

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 (ATPV or E_{BT50}) of flame resistant materials for clothing

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 caractéristique d'arc (ATPV ou E_{BT50}) de matériaux résistant à la flamme pour vêtements



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

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

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch
Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch
Tél.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Live working – Protective clothing against the thermal hazards of an electric arc –

Part 1-1: Test methods – Method 1: Determination of the arc rating (ATPV or E_{BT50}) of flame resistant materials for clothing

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 caractéristique d'arc (ATPV ou E_{BT50}) de matériaux résistant à la flamme pour vêtements

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms, definitions and symbols	7
3.1 Terms and definitions	7
3.2 Symbols and units	11
4 Principle of the test methods	11
4.1 Test method A.....	11
4.2 Test method B.....	12
5 Significance and use of the test methods.....	12
6 Test apparatus	12
6.1 General.....	12
6.2 Method A – Arrangement of the two-sensor panels.....	13
6.3 Method A – Panel construction.....	14
6.4 Method B – Arrangement of the mannequins	15
6.5 Method B – Mannequin construction.....	17
6.6 Sensor response	18
6.7 Calorimeter construction.....	18
6.8 Supply bus and electrodes	20
6.8.1 General	20
6.8.2 Electrodes	21
6.8.3 Fuse wire	22
6.9 Electric supply.....	22
6.10 Test-circuit control.....	22
6.11 Data acquisition system.....	22
7 Precautions	22
8 Specimen preparation.....	23
8.1 Test specimens	23
8.1.1 Test specimens for method A: two-sensor panel test	23
8.1.2 Test specimens for method B: four-sensor mannequin.....	23
8.2 Laundry conditioning of test specimens	23
9 Calibration.....	23
9.1 Data acquisition system precalibration	23
9.2 Calorimeter calibration check	23
9.3 Arc exposure and apparatus calibration for the two-sensor panels and the monitoring sensors	24
9.3.1 Test apparatus	24
9.3.2 Positioning of the two-sensor panels, mannequins and monitoring sensors	24
9.3.3 Apparatus calibration for the two-sensor panels and monitoring sensors	24
9.4 Confirmation of test apparatus setting	24
10 Test apparatus care and maintenance	25
10.1 Surface reconditioning.....	25
10.2 Care of sensor panels and mannequins.....	25
10.3 Care of electrodes.....	25

11	Test procedures	25
11.1	Test parameters	25
11.2	Sequence of tests	25
11.2.1	Panels	25
11.2.2	Mannequins	25
11.2.3	Test criteria	25
11.3	Initial temperature	26
11.4	Specimen mounting	26
11.4.1	Method A panels	26
11.4.2	Method B mannequins	27
11.5	Specimen characteristics	27
11.6	Test protocol	28
12	Interpretation of results	28
12.1	Heat transfer	28
12.1.1	Determining time zero	28
12.1.2	Plotting sensor response	28
12.1.3	Sensor response versus Stoll curve	30
12.1.4	Determination of heat attenuation factor (HAF)	32
12.2	Determination of breakopen threshold energy, E_{BT50}	33
12.3	Arc rating	33
12.4	Visual inspection	33
13	Test report	34
	Annex A (normative) Measurement of char length	36
	Annex B (informative) Logistic regression technique	37
	Annex C (informative) Heat attenuation factor	39
	Bibliography	40
	Figure 1 – Method A – Arrangement of three two-sensor panels with monitoring sensors (plan view)	13
	Figure 2 – Method A – Two-sensor panel (face view) with monitoring sensors	14
	Figure 3 – Method A – Sliding two-sensor panel	15
	Figure 4 – Supply bus and arc electrodes showing the position of mannequin(s) and monitoring sensors	16
	Figure 5 – Positioning of electrodes and monitoring sensors	17
	Figure 6 – Four-sensor mannequin, front view	18
	Figure 7 – Calorimeter and thermocouple details	19
	Figure 8 – Typical installation of the copper sensor mounted in the panel and the calorimeter mounted in the monitoring sensor	20
	Figure 9 – Example of supply bus and arc electrodes for panels	21
	Figure 10 – Typical material clamping assembly	27
	Figure 11 – Typical sensor temperature-rise curve with time scale and baseline correction	29
	Table 1 – Human tissue tolerance to heat, second-degree burn [1]	31
	Table A.1 – Total tearing load	36

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
(ATPV or E_{BT50}) of flame resistant materials for clothing**

FOREWORD

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

International Standard IEC 61482-1-1 has been prepared by IEC technical committee 78: Live working.

This standard cancels and replaces IEC 61482-1:2002. It constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to IEC 61482-1:

- addition of a detailed analysis of the sensor response.

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

FDIS	Report on voting
78/793/FDIS	78/805/RVD

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

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

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

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

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

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

Part 1-1: Test methods – Method 1: Determination of the arc rating (ATPV or E_{BT50}) of flame resistant materials for clothing

1 Scope

This part of IEC 61482 specifies test methods to measure the arc thermal performance value of materials intended for use in heat- and flame-resistant clothing for workers exposed to the thermal effects of electric arcs and the function of garments using these materials. These test methods measure the arc thermal performance value of materials which meet the following requirements: less than 100 mm char length and less than 2 s afterflame after removal from flame, when tested in accordance with ISO 15025, procedure B (bottom-edge ignition) on the outer material, and the char length measured using a modified ISO method as described in Annex A.

These methods are used to measure and describe the properties of materials, products, assemblies or garments, in response to convective and radiant energy generated by an electric arc in open air under controlled laboratory conditions.

The materials used in these methods are in the form of flat specimens for method A and garments for method B.

Method A is used to determine the arc rating of materials and material assemblies when tested in a flat configuration.

Method B is used to measure garment response, not arc rating, to an arc exposure including all the garment findings, sewing thread, fastenings, fabrics and other accessories when tested on a male mannequin torso. Method B is also used for accident replication.

It is the responsibility of the user of this part of IEC 61482 to establish appropriate safety and health practices prior to use. For specific precautions, see Clause 7.

The test methods in this part of IEC 61482 are not directed to classify by protection classes. Methods determining protection classes are prescribed in IEC 61482-1-2.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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 15025:2000, *Protective clothing – Protection against heat and flame – Method of test for limited flame spread*

3 Terms, definitions and symbols

For the purposes of this document, the following terms, definitions and symbols apply.

NOTE For definitions of other textile terms related to the topic, see ASTM D-123 [7]¹⁾.

3.1 Terms and definitions

3.1.1

arc duration

time duration of the arc

NOTE Arc duration is expressed in s.

3.1.2

arc energy

W_{arc}

electrical energy supplied to the arc and converted in the arc; 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 Arc energy is expressed in kJ or kW·s.

3.1.3

arc gap

distance between the arc electrodes

NOTE Arc gap is expressed in mm.

3.1.4

arc rating

value attributed to materials or material systems that describes their performance to exposure to an electrical arc discharge

NOTE The arc rating is expressed in kW·s/m² – or optionally in cal/cm² – and is derived from the determined value of ATPV or E_{BT50} (should a material or material system exhibit a breakopen response below the ATPV value).

3.1.5

arc thermal performance value (ATPV)

in arc testing, the incident energy on a material or a multilayer system of materials that results in a 50% probability that sufficient heat transfer through the tested specimen is predicted to cause the onset of a second degree skin burn injury based on the Stoll curve, without breakopen

NOTE ATPV is expressed in kJ/m² or kW·s/m² (cal/cm²).

3.1.6

arc voltage

voltage across the arc

NOTE Arc voltage is expressed in V.

1) Figures in square brackets refer to the bibliography.

3.1.7**asymmetrical arc current**

total arc current produced during closure; it includes a direct component and a symmetrical component

NOTE Asymmetrical arc current is expressed in A.

3.1.8**breakopen**

in electric arc testing, material response evidenced by the formation of one or more openings in the material which may allow flame to pass through the material

NOTE 1 The specimen is considered to exhibit breakopen when any opening is at least 300 mm² in area or at least 25 mm in any dimension. A single thread across the opening does not reduce the size of the hole for the purposes of this part of IEC 61482.

NOTE 2 A multilayer specimen is considered to exhibit breakopen when all layers show formation of one or more openings.

3.1.9**breakopen threshold energy** **E_{BT50}**

incident energy on a fabric or material that results in a 50 % probability that sufficient heat transfer through the tested specimen is predicted to cause the tested specimen to break open

NOTE The breakopen threshold energy is expressed in kJ/m² or kW·s/m² (cal/cm²).

3.1.10**burning time**

time for which a flame is visible after exposure to arc

NOTE Burning time is expressed in s.

3.1.11**calorimeter**

device for measuring the heat flux and incident energy

3.1.12**charring**

formation of carbonaceous residue as the result of pyrolysis or incomplete combustion

3.1.13**closure**

point on supply current waveform where the arc is initiated

3.1.14**clothing**

assembly of garments worn by workers

3.1.15**delta peak temperature** **ΔT_p**

difference between the maximum temperature and the initial temperature of the sensor during the test exposure time

NOTE Delta peak temperature is expressed in °C.

3.1.16**dripping**

material response evidenced by flowing of the fibre polymer

3.1.17**electric arc**

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

[IEV 121-13-12]

NOTE During live working, the electric arc is generated by gas ionisation 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.

3.1.18**embrittlement**

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

3.1.19**exposure time**

shortly before, during and for 30 s after an arc thermal exposure has been initiated

3.1.20**garment**

single item of clothing which may consists of single or multiple layers

3.1.21**heat attenuation factor (HAF)**

per cent of the incident energy which is blocked by a material at an incident energy level equal to ATPV

3.1.22**heat flux**

q

thermal intensity of an electric arc indicated by the amount of energy transmitted per unit surface area and time

NOTE Heat flux is expressed in kW/m².

3.1.23**ignition**

initiation of combustion

3.1.24**incident energy**

E_i

heat energy (total heat) received at a unit surface area as a result of an electric arc

NOTE 1 The heat energy is measured as a proportional peak temperature rise ΔT_p of a calorimeter sensor.

NOTE 2 Incident energy is expressed in kJ/m² or kW·s/m² (cal/cm²).

NOTE 3 In an arc test, incident energy for a specimen is determined from the average temperature-rise response of the two monitoring sensors adjacent to the test specimen.

3.1.25**material**

fabric or other substances of which the garment is made, this may consist of single or multiple layers

3.1.26

material response

subjective observation of the reaction of the material to an electric arc indicated by the following characteristics: burning time (after flame, ignition), breakopen, melting, dripping, charring, embrittlement, shrinkage

3.1.27

melting

material response evidenced by softening and deformation of the fibre polymer

3.1.28

mix zone

range of incident energies, which can result in either a positive or negative outcome for predicted second-degree burn injury, breakopen or underlayer ignition

NOTE 1 The low value of the range begins with the lowest incident energy indicating a positive result, and the high value of the range is the highest incident energy indicating a negative result.

NOTE 2 A mix zone is established when the highest incident energy with a negative result is greater than the lowest incident energy with a positive result.

3.1.29

monitoring sensor

monitor sensor

sensor mounted on each side of the panel or mannequin, using the calorimeters not covered by test specimen and used to measure incident energy

3.1.30

peak arc current

maximum value of the a.c. arc current

NOTE Peak arc current is expressed in A.

3.1.31

protective clothing

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

[Definition 3.4 of ISO 13688 [6]]

3.1.32

r.m.s. arc current

root mean square of the a.c. arc current

NOTE RMS arc current is expressed in A.

3.1.33

sensor

assembly with a calorimeter and a non-conductive heat-resistant material in which the calorimeter is mounted

3.1.34

shrinkage

material response evidenced by reduction in specimen size

3.1.35

Stoll curve

curve of thermal energy and time produced from data on human tissue tolerance to heat and used to predict the onset of second-degree burn injury

NOTE See Table 1 and Equation (5).

3.1.36 time to delta peak temperature

t_{\max}

time from beginning of the initiation of the arc to the time the delta peak temperature is reached

NOTE Time to delta peak temperature is expressed in s.

3.1.37 *X/R* ratio

ratio of system inductive reactance to resistance

NOTE 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 d.c. offset. A large *X/R* ratio corresponds to a large time constant and a slow rate of decay.

3.2 Symbols and units

ATPV	arc thermal performance value	kW·s/m ² (see incident energy)
C_p	heat capacity	J/g °C
E_{BT50}	breakopen threshold energy	kW·s/m ² (see incident energy)
E_i	incident energy	kJ/m ² or kW·s/m ²
$E_{\text{transmitted}}$	transmitted energy	kJ/m ² or kW·s/m ²
HAF	heat attenuation factor	
haf	HAF data point	
Q	Heat energy	J/cm ²
q	heat flux	kW/m ²
T	measured temperature	°C
t	time	s
W_{arc}	arc energy	kJ, kW·s

NOTE

1 J/g °K = 4,186 8 cal/g °K

1 kJ/m² = 1 kW·s/m² = 0,1 J/cm² = 0,023 885 cal/cm²

1 cal/cm² = 41,868 kJ/m² = 41,868 kW·s/m² = 4,186 8 J/cm²

4 Principle of the test methods

4.1 Test method A

The test method A specified in this standard determines the incident energy which would predict a second-degree burn injury when the material(s) is (are) exposed to heat energy from an electric arc.

During the tests, the amount of heat energy transferred by the material(s) is measured during and after exposure to an electric arc.

The heat flux of the exposure and that transferred by the test specimen(s) are both measured with copper slug 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 performance for this procedure is determined from the amount of heat transferred by the specimen(s).

Heat transfer data is used to predict the onset of a second-degree burn using the Stoll curve.

The procedures incorporate incident-energy monitoring sensors.

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 3.1.26.

4.2 Test method B

The test method B specified in this standard is used for evaluation of protective clothing design or accident replication. Garments shall be evaluated with findings, pockets and closures positioned as manufactured, but no arc rating can be reported due to the impact of garment design such as pocketing and multilayer closures on the heat transfer to the sensors.

5 Significance and use of the test methods

The test method A measures the arc thermal performance value of materials intended for use in flame-resistant clothing for workers exposed to electric arcs. The test method is intended for the determination of the thermal performance value of a material by itself or in comparison with other materials.

Because of the variability of the arc exposure, different heat transmission values may result for individual sensors. The results of each sensor shall be evaluated in accordance with Clause 12.

The test method B specified in this standard is used for evaluation of protective clothing design. Garments made of materials or material systems previously tested according to method A, shall be first tested as panels following method A. Then the garment using materials previously tested are tested following method B.

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

The test methods specify a standard set of exposure conditions. Different exposure conditions may produce different results. In addition to the standard set of exposure conditions, other conditions representative of the expected hazard may be used.

