d'attribution d'une *valeur assignée d'arc* à un *article d'habillement* ou un *assemblage d'articles d'habillement*:

- Parmi le nombre d'éprouvettes soumises à l'essai, au moins l'éprouvette soumise à l'essai avec l'énergie incidente la plus faible doit satisfaire aux critères d'examen visuel indiqués en 12.6.2.

Lorsque l'exigence susmentionnée n'est pas satisfaite, il est nécessaire d'effectuer d'autres essais à des énergies incidentes inférieures jusqu'à ce que l'exigence soit satisfaite. Dans le cas contraire, aucune *valeur assignée d'arc* ne peut être attribuée à l'*article d'habillement* ou à l'*assemblage d'articles d'habillement*.

Il est recommandé de soumettre à l'essai une éprouvette d'*article d'habillement* ou d'*assemblage d'articles d'habillement* à un niveau ciblé d'*énergie incidente* égale à (par exemple, dans la plage de $^{+10}_0$ %) la *valeur assignée d'arc* du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux* dont elle est constituée, afin d'évaluer si une *valeur assignée d'arc* aussi élevée que celle du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux* peut être attribuée à l'*article d'habillement* ou à l'*assemblage d'articles d'habillement*.

NOTE 1 Habituellement, l'essai d'autres éprouvettes à un niveau d'exposition à l'*énergie incidente* inférieur est effectué uniquement si les éprouvettes soumises à l'essai précédemment ne satisfont pas aux critères d'examen visuel. Toutefois, un fabricant peut également souhaiter attribuer une *valeur assignée d'arc* à un *article d'habillement* ou un *assemblage d'articles d'habillement*, qui est (nettement) inférieure à la *valeur assignée d'arc* du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux*. Dans ce cas, l'essai peut volontairement être effectué à une énergie incidente d'exposition (nettement) inférieure à la *valeur assignée d'arc* du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux*.

NOTE 2 Par expérience, les *articles d'habillement* et les *assemblages d'articles d'habillement* sont généralement conçus et fabriqués de sorte que l'essai d'une, deux voire finalement trois éprouvettes permet d'attribuer une *valeur assignée d'arc* à un *article d'habillement* ou un *assemblage d'articles d'habillement*.

Lorsque l'exigence susmentionnée d'attribution d'une *valeur assignée d'arc* est satisfaite, cette valeur doit être déterminée comme suit:

- L'éprouvette soumise à l'essai avec l'*énergie incidente* la plus élevée doit être choisie parmi le nombre d'éprouvettes soumises à l'essai et doit satisfaire aux critères d'examen visuel indiqués en 12.6.2. Cette éprouvette permet également d'indiquer que toutes les éprouvettes soumises à l'essai à des *énergies incidentes* inférieures – le cas échéant – satisfont aux critères d'examen visuel.
- La valeur de l'*énergie incidente* à laquelle l'éprouvette choisie a été exposée au cours de l'essai, doit être comparée à la *valeur assignée d'arc* du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux* dont elle est constituée.
- La plus faible de ces deux valeurs au maximum doit être attribuée à l'*article d'habillement* ou à l'*assemblage d'articles d'habillement* comme sa valeur assignée d'arc.

Par conséquent, la *valeur assignée d'arc* d'un *article d'habillement* ou d'un *assemblage d'articles d'habillement* ne sera jamais supérieure ou égale à l'*énergie incidente* d'exposition à laquelle toute éprouvette de l'*article d'habillement* ou de l'*assemblage d'articles d'habillement* soumise à l'essai n'a pas satisfait aux critères d'examen visuel indiqués en 12.6.2.

Par conséquent, la *valeur assignée d'arc* d'un *article d'habillement* ou d'un *assemblage d'articles d'habillement* ne sera jamais supérieure à la *valeur assignée d'arc* du *matériau* ou de l'*assemblage de matériaux* dont est constitué l'*article d'habillement* ou l'*assemblage d'articles d'habillement*.

11.3 Ventilation et température initiale des capteurs

Les essais doivent être effectués dans un environnement essentiellement à air calme. Dans le cas où la ventilation de la zone s'effectue par un système de ventilation forcée afin d'évacuer les produits de combustion, la fumée et les vapeurs, le système ne doit pas être activé en cours d'exposition et tant que l'acquisition de données n'est pas achevée.

La température des *capteurs* avant chaque *tir d'essai* doit être comprise entre 15 °C et 35 °C.