6 Test apparatus

6.1 General

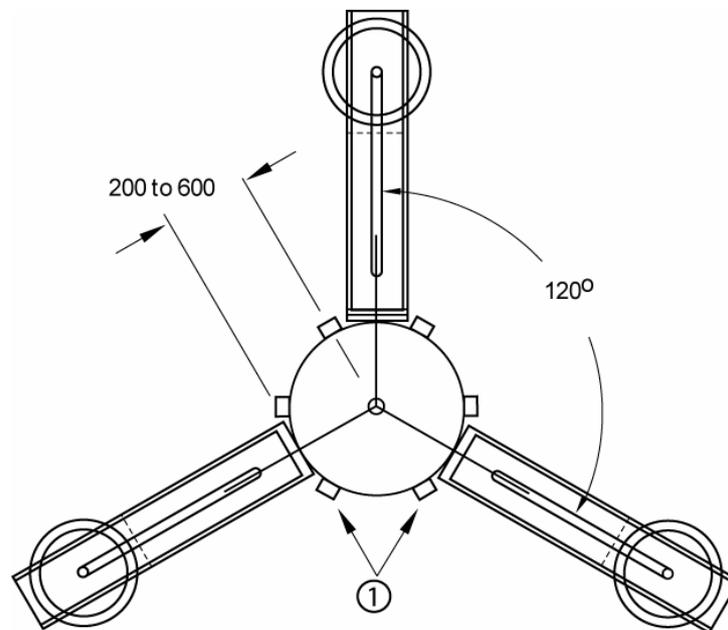
The test apparatus shall consist of the following elements:

- supply bus;
- arc controller;
- recorder or data acquisition system;
- arc electrodes;
- three two-sensor panels (method A) or one to three four-sensor mannequins (method B);
- monitoring sensors for each panel or mannequin.

6.2 Method A – Arrangement of the two-sensor panels

Three two-sensor panels shall be used for each test and spaced at 120° as shown in Figure 1. In addition, each two-sensor panel shall have two monitoring sensors. One monitoring sensor shall be positioned on each side of the two-sensor panel as shown in Figure 2.

Dimensions in millimetres

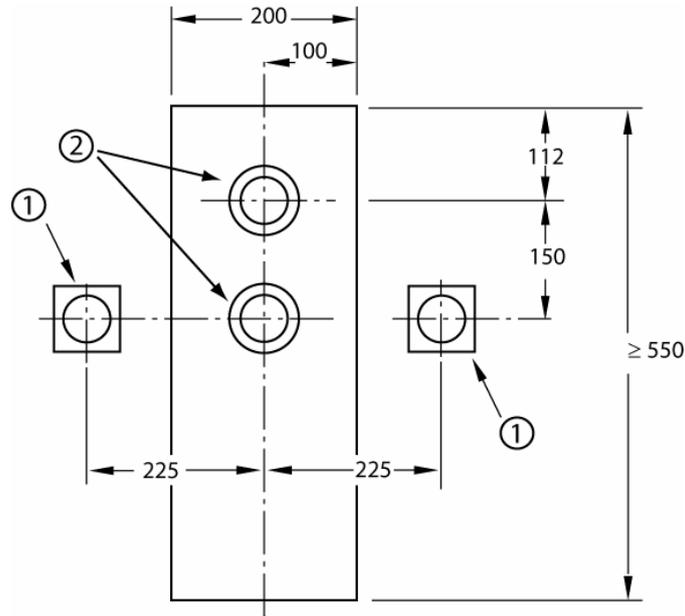


Key

1 Monitoring sensor

Figure 1 – Method A – Arrangement of three two-sensor panels with monitoring sensors (plan view)

Dimensions in millimetres



Key

- 1 Monitoring sensor
- 2 Sensor

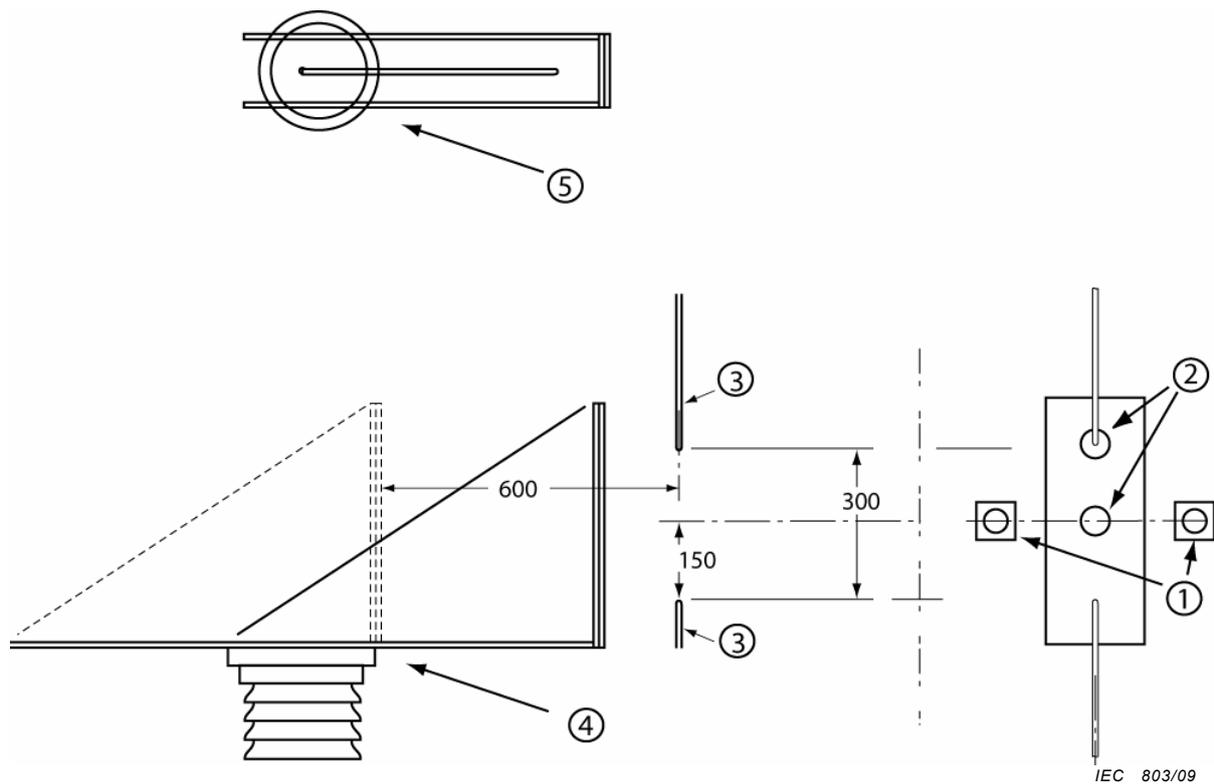
IEC 802/09

Figure 2 – Method A – Two-sensor panel (face view) with monitoring sensors

6.3 Method A – Panel construction

Each two-sensor panel and monitoring sensor holder shall be constructed from non-conductive, heat-resistant material (for example, Marinite A, asbestos-free “Transite” Board, oven insulation). Each two-sensor panel shall be 200 mm by a minimum of 550 mm as shown in Figure 2. Each two-sensor panel and the monitoring sensors shall be adjustable from 200 mm to 600 mm from the centre line of the arc electrodes as shown in Figures 1 and 3. Two sensors shall be mounted in the panel as shown in Figure 2. Each sensor shall be mounted flush with the surface of the panel.

Dimensions in millimetres

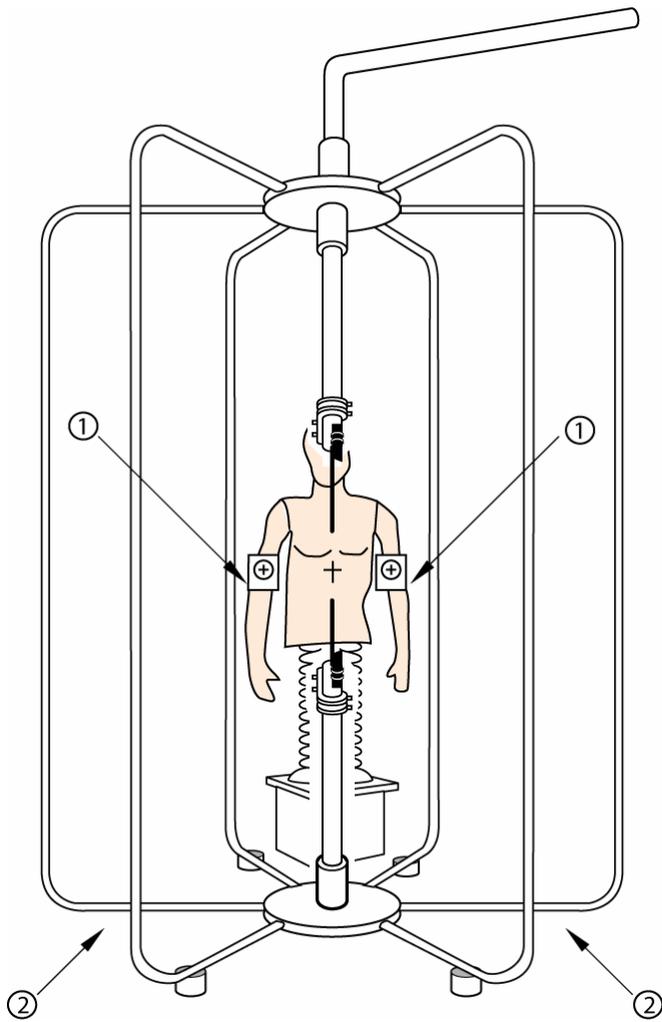
**Key**

- | | | | |
|---|---|---|--|
| 1 | Monitoring sensor | 3 | Electrode |
| 2 | Sensor | 4 | Movable two-sensor panel mounted in insulating stand |
| 5 | Slide system provided by user shall include method to maintain alignment and locking device | | |

Figure 3 – Method A – Sliding two-sensor panel**6.4 Method B – Arrangement of the mannequins**

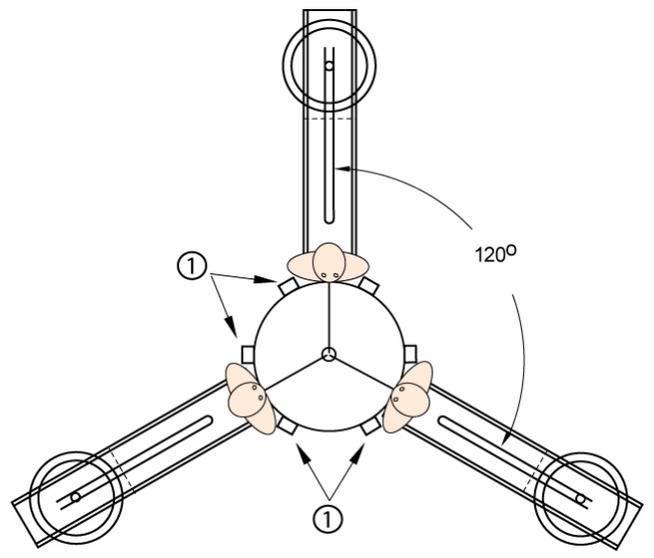
Up to three four-sensor mannequins shall be used for each test and spaced at a minimum of 120° as shown in Figure 4. Each mannequin shall have two monitoring sensors. One monitoring sensor shall be positioned on each side of the mannequin (and not fixed on the mannequin) as shown in Figures 4 and 5.

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



IEC 804/09

Front view



IEC 805/09

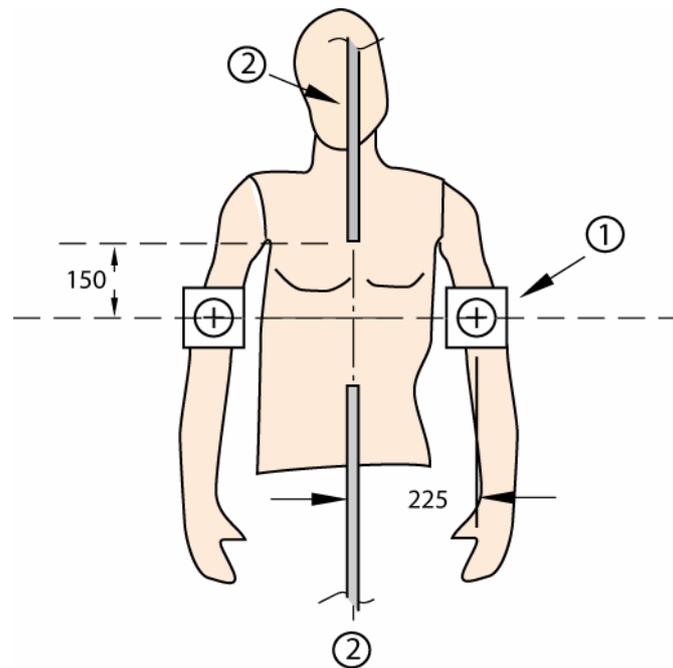
Top view

Key

- 1 Monitoring sensor
- 2 Additional mannequin position

Figure 4 – Supply bus and arc electrodes showing the position of mannequin(s) and monitoring sensors

Dimensions in millimetres

**Key**

- 1 Monitoring sensor
- 2 Electrode

IEC 806/09

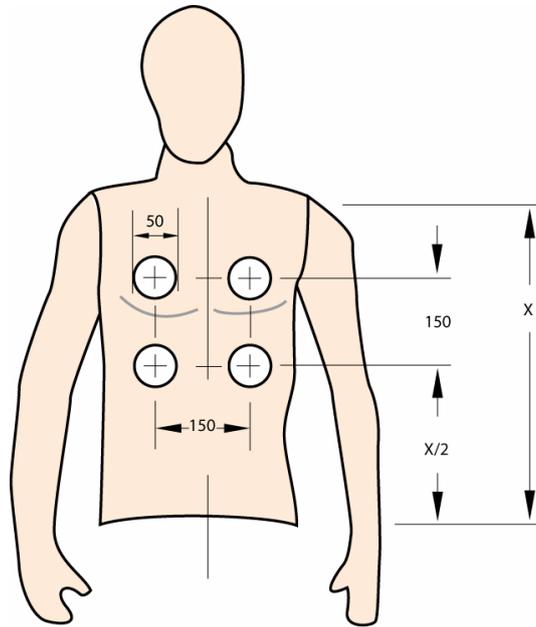
Figure 5 – Positioning of electrodes and monitoring sensors**6.5 Method B – Mannequin construction**

A male mannequin torso, size large, chest width (circumference: $1\,067\text{ mm} \pm 25\text{ mm}$), made from non-conductive fibreglass construction with a high temperature resin or other non-conductive, non-flammable high temperature materials shall be used.

NOTE For clothing size measurements see also ISO 13688 [6].

The mannequin shall be constructed in an erect posture. The head may be removable; the arms shall be detachable, straight and mounted in a vertical position to allow the test specimen at the chest to be the closest point to the centre line of the arc. The arms may be shortened to 100 mm to permit ease of specimen mounting. The mannequin shall use the sensors described in Figures 7a and 7b and mounted as shown in Figure 6.

Dimensions in millimetres



IEC 807/09

Figure 6 – Four-sensor mannequin, front view

6.6 Sensor response

Sensor response shall be compared with the Stoll curve. Monitoring sensor response is converted to incident energy in units of $\text{kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ by multiplying the temperature increase (ΔT) by a factor based on the copper sensor mass, exposed sensor surface area, and temperature corrected heat capacity of copper as described in 12.1.2.2 to 12.1.2.5.

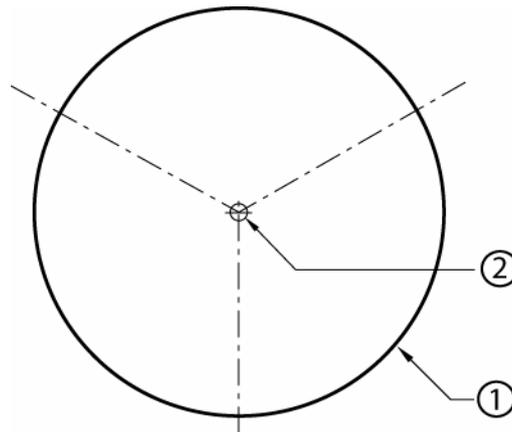
6.7 Calorimeter construction

The calorimeter shall be constructed from electrical grade copper with one thermocouple wire installed in the arrangement as shown in Figure 7a. The thermocouple wire shall be installed in the calorimeter as shown in Figure 7b. Figure 8 gives a typical installation of the copper sensor mounted in the panel and the calorimeter mounted in the monitoring sensor. For test exposures above $2\ 512\ \text{kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ only, alternate calorimeters for the monitoring sensors may be used, provided they are calibrated and have an appropriate response.

The exposed surface of the copper calorimeters shall be painted with a thin coating of a flat black high temperature spray paint with an emissivity of $>0,9$. The painted sensor shall be dried before use and present a uniformly applied coating (no visual thick spots or surface irregularities).

NOTE An external heat source, for example an external heat lamp, may be required to completely drive off any remaining organic carriers in a freshly painted surface.

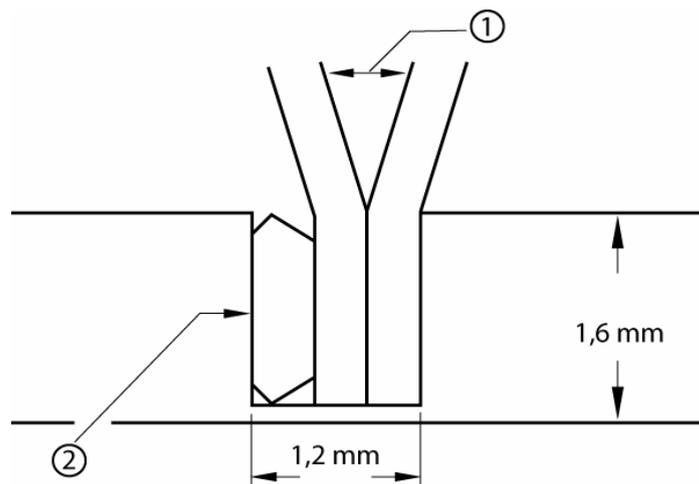
For all parameters not defined in this standard, refer to ISO 9151 for a description of calorimeter construction.



IEC 808/09

Key

- 1 Sensor of electrical grade copper, of 40 mm diameter
- 2 Thermocouple location
The central hole shall have a diameter of 1,2 mm and a depth of 1,3 mm.

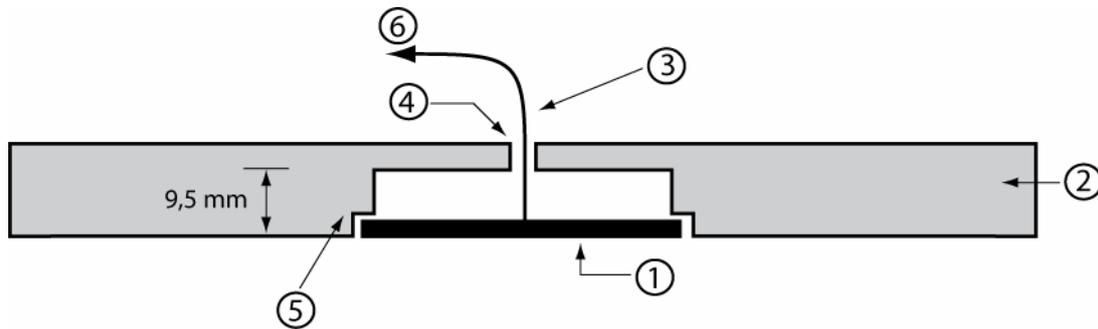
Figure 7a – Installation of the thermocouple in the calorimeter

IEC 809/09

Key

- 1 Separate thermocouple wires
- 2 Position a thermocouple with total outer diameter of 0,254 mm. The plug shall be pressed into the hole such as to fill it up completely. The separation point of the thermocouple wires shall be at the surface of the copper disk, as shown in the drawing.

Figure 7b – Thermocouple wire installation – Hole detail and method of securing thermocouple**Figure 7 – Calorimeter and thermocouple details**



IEC 810/09

Key

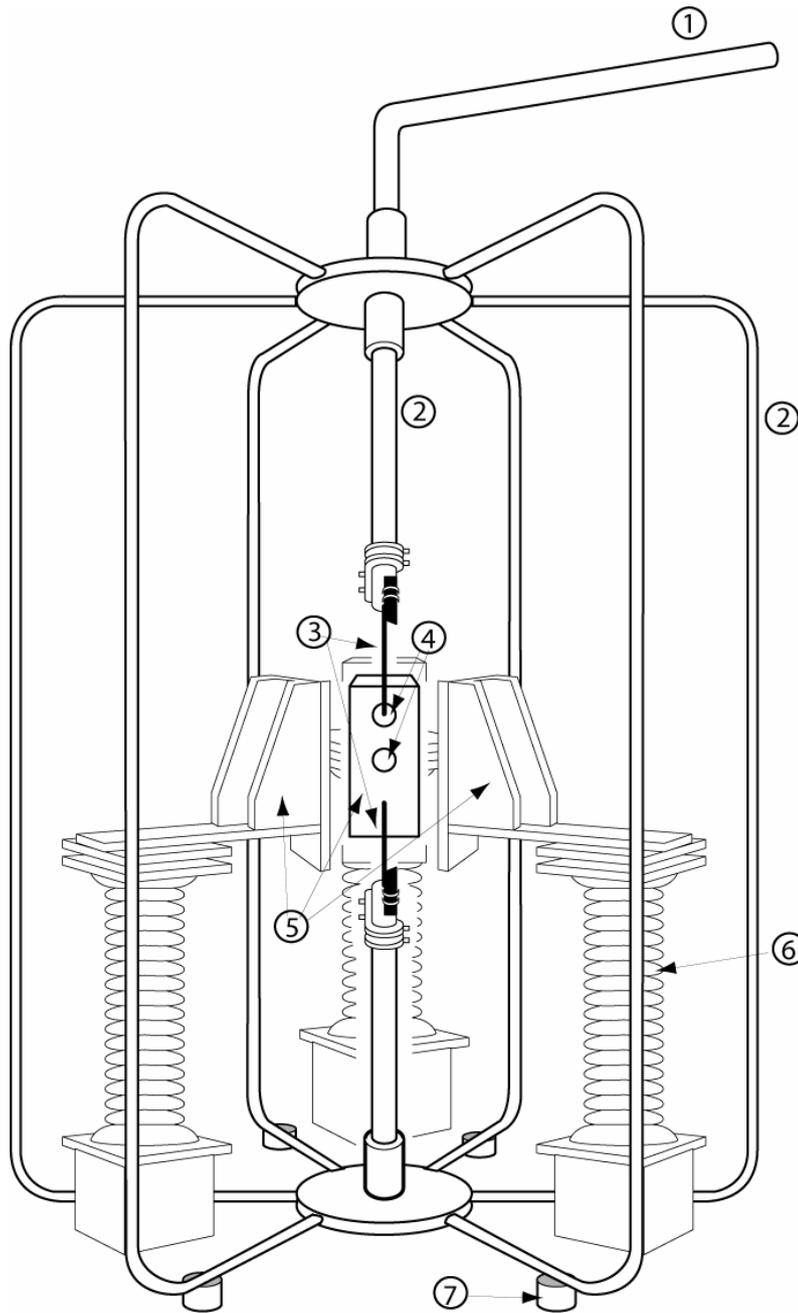
- | | | | |
|---|---|---|----------------------------|
| 1 | Electrical grade copper disk of 18 g , Ø 40 mm, 1,6 mm thick, (pinned in place) | 4 | Hole of 3,2 mm diameter |
| 2 | Insulation board, minimum thickness ~1,3 cm | 5 | Ledge, 1,6 mm × 1,6 mm |
| 3 | Type K (NiCr - NiAl) or Type J (Fe - CuNi) thermocouple | 6 | Signal to data acquisition |

Figure 8 – Typical installation of the copper sensor mounted in the panel and the calorimeter mounted in the monitoring sensor

6.8 Supply bus and electrodes

6.8.1 General

The arrangement of the supply bus and arc electrodes is shown in Figure 9. This figure gives an example of a structural arrangement of aluminium bus 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. The arc shall be in a vertical position as shown.



IEC 811/09

Key

1	Coaxial bus supply	5	Panel
2	Bus	6	Insulating stand
3	Electrode	7	Insulator
4	Sensor		

Figure 9 – Example of supply bus and arc electrodes for panels

6.8.2 Electrodes

The electrodes are made from a stainless steel rod (alloy type UNS-S30300 or type UNS-S30400) of a suitable diameter and length which are practical for the test energies being utilized.

6.8.3 Fuse wire

A fuse wire, connecting the ends of opposing electrodes tips, is 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 copper wire with a nominal diameter of 0,5 mm.

6.9 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 305 mm, with alternating arc current of 8 kA \pm 1 kA and with arc duration from 0,05 s up to 1,5 s from a power-frequency supply, and a voltage sufficient to maintain the arc for the whole duration of the test. Voltage of 2 000 V has proven to be sufficient. The source impedance shall be much higher than the arc impedance so that the r.m.s. current does not vary during the test. The X/R ratio of the test circuit shall be such that the test current contains a d.c. component resulting in the first peak of the test current having a magnitude of 2,3 times the symmetrical r.m.s. value.

6.10 Test-circuit control

Repeated exposures of the arc currents shall not deviate more than 2 % per test from the selected test level. The make switch shall be capable of point on wave closing within 0,2 cycles from test to test such that the closing angle will produce maximum asymmetrical current with an X/R ratio of the test circuit as stated in 6.9. The arc current, duration, and voltage shall be measured. The arc current, duration, voltage and energy shall be displayed in graph form and stored in digital format.

6.11 Data acquisition system

The system shall be capable of recording voltage, current and sufficient calorimeter outputs as required by the test. The temperature data (copper calorimeter outputs) shall be acquired at a minimum sampling rate of 20 samples per second per calorimeter. The acquisition system shall be able to record temperatures to 400 °C. The temperature acquisition system shall have at least a resolution of 0,1 °C and an accuracy of $\pm 0,75$ °C. It shall be capable of making cold junction corrections and converting the millivolt signals from either the type J or K thermocouple to temperature (complies with IEC 60584). The system current and voltage data shall be acquired at a minimum rate of 2 000 samples per second. The current and voltage acquisition system shall have at least a resolution of 1 % of the applied voltage and current. Use isolating devices on the calorimeter outputs to protect the acquisition system.

7 Precautions

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.

Workers shall be behind protective barriers or at a safe distance to prevent electrocution and contact with molten metal. Workers wishing to view the test shall use very heavy tinted glasses.

If the test is conducted indoors, there shall be a method to ventilate the area in order to carry away combustion products, smoke and fumes. This ventilation shall not be turned on before the test is completed. Air currents can disturb the arc, reducing the heat flux at the surface of the sensor boards.

The test apparatus shall be shielded by non-combustible materials suitable for the test area. The test apparatus shall be insulated from ground for the appropriate test voltage.

If outdoor tests are conducted, appropriate means shall be used to prevent the effect of weather conditions (for example, wind, rain, etc.).

The electrodes and calorimeter assembly become hot during testing. Use protective gloves when handling these hot objects.

Use care when the specimen ignites or releases combustible gases. A fire extinguisher shall be readily available. Ensure that the materials are fully extinguished.

Immediately after each test, the electric supply shall be shut off from the test apparatus and all other laboratory equipment used to generate the arc, and the apparatus and other laboratory equipment shall be isolated and grounded. After data acquisition has been completed, appropriate methods shall be used to ventilate the test area before it is entered by personnel. No one should enter the test area prior to exhausting all smoke and fumes.

8 Specimen preparation

8.1 Test specimens

8.1.1 Test specimens for method A: two-sensor panel test

From the material to be tested, the size of the post-laundered specimen shall be at least 600 mm ± 10 mm long and at least 300 mm ± 5 mm wide. Refer to 11.2 to determine the number of specimens.

The specimen shall be cut in the warp or weft direction of the material.

8.1.2 Test specimens for method B: four-sensor mannequin

Garments may be evaluated with findings, pockets and closures positioned as manufactured but no arc rating can be reported due to the impact of garment design such as pocketing and multilayer closures on the heat transfer to the sensors.

8.2 Laundry conditioning of test specimens

The required amount of material for the test specimens shall be laundered. Before testing, the test materials or clothing shall be washed five times in accordance with ISO 6330, method 2A, and drying by procedure E (tumble drying) unless otherwise specified in the care labelling. Materials or clothing which are labelled as dry cleanable only shall be dry cleaned five times in accordance with ISO 3175-2. Specimens may be restored to a flat condition by pressing.

If washing is permitted as well as dry cleaning, then the test material or clothing shall only be washed.

For those materials that require special cleaning other than the above, the manufacturer's recommended practice shall be followed and the procedure used shall be noted in the test reports.

9 Calibration

9.1 Data acquisition system precalibration

The complete data acquisition system shall be calibrated. Its temperature 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 Calorimeter calibration check

Calorimeters shall be checked to verify their operation.

After final placing within the test cell of all test panels/mannequins and monitoring sensors, expose each calorimeter to a fixed radiant energy source for 30 s. Place a calibrated 500 W spotlight 267 mm ± 5 mm from the calorimeter. The spot shall be centred on, and perpendicular to, the calorimeter. Measure and graph the temperature rise of each calorimeter and system response. At 30 s, no one calorimeter response shall vary by more than 4 °C from the average of all 12 calorimeters. Any calorimeter not meeting this requirement shall be replaced or repaired.

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

9.3.1 Test apparatus

Prior to each calibration, position the electrodes of the test apparatus to produce a 300 mm ± 5 mm gap. The face of the monitoring sensors shall be parallel and normal to the centre line of the electrodes. The mid-point of the electrode gap shall be at the same elevation as the centre point of the monitoring sensors (see Figure 3). 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. The test apparatus shall be adjusted to produce the desired arc current and duration.

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

Each two-sensor panel or mannequin shall be positioned so that the surface of each is 300 mm ± 5 mm from parallel and normal to the centre line of the electrodes.

9.3.3 Apparatus calibration for the two-sensor panels and monitoring sensors

Calibration parameters shall consist of an arc current of 8 kA ± 1 kA, a 300 mm ± 5 mm electrode gap, stainless steel electrodes, a 300 mm ± 5 mm distance between the arc centre line and the test specimen surface and an arc duration of 167 ms ± 2 ms.