Les *capteurs* peuvent être refroidis ou chauffés par exemple après exposition à l'aide d'un jet d'air ou par contact avec une surface froide ou chaude. La lecture des *capteurs* doit confirmer que leur température initiale est comprise entre 15 °C et 35 °C.

11.4 Montage de l'éprouvette

11.4.1 Procédure A – essais avec panneaux

L'éprouvette doit être fixée au panneau sans extension du *matériau* et d'une manière qui permette à l'éprouvette de rétrécir pendant l'exposition à l'arc au moyen du système de serrage du panneau. Si des éprouvettes à couches multiples sont utilisées, elles doivent être montées de manière à représenter une pose normale de couches du vêtement.

11.4.2 Procédure B – essais avec mannequins

Un *article d'habillement*, destiné à protéger le torse et les bras (par exemple, chemises, vestes, combinaisons, plastron combiné à une veste), doit être monté sur un mannequin, constitué au moins d'un torse, et doit être soumis à l'essai avec le centre de l'espace entre les électrodes à la hauteur du sternum, tel que représenté à la Figure 8 a).

Un *article d'habillement*, destiné à protéger les jambes (par exemple, pantalon) doit être monté sur un mannequin, constitué au moins de la partie inférieure du torse (y compris la taille, les hanches et l'entrejambe) avec des moignons de jambes, et doit être soumis à l'essai avec le centre de l'espace entre les électrodes à la hauteur de l'entrejambe, tel que représenté à la Figure 8 c). Aucun essai de ce type n'est toutefois nécessaire si les mêmes composants d'*article d'habillement* (par exemple, *matériaux* pour vêtements, fils de couture, matières) et/ou les mêmes éléments de conception (par exemple, ceinture élastique) ont déjà été soumis à l'essai avec un *article d'habillement* destiné à la protection du torse et des bras et ont satisfait aux exigences de performances visuelles concernant ce type d'*article d'habillement*.

Un *article d'habillement*, destiné à protéger le torse, les bras et également les jambes, doit être soumis à l'essai lorsqu'il est monté comme représenté à la Figure 8 a) et, dans le cas où la partie inférieure de l'*article d'habillement* ou de l'*assemblage d'articles d'habillement* comporte des composants et/ou des caractéristiques différents de ceux de la partie supérieure, une autre éprouvette de cet *article d'habillement* ou *assemblage d'articles d'habillement* doit être soumise à l'essai également lorsqu'elle est montée telle que représentée à la Figure 8 c). Aucun essai à la position représentée à la Figure 8 c) n'est toutefois exigé si les mêmes composants d'*article d'habillement* (par exemple, *matériaux* pour vêtements, fils de couture, matières) et/ou les mêmes éléments de conception (par exemple, ceinture élastique) ont déjà été soumis à l'essai avec un *article d'habillement* destiné à la protection du torse et des bras et ont satisfait aux exigences de performances visuelles concernant ce type d'*article d'habillement*.

De plus, les *articles d'habillement* qui n'ont pas le même système de fermeture sur toute leur longueur et/ou qui comportent des éléments de conception supplémentaires à la taille [par exemple, ceinture (élastique)] doivent également être montés sur un mannequin, constitué d'au moins un torse avec des moignons de jambes, et soumis à l'essai avec le centre de l'espace entre les électrodes à la hauteur du nombril, tel que représenté à la Figure 8 b).

Aucun essai à la position représentée à la Figure 8 b) n'est toutefois exigé si les mêmes éléments de conception ont déjà été soumis à l'essai avec un *article d'habillement* destiné à la protection du torse et des bras et ont satisfait aux exigences de performances visuelles concernant ce type d'*article d'habillement*.

Les éprouvettes d'un ensemble d'*articles d'habillement* portés l'un sur l'autre doivent être soumises à l'essai avec le centre de l'espace entre les électrodes à la ou aux hauteurs adaptées à l'*article d'habillement* le plus extérieur de l'ensemble.

Les éprouvettes d'essai doivent être montées selon une méthode qui représente le type de port prévu des vêtements avec les accessoires selon les instructions du fabricant. Les fermetures éclair ne doivent pas être coupées. Le mannequin doit porter une éprouvette d'essai avec toutes ses fermetures fixées. L'éprouvette d'essai doit être lissée sur la partie avant du mannequin et le ou les *matériaux* en excès doivent être rassemblés derrière le mannequin.