Discharge the arc, determine the maximum temperature rise for each of the sensors, and multiply by the sensor factor (see 12.1.2.4 to obtain the incident energy (total heat) in kW·s/m² measured by each sensor).

Compare the highest sensor reading and the average value obtained for all sensors; for example, with the measured result of 423 kW·s/m² for the calibration exposure given above. Compare the total heat value determined by the sensors to the value shown. The average total heat calculated for the sensors shall be at least 60 % of the value determined by calculation or that shown. The highest measured total heat of any one sensor shall be within 10 % of the calculated value. If these values are not obtained, inspect the test set-up and correct the problems. An arc exposure calibration test should be conducted at the desired test level after each adjustment, and prior to the start and end of each day's testing and after any equipment adjustment or failure.

Because the arc does not follow a path that is equidistant from each sensor, the results vary. At 8 kA, the highest total heat measured with any sensor shall be between 377 kW·s/m² and 461 kW·s/m² and the average total heat for all sensors shall be at least 251 kW·s/m². If these values are not achieved, check the calibration of the sensor system, electrical conditions, and the physical set-up of the apparatus and repeat the calibration exposure until the required results are obtained.

9.4 Confirmation of test apparatus setting

Confirm the test apparatus setting for each test. Values reported shall be peak arc current, r.m.s. arc current, arc duration, arc energy, and arc voltage. A graph of the arc current shall be plotted to ensure proper waveform. In addition, the ambient temperature and relative humidity shall be recorded.

10 Test apparatus care and maintenance

10.1 Surface reconditioning

Wipe each sensor face immediately after each test, while hot, to remove any decomposition products which condense and could 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 sensor surface requires reconditioning. Carefully clean the cooled sensor with acetone or petroleum solvent, making certain to follow safe handling practices. Repaint the surface with a thin layer of the same paint as in 6.7. Use the same paint on all sensors and ensure that the paint is dry before running the next test. After each reconditioning of the sensors, calibration shall be done.

10.2 Care of sensor panels and mannequins

Sensor panels and mannequins shall be kept dry. For outdoor tests, sensor boards, mannequins and monitoring sensors shall be covered during long periods between tests to prevent excess temperature rise resulting from exposure to the sun. Due to the destructive nature of the electric arc, they shall be covered with the same paint as the sensors. They shall be re-coated periodically to reduce deterioration.

10.3 Care of electrodes

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

11 Test procedures

11.1 Test parameters

For the determination of the arc rating of a material or material system, be it its ATPV or E_{BT} , the test parameters shall be an arc current of $8 \text{ kA} \pm 1 \text{ kA}$, a $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ electrode gap, stainless steel electrodes and a $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ distance between the arc centre line and the test specimen surface. The duration of the arc shall be varied to produce a range of incident energies, which shall meet the criteria of 11.2.3.

11.2 Sequence of tests

11.2.1 Panels

Each test shall consist of a minimum of three specimens of the same material, one for each of the three two-sensor panels. To evaluate a single specimen of material, a series of the minimum number of tests necessary to produce 20 specimen exposures shall be run over a range of incident energies.

11.2.2 Mannequins

Each test shall consist of a minimum of one to three specimens of the same garment or clothing for each of the three mannequins. To evaluate a single specimen of garment or clothing, tests shall be run at the arc rating of the material or material system used in the garment or clothing.

11.2.3 Test criteria

The measured incident energy (average value of the two respective monitoring sensors) on at least 15 % of the two-sensor panels exposed shall result in values that always exceed the Stoll curve predicted second-degree burn injury criteria (as determined by 12.1.3). In other words, values in this energy range always exceed the Stoll criteria.

The measured incident energy (average value of the two respective monitoring sensors) on at least 15 % of the two-sensor panels exposed shall result in values that never exceed the Stoll curve predicted second-degree burn injury criteria (as determined by 12.1.3). In other words, values in this energy range never exceed the Stoll criteria.

The measured incident energy (average value of the two respective monitoring sensors) on at least 50 % of the two-sensor panels exposed shall result in values that are approximately equally populated within ± 20 % of the final ATPV (as determined by 12.1.3.4 - see note below). Values in this energy range typically are in the mix zone – some values exceed and some values do not exceed the Stoll criteria.

All data points are valid unless a copper calorimeter temperature exceeds 400 °C for the monitoring sensor described in 6.3, there is a malfunction of the test or data acquisition equipment, or the specimen mounting fails.

If more than the minimum number of tests are performed, for whatever reason, all valid data points shall be used (see note below).

Specimens that exhibit breakopen or underlayer ignition (multilayer systems) are valid data points for ATPV determination.

If two or more occurrences of material breakopen are noted at incident energies below a value of 20 % above the ATPV determination, a breakopen response shall be determined. In this case, more than seven tests may be required so that the breakopen response can be evaluated (above or below the Stoll curve criteria, see 12.2 for treatment of breakopen).

NOTE An iterative process will be needed to achieve the requirement that 50 % of the data points are within 20 % of the material systems ATPV. After the first two arc exposures (six panels) are completed, assuming response above and below the Stoll curve criteria, an estimated ATPV can be determined. Using this estimation, the remaining tests can be selected so that 50% of the sensor panel data fall within 20 % of the ATPV, e.g. if the approximated ATPV is 27,2 J/cm² (6,5 cal/cm²) then test parameters are selected so that the incident energies on the three panels will fall with the range of 21,8 J/cm² to 32,7 J/cm² (5,2 cal/cm² to 7,8 cal/cm²). As each successive test is performed, the accuracy of the ATPV estimation will improve so that the incident energy target range of ATPV ± 20 % can also be more accurately established. The goal is to achieve the required 50 % of the data within 20 % of ATPV by the time the required 20 data points are complete. Generally, assuming all data points are valid, this would mean that 11 of the 21 data points would need to have incident energy values within 20 % of the ATPV. In the example above, 11 of the data points would need to have incident energy values within the range of 21,8 J/cm² to 32,7 J/cm² (5,2 cal/cm² to 7,8 cal/cm²) for a material with an ATPV of 27,2 J/cm² (6,5 cal/cm²). If less than 11 data points fall in this range, additional tests will be needed until 50 % of the total data points have incident energy values within 20 % of the ATPV. 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. The y-intercept value is the approximate ATPV result.

11.3 Initial temperature

Adjust the temperature of the sensors to between 25 °C and 35 °C.

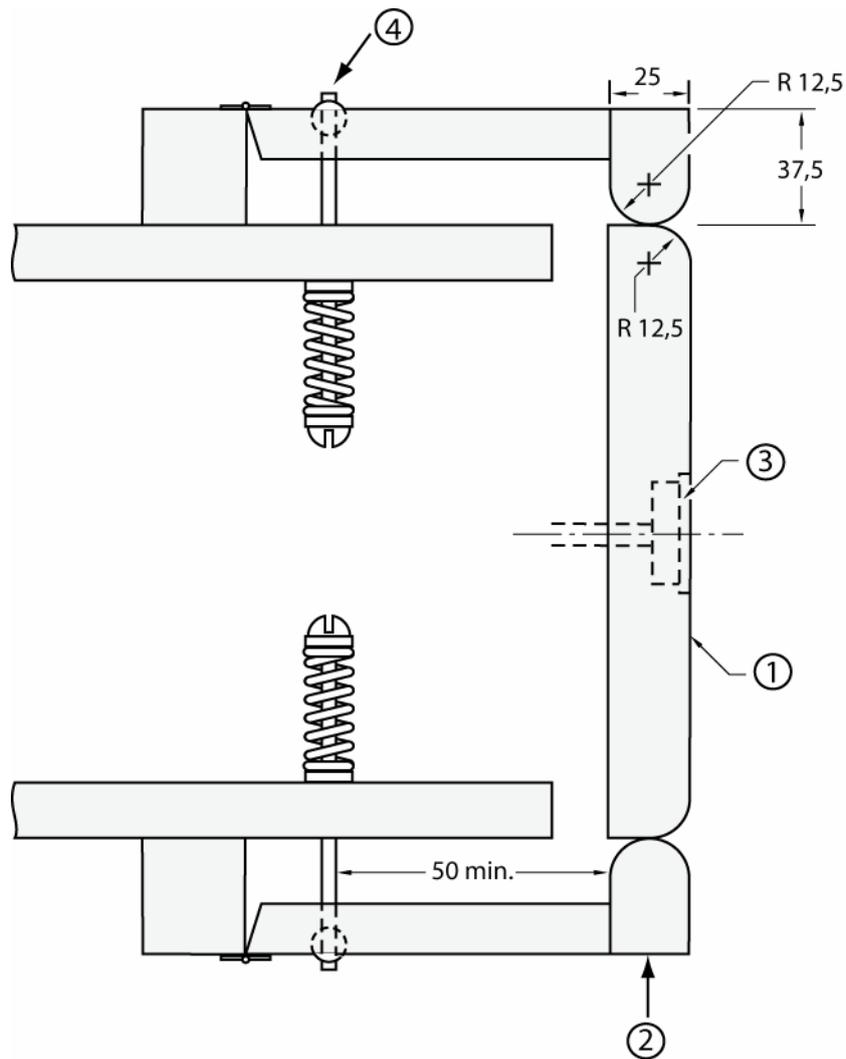
Cool the sensors after exposure with a jet of air or by contact with a cold surface. Confirm that the sensors are at a temperature between 25 °C and 35 °C.

11.4 Specimen mounting

11.4.1 Method A panels

The specimen shall be fixed to the sensor panel without stretching the material and in a manner that permits the specimen to shrink during arc exposure. This has been achieved with a material clamping system (see Figure 10). The clamping system, consisting of four clamps, holds the specimen to the sensor board 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 panel. Other means of mounting, which meet the above objectives, may also be employed. If multiple-layer specimens are used, they shall be mounted in a manner that represents normal layering of clothing.

Dimensions in millimetres



IEC 812/09

Key

- | | | | |
|---|--|---|-------------------------------|
| 1 | Panel | 3 | Calorimeter |
| 2 | Clamping force of 4,4 N to 6,7 N per clamp | 4 | Typical spring clamp assembly |

NOTE Place one clamp on each panel edge. Four clamps are required per panel.

Figure 10 – Typical material clamping assembly

11.4.2 Method B mannequins

The specimens shall be mounted in a manner that represents normal layering of clothing. The mannequin shall be dressed in a test specimen with all the closures fastened. A 1 500 g mass in the shape of a semicircle shall be attached to the folded bottom edge of the specimen with five clips on the semicircle mass. The test specimen shall be smoothed over the front of the mannequin and excess material gathered behind the mannequin. The arms shall hang at the side of the mannequin and shall not protrude closer to the arc than the chest area.

11.5 Specimen characteristics

Record specimen data including

- identification number;
- order of layering with outer layer listed first;
- weight at the time of testing;

- manufacturer's specified weight;
- material type (manufacturer information);
- weave/knit type;
- colour;
- number of specimens tested.

11.6 Test protocol

Mount the fuse wire on electrodes.

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

Expose test specimens to the electric arc.

Shut off the electric supply, ventilate the test area at the completion of the data acquisition period and apply the protective grounds (see Clause 7).

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

Record the thermal and electrical data and material response as required in Clause 13.

Inspect and recondition the sensors, if required, and adjust the electrodes to their correct position and gap.

12 Interpretation of results

12.1 Heat transfer

12.1.1 Determining time zero

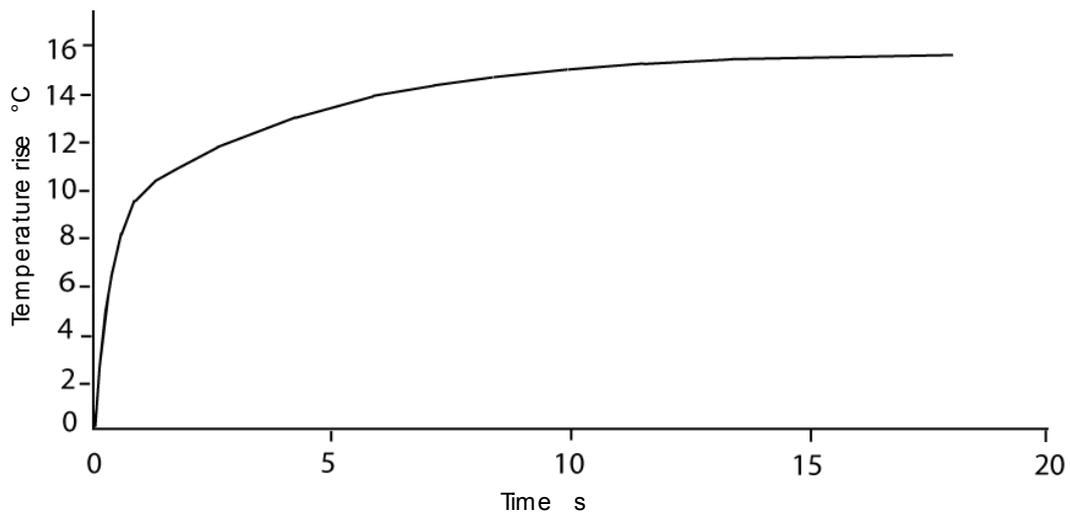
Due to the electrical noise typically associated with conducting tests of this type, it is difficult to get a reliable trigger signal at the initiation of the arc. The starting time of the arc can be reliably determined from plotting the signal response from the monitor sensors.

NOTE Other satisfactory methods are available to determine time zero and may be utilized if first validated by the user as fully equivalent.

12.1.2 Plotting sensor response

12.1.2.1 General

Once the initiation point is determined, the data collected up to the initiation point can be averaged to obtain a baseline for each sensor curve. The baseline of each individual curve is then subtracted from each of the data points to yield a zero-based temperature-rise curve. With the initiation point determined, and the sampling time known, the temperature-rise curve can be plotted with the correct time scale (see Equations (1) through (4) and Figure 11). These procedures can easily be automated in a spreadsheet.



IEC 813/09

Figure 11 – Typical sensor temperature-rise curve with time scale and baseline correction

12.1.2.2 Temperature correction for heat capacity of copper

The heat capacity in J/g °C (or cal/g K) of each copper calorimeter at the initial temperature is calculated using

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

where

T is (measured temperature °C + 273,15) / 1 000;

$A = 17,728\ 91$;

$B = 28,098\ 70$;

$C = -31,252\ 89$;

$D = 13,972\ 43$;

$E = 0,068\ 611$.

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

NOTE The heat capacity of copper in J/g °C at any temperature between 289 K and 1 358 K is determined via Equation (1) (Shomate equation with coefficients from NIST). The value in cal/g °C can be obtained by dividing the result in Equation (1) by 4,186 8 J/cal.

12.1.2.3 Copper heat capacity

The copper heat capacity is determined at each time step for all the copper calorimeters (monitoring and panel or mannequin sensors). This is done by calculating an average heat capacity for each sensor from the initial heat capacity, determined in 12.1.2.2, and the time step measured temperature.

$$\bar{C}_p = \frac{C_p(T_{\text{initial}}) + C_p(T_{\text{final}})}{2} \quad (2)$$

12.1.2.4 Total incident energy

The total incident energy at each time step is determined in J/cm² (cal/cm²) by using the relationship

$$Q = \frac{mass \times \bar{C}_p \times (T_{final} - T_{initial})}{area} \tag{3}$$

where

- Q is heat energy in J/cm² (cal/cm²);
- $mass$ is mass of the copper disk in g;
- \bar{C}_p is average heat capacity of copper during the temperature rise in J/g °C (cal/g °C);
- T_{final} is final temperature of copper disk at time_{final} in °C;
- $T_{initial}$ is initial temperature of copper disk at time_{initial} in °C;
- $area$ is area of the exposed copper disk in cm².

12.1.2.5 Example calculation total heat energy

For a copper disk that has a mass of 18,0 g and exposed area of 12,57 cm², the determination of heat energy reduces to:

$$Q = 1,432 \times \bar{C}_p \times (T_{final} - T_{initial}) \tag{4}$$

If a copper disk with a different mass and/or exposed area is used for the calorimeter, the constant factor in Equation (4) above shall be adjusted correspondingly.

12.1.3 Sensor response versus Stoll curve

12.1.3.1 General

The Stoll curve is defined by the values in Table 1. Overlay the Stoll curve on the plot of the sensor responses, taking care to use the same scale units. Create a data file which interpolates between the Stoll curve data points in Table 1 so that Stoll curve data is available at each time interval at which temperature rise data is recorded.

Table 1 – Human tissue tolerance to heat, second-degree burn [1]

Time to delta peak temperature s	Heat flux kW/m ²	Incident energy kJ/m ²	Calorimeter equivalent iron/constantan thermocouple	
			ΔT °C	ΔmV
1	50	50	8,9	0,46
2	31	61	10,8	0,57
3	23	69	12,2	0,63
4	19	75	13,3	0,69
5	16	80	14,1	0,72
6	14	85	15,1	0,78
7	13	88	15,5	0,80
8	11,5	92	16,2	0,83
9	10,6	95	16,8	0,86
10	9,8	98	17,3	0,89
11	9,2	101	17,8	0,92
12	8,6	103	18,2	0,94
13	8,1	106	18,7	0,97
14	7,7	108	19,1	0,99
15	7,4	111	19,7	1,02
16	7,0	113	19,8	1,03
17	6,7	114	20,2	1,04
18	6,4	116	20,6	1,06
19	6,2	118	20,8	1,08
20	6,0	120	21,2	1,10
25	5,1	128	22,6	1,17
30	4,5	134	23,8	1,23

12.1.3.2 Stoll curve equations

The Stoll curve can also be generated by Equation (5) which is based on the data in Table 1, where t_i is the time value in seconds of the heat energy determination and elapsed time since the initiation of the arc exposure. A second-degree skin burn injury is predicted if a sensor heat energy response exceeds the Stoll Response value (at time t_i).

The Stoll response can be expressed in J/cm² via:

$$\text{Stoll response, J/cm}^2 = 5,020\ 4 \times t_i^{0,290\ 1} \quad (5)$$

NOTE $\text{Stoll response, cal/cm}^2 = 1,199\ 1 \times t_i^{0,290\ 1}$

From the temperature rise data for the two sensors on each panel or the four sensors on each mannequin, create an average temperature-rise curve (rT_{avg}). Compare this curve, rT_{avg} for each panel or mannequin with the Stoll curve.

For the rT_{avg} curves which are above the Stoll curve, record a value of 1. For the rT_{avg} curves which are below the Stoll curve, record a value of 0.

12.1.3.3 Incident energy (E_i) monitoring sensor responses

Calculate the average value of the monitor sensors for each panel or each mannequin to determine the average incident energy for each respective panel or mannequin. Record the maximum heat energy value from the averaged monitoring sensor pair for each panel or mannequin during the data collection period. The resulting maximum values are the incident heat energies, E_i , delivered to each respective panel or mannequin.

12.1.3.4 Arc thermal performance values (ATPV)

Determining arc thermal performance values (ATPV) — Utilize a minimum of 20 measured panel responses (see 11.2) to calculate an ATPV value. If more than 20 points are collected during a specific test exposure sequence, all valid results shall be used in determining ATPV.

Perform a nominal logistic regression on the resulting test data. The maximum average incident energy monitoring sensor response is used as the continuous variable, X for each panel. The corresponding nominal binary Y value response is the averaged panel sensor response, exceeding = 1/not exceeding = 0, the Stoll criteria (from 12.1.3.2). See Annex B for discussion of the logistic regression technique.

Use the logistic regression determined 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 value is determined as:

$$ATPV = \left| \frac{\text{intercept}}{\text{slope}} \right| \tag{6}$$

12.1.4 Determination of heat attenuation factor (HAF)

12.1.4.1 General

Determine the maximum average heat energy response for each of the panels from the plots generated in 12.1.2, and divide these responses by their respective maximum average incident energy monitoring sensor responses, from 12.1.3.3. Identify each of these values as $E_{\text{transmitted}}$ (fraction of the incident energy which is transmitted through the specimen) for each panel.

12.1.4.2 HAF data point (haf) calculation

A HAF data point (haf) for each panel is calculated according to the formula:

$$haf = 100 \times (1 - E_{\text{transmitted}}) \tag{7}$$

12.1.4.3 HAF factor calculation

The HAF factor is then determined by calculating the average of all the haf values. At least 20 data points representing 20 panels shall be used.

Calculate the standard deviation of the points (Std), the standard error of the average (given by the ratio of the standard deviation to the square root of the number of panels used), and the 95 % confidence interval using:

$$\text{Upper confidence limit} = \text{HAF value} + \frac{t_{95 \%} \times Std}{\sqrt{N}} \tag{8}$$

$$\text{Lower confidence limit} = \text{HAF value} - \frac{t_{95 \%} \times Std}{\sqrt{N}} \tag{9}$$

where $t_{95\%}$ is the Student's t 95 % confidence interval value for $N-1$ degrees of freedom and N is the number of panel values used (for $N = 20$, $t_{95\%} = 2,093$).

Refer to Annex C for a review and explanation of the methods and formulas for determining HAF.

12.2 Determination of breakopen threshold energy, E_{BT50}

Breakopen energy response is evaluated in a similar manner to an ATPV determination. This is done using the material breakopen information (see 3.1.8) coupled with the incident energy, E_i , determined in 12.1.3.3. The material breakopen responses shall be distributed such that about 15 % of the panels seeing lower incident energy values show no breakopen, about 15 % of the panels seeing higher incident energy values always show breakopen, and about 50 % - 70 % of the panels have incident energy values that result in mixed performance (sometimes breakopen occurs, sometimes it does not). If there is not enough data in these ranges, perform additional tests at the respective incident energy range and record the material response.

The following technique can be used to determine a material systems breakopen response irrespective of the resulting incident energy and its relationship to the Stoll curve or ATPV determination. This can be useful in determining a material breakopen response in multilayer systems.

Record a value of 1 for each panel that exhibits breakopen, and a value of 0 for those that do not.

Perform a nominal logistic regression on the resulting test data. The maximum average incident energy monitoring sensor response is used as the continuous variable, X . The corresponding nominal binary Y value response is the material breakopen response, breakopen = 1/no breakopen = 0.

Use the logistic regression determined values of slope and intercept to calculate (inverse prediction) the 50 % probability value of material breakopen. This is the E_{BT50} value, or the incident energy value that would just predict breakopen. The value is determined as

$$E_{BT50} = \left| \frac{\text{intercept}}{\text{slope}} \right| \quad (10)$$

12.3 Arc rating

If an E_{BT50} value is determined and it is found to be above a determined ATPV (assuming ATPV can be determined), then the ATPV result shall be reported as the arc rating of the tested system.

If an E_{BT50} value is determined and it is found to be equal to or below a determined ATPV (assuming ATPV can be determined), then the E_{BT50} value shall be reported as the arc rating value of the tested system and noted in the test report.

If the ATPV value cannot be determined due to breakopen, perform sufficient additional tests, as identified in 12.2 to allow determination of the E_{BT50} value. Report the resultant E_{BT50} value as the arc rating and note this in the test report.

12.4 Visual inspection

Observe the effect of the exposure on the fabric or clothing specimens and, after the exposed specimens have cooled, carefully remove the fabric and other layers from the panel or clothing from the mannequins, noting any additional effects from the exposure. This may be described by one or more of the following terms which are defined in Clause 3:

- breakopen;
- melting;
- dripping;
- charring;
- embrittlement;
- shrinkage;
- burning time;
- ignition;
- functioning of closures and other accessories of the garment.

13 Test report

State that the test has been performed in accordance with this test method, and report the method used (method A for material or material system and/or method B for garment or clothing) in addition to the following information:

- a) name of the test institute;
- b) date of test;
- c) name of the manufacturer;
- d) material and/or garment code;
- e) number of the test standard used;
- f) method used (method A or method B);
- g) specimen mounting as indicated in 11.4;
- h) specimen data as indicated in 11.5;
- i) conditions of each test, including
 - 1) test number,
 - 2) r.m.s. arc current,
 - 3) peak arc current,
 - 4) arc gap,
 - 5) arc duration,
 - 6) arc energy,
 - 7) plot of arc current;
- j) test data including
 - 1) test number,
 - 2) specimen(s),
 - 3) order of layers,
 - 4) distance from the arc centre line to the panel surface or mannequin surface,
 - 5) visual inspection as outlined in 12.4,
 - 6) plot of the response of the two monitoring sensors and the two panel sensors for each panel test, or the four mannequin sensors for each mannequin test,
 - 7) plot of the average response from the two panel sensors and from the two monitoring sensors for each panel test (method A), or the average response of the four mannequin sensors and the two monitoring sensors for each mannequin test (method B),
 - 8) plot of the incident energy distribution E_i (bare) from the bare shot analysis (without test specimen),
 - 9) photograph of test specimen before and after testing,

and in case of panel test (method A),

- 10) ATPV and ATPV 95 % confidence intervals, and, if determined, E_{BT50} and E_{BT50} confidence intervals,
- 11) plot of $r_{Stoll,avg}$ on E_i ,
- 12) HAF and HAF 95 % confidence intervals,
- 13) plot of HAF on E_i .

Report any abnormalities relating to the test apparatus.

If alternate electrodes are used, report size and type.

Return the exposed specimens, plots, test data, and unused specimens to the person requesting the test, in accordance with any prior arrangement. All test specimens shall be marked with a reference to the test number, date, etc.

Annex A
(normative)

Measurement of char length

This test is based on Annex C of ISO 15025.

Hemmed specimen of the material or material system to be tested according to procedure B of ISO 15025 shall be prepared in the same manner as used in the construction of the clothing.

The char length shall be measured as follows.

The char length shall be determined by measuring the length of the tear through the centre of the charred area.

- The specimen shall be folded lengthwise and creased, by hand, along a line through the highest peak of the charred area.
- A hook, made of steel wire, using a 76 mm length of wire and bent 13 mm from one end to form a 45° hook, shall be inserted into the specimen (or a hole of 6 mm diameter or less pinched out for the hook) at one side of the charred area, 6 mm from the adjacent outside edge and 60 mm from the lower end.
- A weight of sufficient mass is required such that the mass of the weight and hook together shall equal the total tearing load required by Table A.1. The total tearing load for determining char length shall be based on the mass of the test specimen and shall be determined from Table A.1.

Table A.1 – Total tearing load

Mass of test specimen material g/m ²	Total tearing load for determining the char length kg
50 to 200	0,1
over 200 to 500	0,2
over 500 to 800	0,3
over 800	0,45

- A tearing force shall be applied gently to the test specimen by grasping the corner of the specimen at the opposite edge of the char from the load, and raising the specimen and weight clear of the supporting surface. The end of the tear shall be marked on the edge and the char length measurement made along the undamaged edge.

Annex B (informative)

Logistic regression technique

Binomial logistic regression is a form of regression used when the dependent variable is limited to two states (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 log 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:

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

or

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

where

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

NOTE The right hand side of the equation 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 :

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

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 $(a+bx) = 0$, $p = 0,5$ (the value used for ATPV and E_{BT50} 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 homoskedastic (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 state 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 exceeded the Stoll curve,

$Y = 0$ if the heat response of the calorimeter did 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.

Annex C (informative)

Heat attenuation factor

The heat attenuation factor (HAF) is a measure of the amount of heat not transmitted through a piece of material. If the material does not change its physical state for any incident energy in the data set, then the heat attenuation factor should be a constant. If the HAF is a constant then a graph of HAF as a function of incident energy will be a straight line of zero slope. The following discussion assumes that the HAF values are a sample of a normal distribution.

The true value of HAF is unknown. The best estimate of HAF is the mean of all the values, independent of the value of ATPV. The distribution of HAF values about the mean can be characterized by calculating the standard deviation from the data set. Then the HAF 95 % confidence interval can be determined using the t -distribution. In the following equations \bar{x} is the mean of the n sample values of E_t , s is the sample standard deviation, T is the sample statistic for the true mean μ , and a is the value from the t -distribution for $n-1$ degrees of freedom.

$$s^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1} \quad (\text{C.1})$$

$$T = \sqrt{n}(\bar{x} - \mu) / s \quad (\text{C.2})$$

$$P(-a < T < a) = 0,95 \quad (\text{C.3})$$

$$\bar{x} - \frac{sa}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + \frac{sa}{\sqrt{n}} \quad (\text{C.4})$$

Equation (C.4) is a statement of the confidence limits for the true value of HAF in terms of the sample mean and sample standard deviation. For example, for 20 samples there are 19 degrees of freedom and a is 2,093. (Note that as the number of degrees of freedom increases, the limiting value of a is 1,96, the same as when the population standard deviation is known. Note also that the probability used for HAF 95 % is two-sided, whereas the probability for ATPV 95 % is really only one-sided.) [3]

Bibliography

- [1] STOLL, A.M. and CHIANTA, M.A. Method and Rating System for Evaluation of Thermal Protection. *Aerospace Medicine*, 1969, Vol. 40, pp. 1232-1238 (only available in English)
 - [2] 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 (only available in English)
 - [3] MORRISON, Hugh D., PhD, *Ontario Power Technologies*, December 3, 1999.
 - [4] IEC 60050-121:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 121: Electromagnetism*
 - [5] ISO 5077:2007, *Textiles – Determination of dimensional change in washing and drying*.
 - [6] ISO 13688:1998, *Protective clothing – General requirements*
 - [7] ASTM D-123, *Standard terminology relating to textiles* (only available in English)
 - [8] ASTM D-4391, *Standard terminology relating to the burning behavior of textiles* (only available in English)
 - [9] IEC 61482-1-2, *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)*
-

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	45
1 Domaine d'application	47
2 Références normatives.....	47
3 Termes, définitions et symboles	48
3.1 Termes et définitions.....	48
3.2 Symboles et unités.....	52
4 Principe des méthodes d'essai	53
4.1 Méthode d'essai A.....	53
4.2 Méthode d'essai B.....	53
5 Signification et utilisation des méthodes d'essai	53
6 Appareillage d'essai	54
6.1 Généralités.....	54
6.2 Méthode A – Disposition des panneaux à deux capteurs	54
6.3 Méthode A – Constitution d'un panneau	56
6.4 Méthode B – Disposition des mannequins	57
6.5 Méthode B – Constitution d'un mannequin.....	59
6.6 Réponse d'un capteur	60
6.7 Constitution d'un calorimètre	60
6.8 Barre d'alimentation et électrodes	62
6.8.1 Généralités.....	62
6.8.2 Electrodes	63
6.8.3 Fil fusible.....	64
6.9 Alimentation électrique	64
6.10 Commande du circuit d'essai.....	64
6.11 Système d'acquisition de données.....	64
7 Précautions	64
8 Préparation des éprouvettes.....	65
8.1 Eprouvettes d'essai.....	65
8.1.1 Eprouvettes d'essai pour la méthode A: essai avec panneau à deux capteurs	65
8.1.2 Eprouvettes d'essai pour la méthode B: mannequin à quatre capteurs.....	65
8.2 Conditionnement par le nettoyage des éprouvettes d'essai	65
9 Etalonnage	66
9.1 Préétalonnage du système d'acquisition de données.....	66
9.2 Vérification de l'étalonnage du calorimètre	66
9.3 Etalonnage de l'exposition à l'arc et de l'appareillage pour les panneaux à deux capteurs et les capteurs de surveillance	66
9.3.1 Appareillage d'essai	66
9.3.2 Placement des panneaux à deux capteurs, des mannequins et des capteurs de surveillance.....	66
9.3.3 Etalonnage de l'appareillage pour les panneaux à deux capteurs et les capteurs de surveillance	66
9.4 Confirmation du réglage de l'appareillage d'essai.....	67
10 Précautions et entretien de l'appareillage d'essai	67
10.1 Reconditionnement de surface	67
10.2 Entretien des panneaux de capteurs et des mannequins	67

10.3	Entretien des électrodes.....	67
11	Procédures d'essai.....	68
11.1	Paramètres d'essai.....	68
11.2	Séquence des essais.....	68
11.2.1	Panneaux.....	68
11.2.2	Mannequins.....	68
11.2.3	Critères d'essais.....	68
11.3	Température initiale.....	69
11.4	Montage de l'éprouvette.....	69
11.4.1	Panneaux de la méthode A.....	69
11.4.2	Mannequins de la méthode B.....	70
11.5	Caractéristiques des éprouvettes.....	70
11.6	Protocole d'essai.....	71
12	Interprétation des résultats.....	71
12.1	Transfert de chaleur.....	71
12.1.1	Détermination du temps zéro.....	71
12.1.2	Tracé de la réponse du capteur.....	71
12.1.3	Réponse du capteur par rapport à la courbe de Stoll.....	73
12.1.4	Détermination du facteur d'atténuation de la chaleur (HAF).....	75
12.2	Détermination du seuil d'énergie d'éventration, E_{BT50}	76
12.3	Caractéristique d'arc.....	76
12.4	Examen visuel.....	77
13	Rapport d'essai.....	77
	Annexe A (normative) Mesure de la longueur de carbonisation.....	79
	Annexe B (informative) Technique de régression logistique.....	80
	Annexe C (informative) Facteur d'atténuation de la chaleur.....	82
	Bibliographie.....	83
	Figure 1 – Méthode A – Disposition de trois panneaux à deux capteurs avec capteurs de surveillance (vue en plan).....	55
	Figure 2 – Méthode A – Panneau à deux capteurs (vue de face) avec capteurs de surveillance.....	56
	Figure 3 – Méthode A – Panneau amovible à deux capteurs.....	57
	Figure 4 – Barre d'alimentation et électrodes d'arc présentant l'emplacement des capteurs de surveillance et du ou des mannequin(s).....	58
	Figure 5 – Disposition des électrodes et des capteurs de surveillance.....	59
	Figure 6 – Mannequin avec quatre capteurs, vue de face.....	60
	Figure 7 – Détails de thermocouple et de calorimètre.....	61
	Figure 8 – Installation type d'un capteur de cuivre monté dans le panneau et d'un calorimètre monté dans un capteur de surveillance.....	62
	Figure 9 – Exemple de barre d'alimentation et d'électrodes d'arc pour panneaux.....	63
	Figure 10 – Ensemble type de fixation du matériau.....	70
	Figure 11 – Courbe type de l'augmentation de la température en fonction de l'échelle de temps et correction de la ligne de référence.....	72
	Tableau 1 – Tolérance des tissus humains à la chaleur et aux brûlures du second degré [1].....	74

Tableau A.1 – Charge totale de déchirement 79

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 caractéristique
d'arc (ATPV ou E_{BT50}) de matériaux résistant
à la flamme pour vêtements**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés «Publication(s) de la CEI»). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61482-1-1 a été établie par le comité d'études 78 de la CEI: Travaux sous tension.

La présente norme annule et remplace la CEI 61482-1:2002. Cette première édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à la CEI 61482-1:

- analyse détaillée de la réponse du capteur.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
78/793/FDIS	78/805/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61482, présentées 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 la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

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 caractéristique d'arc (ATPV ou E_{BT50}) de matériaux résistant à la flamme pour vêtements

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61482 spécifie les méthodes d'essai pour mesurer la valeur de performance thermique d'arc des matériaux destinés à être utilisés pour les vêtements résistant à la chaleur et à la flamme, pour les travailleurs exposés aux arcs électriques, ainsi que le rôle des vêtements utilisant ces matériaux. Ces méthodes d'essai mesurent la valeur de performance thermique d'arc des matériaux qui répondent aux exigences suivantes: longueur de carbonisation inférieure à 100 mm et durée de combustion inférieure à 2 s après le retrait de la flamme lors de l'essai du matériel de dessus, selon la méthode B (allumage par le bord inférieur) de l'ISO 15025, et la longueur de carbonisation mesurée selon une méthode ISO modifiée décrite à l'Annexe A.

Ces méthodes sont utilisées pour mesurer et décrire les propriétés des matériaux, des produits et des assemblages ou des articles d'habillement, en réponse à l'énergie de convection et à l'énergie rayonnante générées par un arc électrique à l'air libre dans des conditions contrôlées de laboratoire.

Les matériaux utilisés dans ces méthodes ont la forme d'éprouvettes plates pour la méthode A et d'articles d'habillement pour la méthode B.

La méthode A est utilisée pour déterminer la caractéristique d'arc de matériaux et d'assemblages de matériaux lors de l'essai en une configuration plane.

La méthode B est utilisée pour mesurer une réponse d'un article d'habillement, et non la caractéristique d'arc, à une exposition à l'arc, y compris toutes les fournitures de confection, le fil de couture, les fermetures, les tissus et les autres accessoires lors d'un essai sur un torse de mannequin mâle. La méthode B est aussi utilisée à des fins de reconstitution d'un accident.

Il incombe à l'utilisateur de cette partie de la CEI 61482 d'établir des pratiques sanitaires et de sécurité appropriées avant utilisation. Pour des précautions spécifiques, voir l'Article 7.

Les méthodes d'essai dans cette partie de la CEI 61482 ne sont pas destinées à classer par classes de protection. Les méthodes déterminant la classe de protection sont prescrites dans la CEI 61482-1-2.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 3175-2, *Textiles – Entretien professionnel, nettoyage à sec et nettoyage à l'eau des étoffes et des vêtements – Partie 2: Mode opératoire pour évaluer la résistance au nettoyage et à la finition lors du traitement au tétrachloroéthylène*

ISO 6330, *Textiles – Méthodes de lavage et de séchage domestiques en vue des essais des textiles*

ISO 9151, *Vêtements de protection contre la chaleur et les flammes – Détermination de la transmission de chaleur à l'exposition d'une flamme*

ISO 15025:2000, *Vêtements de protection – Protection contre la chaleur et les flammes – Méthode d'essai pour la propagation de flamme limitée*

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes, définitions et symboles suivants s'appliquent.

NOTE Voir l'ASTM D-123 [7]¹⁾ pour la définition d'autres termes de l'industrie textile qui ont rapport avec le sujet.

3.1 Termes et définitions

3.1.1

durée d'arc

durée de temps de l'arc

NOTE La durée d'arc est exprimée en s.

3.1.2

énergie d'arc

W_{arc}

énergie électrique fournie à l'arc et convertie dans l'arc; 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 L'énergie d'arc est exprimée en kJ ou kW·s.

3.1.3

intervalle d'arc

distance entre les électrodes d'arc

NOTE L'intervalle d'arc est exprimé en mm.

3.1.4

caractéristique d'arc

valeur attribuée à des matériaux ou à des systèmes de matériaux qui décrit leur performance à l'exposition à une décharge d'arc électrique

NOTE La caractéristique d'arc est exprimée en kW·s/m² – ou de façon facultative en cal/cm² – et s'obtient de la valeur d'ATPV déterminée, ou de E_{BT50} (si le matériau ou le système de matériaux présente une éventration au-dessous de la valeur d'ATPV).

3.1.5

valeur de performance thermique de l'arc (ATPV)

dans les essais d'arc, énergie incidente sur un matériau ou un système multicouche de matériaux qui aboutit à prédire avec une probabilité de 50 % à un transfert de chaleur

1) Les chiffres entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

suffisant à travers l'éprouvette en essai pour provoquer le déclenchement d'une brûlure du second degré de la peau sur la base de la courbe de Stoll, sans éventration

NOTE L'ATPV est exprimée en kJ/m^2 ou $\text{kW}\cdot\text{s/m}^2$ (cal/cm^2).

3.1.6

tension d'arc

tension aux bornes de l'arc

NOTE La tension d'arc est exprimée en V.

3.1.7

courant asymétrique d'arc

courant d'arc total produit pendant la fermeture; il comprend une composante continue et une composante symétrique

NOTE Le courant asymétrique d'arc est exprimé en A.

3.1.8

éventration

dans les essais d'arc électrique, réponse du matériau mise en évidence par la formation d'un ou de plusieurs trous dans le matériau qui peuvent permettre à la flamme de passer à travers le matériau

NOTE 1 On considère que l'éprouvette présente une éventration lorsqu'un trou quelconque a une surface d'au moins 300 mm^2 ou qu'une de ses dimensions est d'au moins 25 mm. Un seul fil à travers l'ouverture ne réduit pas la taille du trou pour les besoins de la présente partie de la CEI 61482.

NOTE 2 On considère qu'une éprouvette multicouche présente une éventration lorsque toutes les couches montrent la formation d'un ou de plusieurs trous.

3.1.9

énergie de seuil à l'éventration

E_{BT50}

énergie incidente sur du tissu ou un matériau qui aboutit à prédire avec une probabilité de 50 % à un transfert de chaleur suffisant à travers l'éprouvette en essai pour provoquer son éventration

NOTE L'énergie de seuil à l'éventration est exprimée en kJ/m^2 ou $\text{kW}\cdot\text{s/m}^2$ (cal/cm^2).

3.1.10

temps de combustion

durée pendant laquelle une flamme est visible après l'exposition à l'arc

NOTE Le temps de combustion est exprimé en s.

3.1.11

calorimètre

dispositif pour mesurer le flux thermique et l'énergie incidente

3.1.12

carbonisation

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

3.1.13

fermeture

point sur la forme d'onde du courant d'alimentation où l'arc est amorcé

3.1.14

vêtement

assemblage d'articles d'habillement porté par les travailleurs

3.1.15

température de crête delta

ΔT_p

différence entre la température maximale et la température initiale du capteur au cours de la durée d'exposition de l'essai

NOTE La température de crête delta est exprimée en °C.

3.1.16

égouttement

réponse du matériau mise en évidence par l'écoulement du polymère de la fibre

3.1.17

arc électrique

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

[VEI 121-13-12]

NOTE Au cours des travaux sous tension, l'arc électrique est généré par une ionisation gazeuse suite à une connexion ou un claquage accidentel(le) entre des parties actives ou entre une partie active 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.

3.1.18

fragilisation

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

3.1.19

durée d'exposition

peu de temps avant, pendant et pour 30 s après qu'une exposition thermique à l'arc a été initiée

3.1.20

article d'habillement

élément du vêtement, pouvant se composer d'une seule ou de plusieurs couches

3.1.21

facteur d'atténuation de la chaleur (HAF)

pourcentage de l'énergie incidente qui est bloquée par un matériau à un niveau d'énergie incidente égal à l'ATPV

3.1.22

flux thermique

q

intensité thermique d'un arc électrique, indiquée par la quantité d'énergie transmise par unité de surface et de temps

NOTE Le flux thermique est exprimé en kW/m².

3.1.23

inflammation

début de la combustion

3.1.24

énergie incidente

E_i

énergie thermique (chaleur totale) reçue par unité de surface par suite d'un arc électrique

NOTE 1 L'énergie thermique est mesurée comme une augmentation de la température de crête proportionnelle ΔT_p d'un capteur de calorimètre.

NOTE 2 L'énergie incidente est exprimée en kJ/m^2 ou $\text{kW}\cdot\text{s/m}^2$ (cal/cm^2).

NOTE 3 Dans un essai d'arc, l'énergie incidente pour une éprouvette est déterminée à partir de la réponse d'augmentation de la température moyenne des deux capteurs de surveillance adjacents à l'éprouvette en essai.

3.1.25

matériau

tissu ou autres substances dans lequel (lesquelles) est fait l'article d'habillement, pouvant se composer d'une seule ou de plusieurs couches

3.1.26

réponse du matériau

observation subjective de la réaction du matériau à un arc électrique, indiquée par les caractéristiques suivantes: temps de combustion (flamme persistante, inflammation), éventration, fusion, égouttement, carbonisation, fragilisation, rétrécissement

3.1.27

fusion

réponse du matériau mise en évidence par le ramollissement et la déformation du polymère de la fibre

3.1.28

zone mixte

plage d'énergies incidentes qui peuvent avoir un résultat autant positif que négatif en termes de blessures prédites liées à une brûlure du second degré, d'éventration ou d'inflammation en sous couche

NOTE 1 Le bas de la plage commence à la valeur la plus faible d'énergie incidente indiquant un résultat positif et le haut de la plage est la valeur la plus élevée d'énergie incidente indiquant un résultat négatif.

NOTE 2 Une zone mixte est établie lorsque l'énergie incidente la plus élevée indiquant un résultat négatif est supérieure à l'énergie incidente la plus faible indiquant un résultat positif.

3.1.29

capteur de surveillance

capteur monté de chaque côté du panneau ou du mannequin, utilisant les calorimètres non recouverts d'une éprouvette d'essai et utilisé pour mesurer l'énergie incidente

3.1.30

courant d'arc de crête

valeur maximale du courant alternatif d'arc

NOTE Le courant d'arc de crête est exprimé en A.

3.1.31

vêtement de protection

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

[Définition 3.4 de l'ISO 13688 [6]]

3.1.32

courant d'arc efficace

valeur efficace du courant alternatif d'arc

NOTE Le courant d'arc efficace est exprimé en A.

3.1.33

capteur

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

3.1.34 rétrécissement

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

3.1.35 courbe de Stoll

courbe d'énergie thermique et de temps produite à partir de données sur la tolérance des tissus humains à la chaleur et utilisée pour prédire le déclenchement de blessures liées à une brûlure du second degré

NOTE Voir le Tableau 1 et l'Equation (5).

3.1.36 durée jusqu'à la température de crête delta

t_{max}
durée à partir du commencement de l'amorçage de l'arc jusqu'au moment où est atteinte la température de crête delta

NOTE La durée jusqu'à la température de crête delta est exprimée en s.

3.1.37 rapport X/R

rapport de la réactance inductive du système à la résistance

NOTE 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	valeur de performance thermique de l'arc	kW·s/m ² (voir énergie incidente)
C_p	capacité thermique	J/g °C
E_{BT50}	énergie de seuil à l'éventration	kW·s/m ² (voir énergie incidente)
E_i	énergie incidente	kJ/m ² ou kW·s/m ²
$E_{transmise}$	énergie transmise	kJ/m ² ou kW·s/m ²
HAF	facteur d'atténuation de la chaleur	
haf	point de données du HAF	
Q	énergie thermique	J/cm ²
q	flux thermique	kW/m ²
T	température mesurée	°C
t	temps	s
W_{arc}	énergie d'arc	kJ, kW·s

NOTE
 1 J/g °K = 4,186 8 cal/g °K
 1 kJ/m² = 1 kW.s/m² = 0,1 J/cm² = 0,023 885 cal/cm²
 1 cal/cm² = 41,868 kJ/m² = 41,868 kW.s/m² = 4,1868 J/cm²

4 Principe des méthodes d'essai

4.1 Méthode d'essai A

La méthode d'essai A spécifiée dans la présente norme détermine l'énergie incidente qui prédirait une blessure liée à une brûlure du second degré lorsque le ou les matériaux sont exposés à l'énergie thermique d'un arc électrique.

Au cours des essais, la quantité d'énergie thermique transférée par le ou les matériaux est mesurée pendant et après l'exposition à un arc électrique.

Le flux thermique de l'exposition et celui transféré par l'(les) éprouvette(s) sont mesurés avec des calorimètres de cuivre. 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 reçue et transmise à travers les éprouvettes.

La performance du matériau concernant cette procédure est déterminée à partir de la quantité de chaleur transférée par l'(les) éprouvette(s).

Les données de transfert de chaleur sont utilisées pour prédire le déclenchement d'une brûlure du second degré en utilisant la courbe de Stoll.

Les procédures incorporent des capteurs de surveillance de l'énergie incidente.

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 au 3.1.26.

4.2 Méthode d'essai B

La méthode d'essai B spécifiée dans la présente norme est utilisée pour évaluer la conception des vêtements de protection ou à des fins de reconstitution d'un accident. Les articles d'habillement doivent être évalués avec les fournitures de confection, les poches et les articles de fermeture localisés conformément à la confection, mais il est impossible de faire rapport d'une caractéristique d'arc dû à l'impact de la conception des articles d'habillement, comme par exemple la confection des poches et des fermetures multicouches, sur le transfert thermique vers les capteurs.

5 Signification et utilisation des méthodes d'essai

La méthode d'essai A mesure la valeur de performance thermique de l'arc des matériaux destinés à une utilisation pour les vêtements résistant à la flamme pour les travailleurs exposés aux arcs électriques. La méthode d'essai est destinée à la détermination de la valeur de performance thermique d'un matériau en lui-même ou par comparaison avec d'autres matériaux.

Du fait de la variabilité de l'exposition à l'arc, il peut en résulter des valeurs de transmission de chaleur différentes pour les capteurs individuels. Les résultats de chaque capteur doivent être évalués conformément à l'Article 12.

La méthode d'essai B spécifiée dans la présente norme est utilisée pour évaluer la conception des vêtements de protection. Les articles d'habillement qui utilisent les matériaux ou les systèmes de matériaux qui ont été soumis au préalable à l'essai selon la méthode A, doivent d'abord avoir une éprouvette plane soumise à l'essai selon la méthode A. Ensuite, les articles d'habillement utilisant les matériaux déjà soumis à l'essai sont soumis à l'essai selon la méthode d'essai B.

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

Les méthodes d'essai spécifient un jeu normalisé de conditions d'exposition. Des conditions d'exposition différentes peuvent produire des résultats différents. Outre le jeu normalisé de conditions d'exposition, d'autres conditions représentatives du danger anticipé peuvent être utilisées.

6 Appareillage d'essai

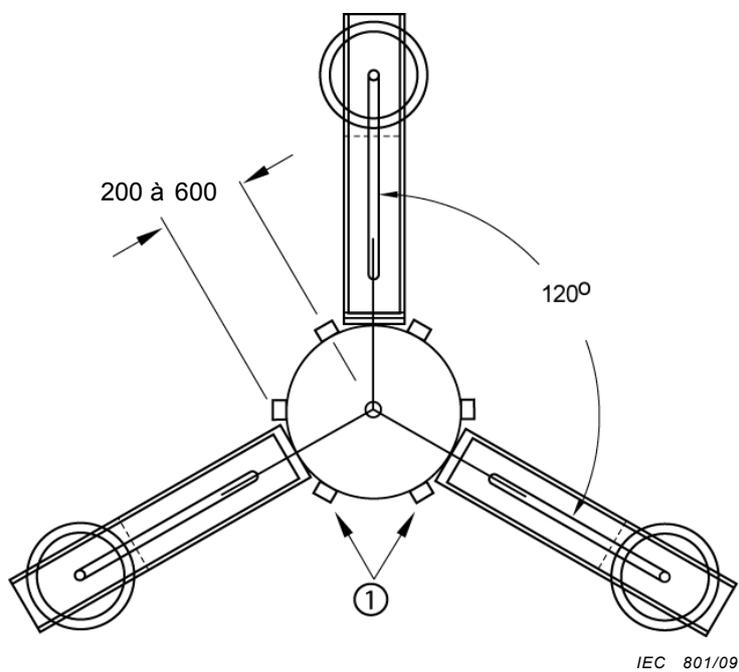
6.1 Généralités

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 panneaux à deux capteurs (méthode A) ou un à trois mannequins à quatre capteurs (méthode B);
- capteurs de surveillance pour chaque panneau ou mannequin.

6.2 Méthode A – Disposition des panneaux à deux capteurs

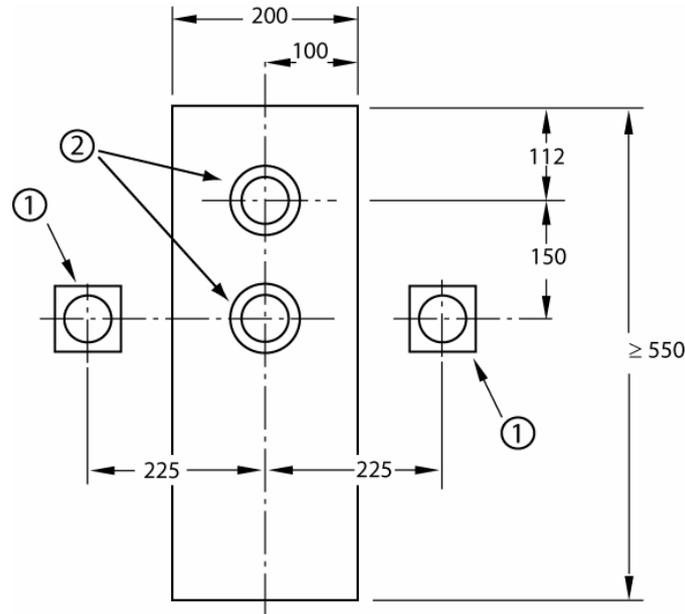
Trois panneaux à deux capteurs doivent être utilisés pour chaque essai et répartis à 120°, comme indiqué à la Figure 1. De plus, chaque panneau à deux capteurs doit avoir deux capteurs de surveillance. Un capteur de surveillance doit être placé de chaque côté du panneau à deux capteurs, comme l'illustre la Figure 2.

Dimensions en millimètres**Légende**

- 1 Capteur de surveillance

Figure 1 – Méthode A – Disposition de trois panneaux à deux capteurs avec capteurs de surveillance (vue en plan)

Dimensions en millimètres



IEC 802/09

Légende

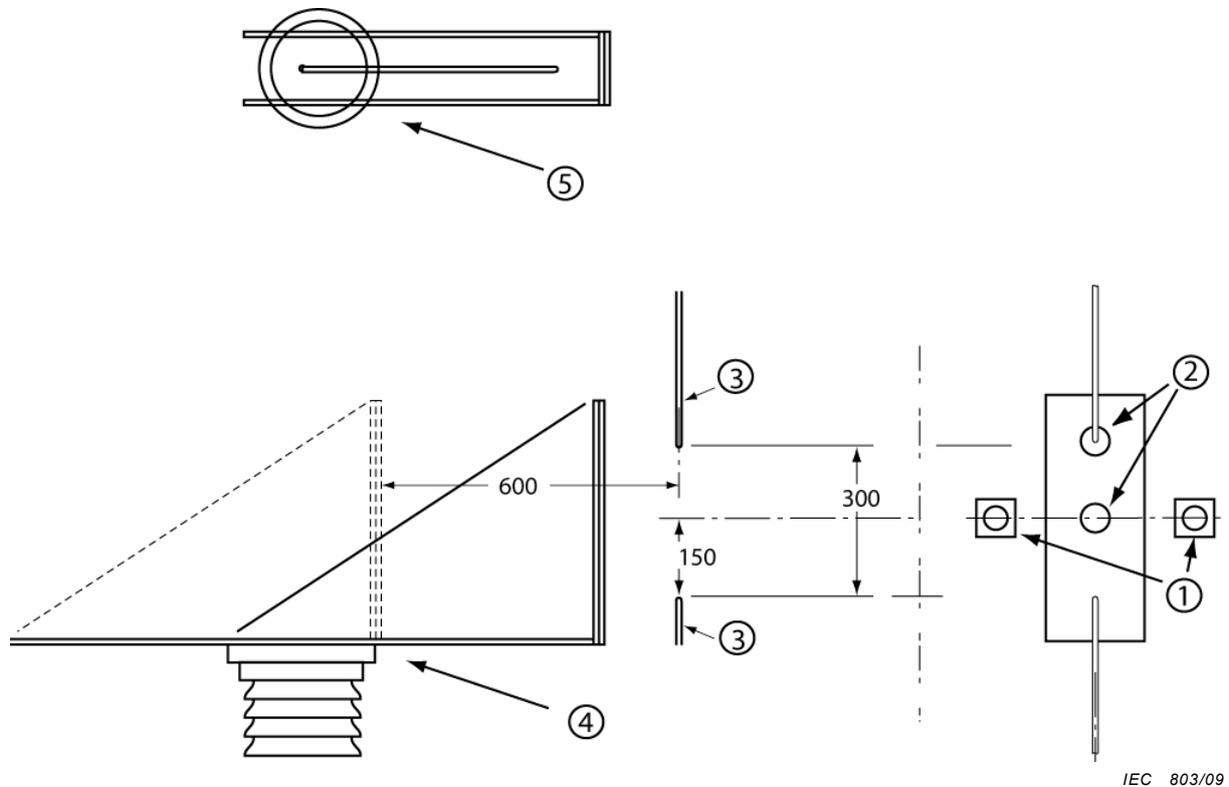
- 1 Capteur de surveillance
- 2 Capteur

Figure 2 – Méthode A – Panneau à deux capteurs (vue de face) avec capteurs de surveillance

6.3 Méthode A – Constitution d'un panneau

Chaque panneau à deux capteurs et le support de capteur de surveillance doivent être constitués d'un matériau non-conducteur et résistant à la chaleur (par exemple, le Marinite A, une plaque d'amiante-ciment sans amiante, un isolant pour le four). Chaque panneau à deux capteurs doit être de 200 mm par un minimum de 550 mm, comme l'illustre la Figure 2. Chaque panneau à deux capteurs et les capteurs de surveillance doivent être réglables à partir de 200 mm jusqu'à 600 mm depuis la ligne centrale des électrodes d'arc, comme l'illustrent les Figures 1 et 3. Deux capteurs doivent être montés dans le panneau, comme le montre la Figure 2. Chaque capteur doit être encastré avec la surface du panneau.

Dimensions en millimètres

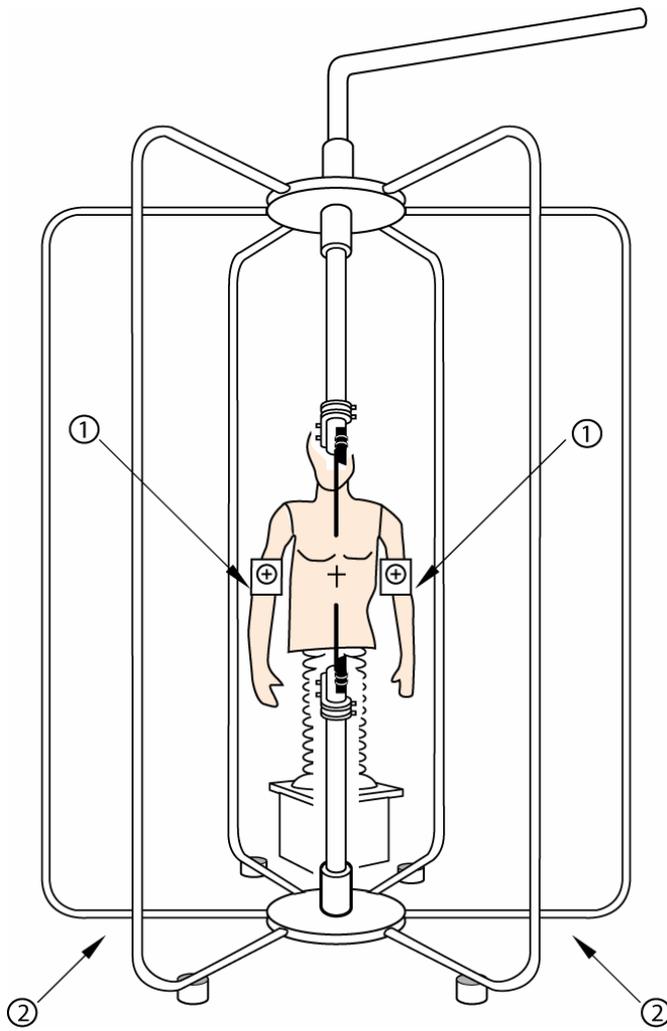
**Légende**

- | | | | |
|---|--|---|---|
| 1 | Capteur de surveillance | 3 | Electrode |
| 2 | Capteur | 4 | Panneau amovible à deux capteurs monté sur un support isolant |
| 5 | Le système de glissement fourni par l'utilisateur doit inclure un moyen pour maintenir l'alignement ainsi qu'un dispositif de verrouillage | | |

Figure 3 – Méthode A – Panneau amovible à deux capteurs**6.4 Méthode B – Disposition des mannequins**

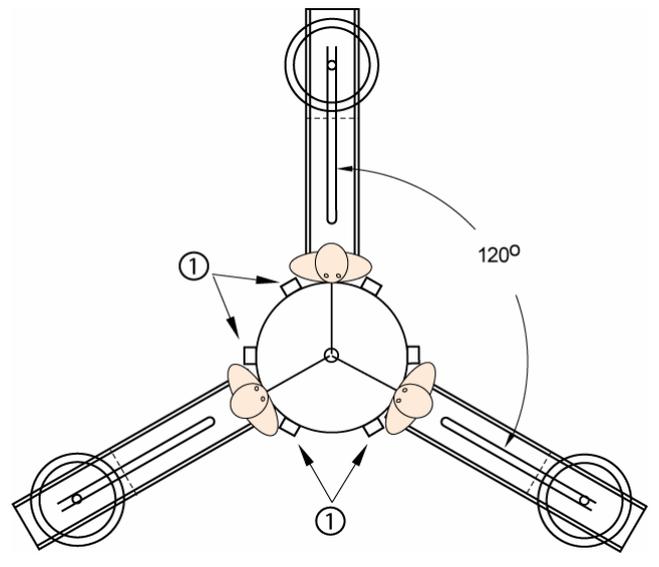
Jusqu'à trois mannequins à quatre capteurs doivent être utilisés pour chaque essai et ils doivent être espacés d'un minimum de 120° comme l'illustre la Figure 4. Chaque mannequin doit posséder deux capteurs de surveillance. Un capteur de surveillance doit être placé de chaque côté du mannequin (et non fixé sur le mannequin) comme l'illustrent les Figures 4 et 5.

NOTE L'espace autour des électrodes d'arc peut dicter le nombre de mannequins utilisés. Il s'avère que deux mannequins fournissent le meilleur espace de travail lorsque l'on habille les mannequins. Il convient de maintenir l'espacement minimal de 120°.



IEC 804/09

Vue de face



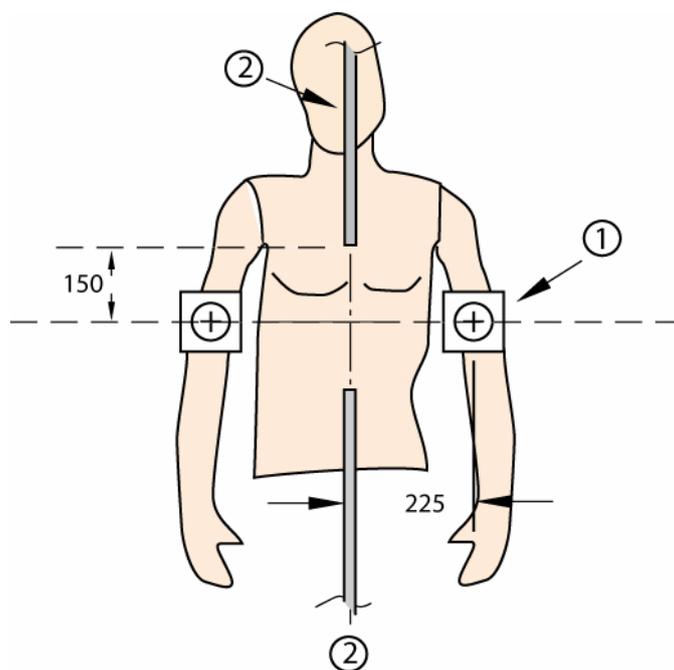
IEC 805/09

Vue en plan

Légende

- 1 Capteur de surveillance
- 2 Position additionnelle de mannequin

Figure 4 – Barre d'alimentation et électrodes d'arc présentant l'emplacement des capteurs de surveillance et du ou des mannequin(s)

**Légende**

IEC 806/09

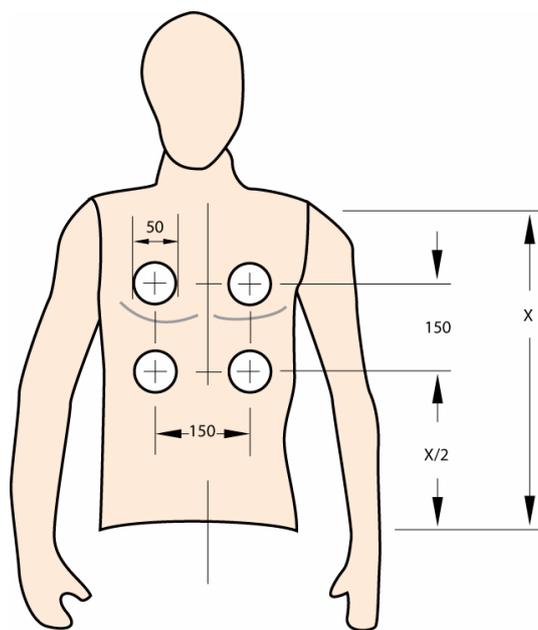
- 1 Capteur de surveillance
- 2 Electrode

Figure 5 – Disposition des électrodes et des capteurs de surveillance**6.5 Méthode B – Constitution d'un mannequin**

Le torse d'un mannequin mâle, de grande taille (largeur de la poitrine: $1\ 067\ \text{mm} \pm 25\ \text{mm}$), constitué de fibre de verre non conductrice avec une résine haute température, ou d'autres matériaux haute température non-conducteurs et ininflammables doit être utilisé.

NOTE Voir aussi l'ISO 13688 [6] pour la mesure de la taille des vêtements.

Le mannequin doit être dans une position verticale. La tête peut être amovible; les bras doivent être détachables, droits et montés en position verticale pour permettre à l'éprouvette au niveau du thorax de constituer le point le plus proche de la ligne de centre de l'arc. Les bras peuvent être raccourcis à 100 mm pour permettre le montage aisé de l'éprouvette. Le mannequin doit utiliser les capteurs décrits aux Figures 7a et 7b et montés de la même façon que dans la Figure 6.



IEC 807/09

Figure 6 – Mannequin avec quatre capteurs, vue de face

6.6 Réponse d'un capteur

La réponse d'un capteur doit être comparée à la courbe de Stoll. La réponse d'un capteur de surveillance est convertie en énergie incidente en unités de $\text{kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ en multipliant l'accroissement de température (ΔT) par un facteur basé sur la masse du capteur de cuivre, la surface exposée du capteur, et la capacité thermique du cuivre corrigée en température, tel que décrit de 12.1.2.2 à 12.1.2.5.

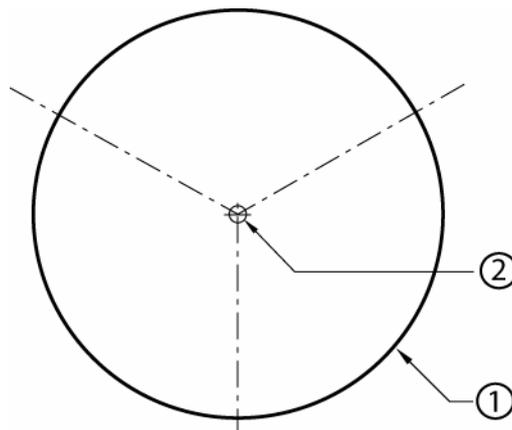
6.7 Constitution d'un calorimètre

Le calorimètre doit être constitué de cuivre de qualité électrique en installant un fil de thermocouple dans la disposition illustrée à la Figure 7a. Le fil de thermocouple doit être installé dans le calorimètre comme l'indique la Figure 7b. La Figure 8 présente l'installation type du capteur de cuivre monté dans le panneau et du calorimètre monté dans le capteur de surveillance. Concernant uniquement les expositions d'essai supérieures à $2\,512\text{ kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$, on peut utiliser d'autres calorimètres pour les capteurs de surveillance, à condition qu'ils soient étalonnés et présentent une réponse appropriée.

La surface exposée des calorimètres de cuivre doit être peinte d'une couche mince de peinture noire d'apprêt à haute température en atomiseur ayant une émissivité $>0,9$. Une fois peint, le capteur doit être séché avant utilisation et doit présenter un revêtement uniforme (aucune zone plus épaisse ou irrégularité de surface visible).

NOTE Une source externe de chaleur, par exemple une lampe chauffante externe, peut être requise pour éliminer complètement tout porteur organique d'une surface fraîchement peinte.

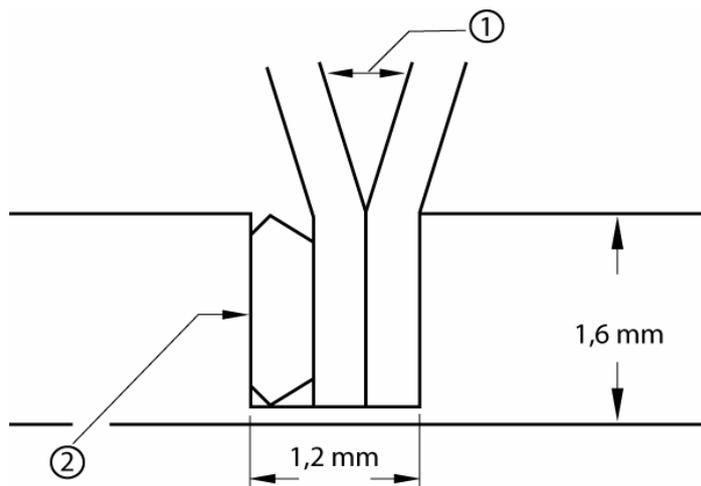
Pour tous les paramètres qui ne sont pas définis dans la présente norme, voir l'ISO 9151 pour une description de la constitution d'un calorimètre.



IEC 808/09

Légende

- 1 Capteur de cuivre de qualité électrique, de 40 mm de diamètre
- 2 Emplacement du thermocouple
Le trou central doit avoir un diamètre de 1,2 mm et une profondeur de 1,3 mm.

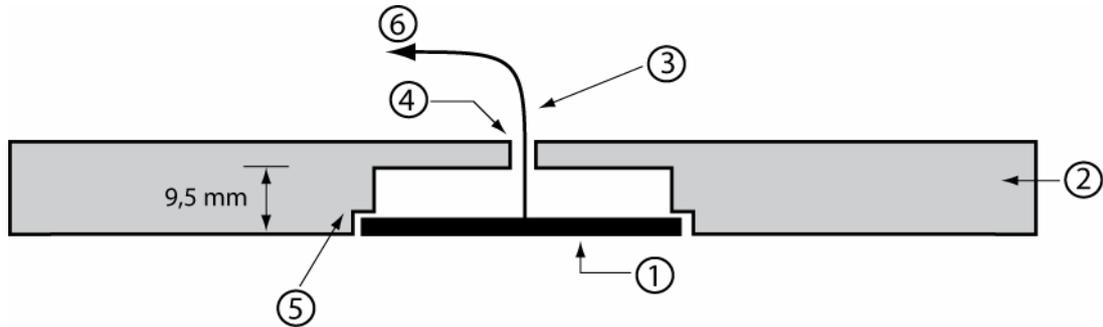
Figure 7a – Installation du thermocouple dans le calorimètre

IEC 809/09

Légende

- 1 Fils de thermocouple séparés
- 2 Placer un thermocouple ayant un diamètre extérieur total de 0,254 mm. Le bouchon doit être enfoncé dans le trou de façon à le remplir complètement. Le point de séparation des fils de thermocouple doit effleurer la surface du disque de cuivre, tel que montré dans le dessin.

**Figure 7b – Installation du fil du thermocouple –
Détail du trou et méthode de fixation du thermocouple****Figure 7 – Détails de thermocouple et de calorimètre**



IEC 810/09

Légende

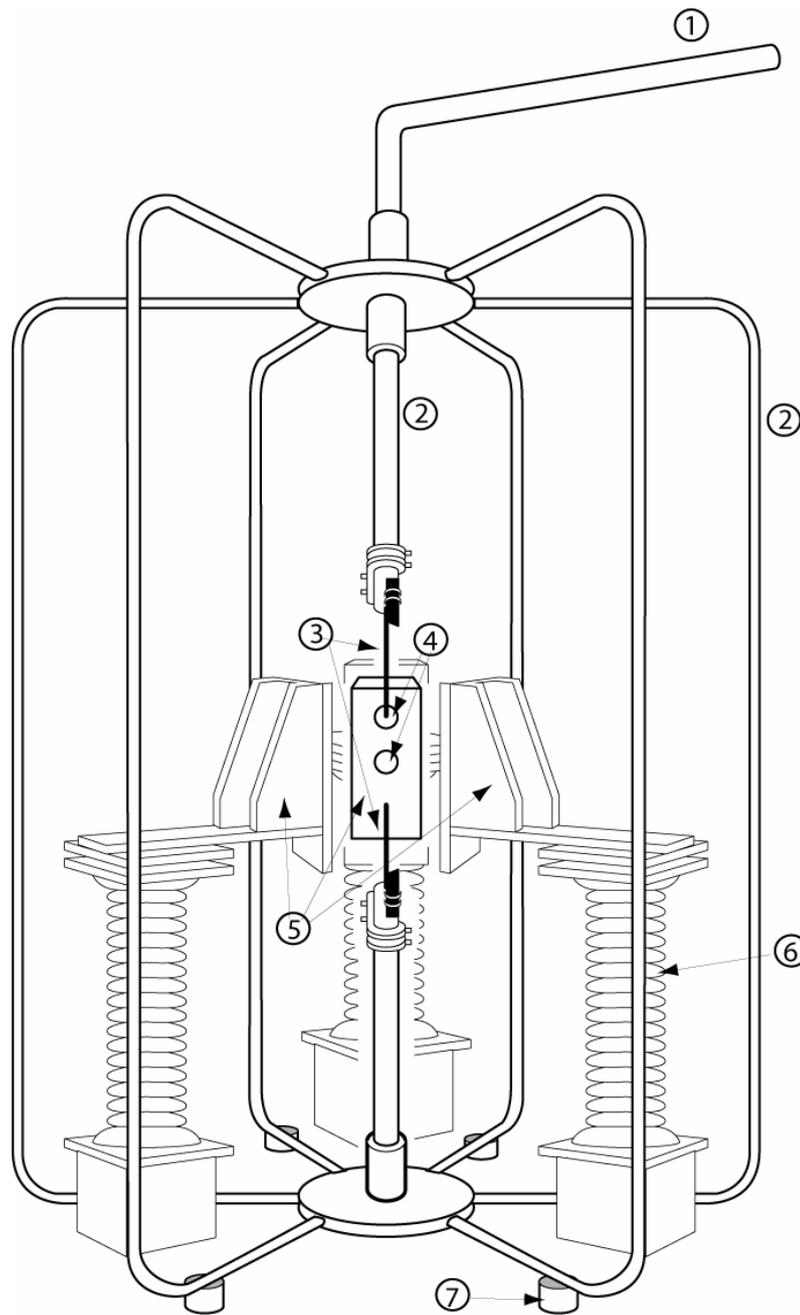
- | | | | |
|---|---|---|--------------------------------------|
| 1 | Disque de cuivre de qualité électrique de 18 g , Ø 40 mm, 1,6 mm d'épaisseur, (assujetti) | 4 | Trou de 3,2 mm de diamètre |
| 2 | Panneau isolant, épaisseur minimale ~1,3 cm | 5 | Rebord, 1,6 mm × 1,6 mm |
| 3 | Thermocouple de Type K (NiCr - NiAl) ou de Type J (Fe - CuNi) | 6 | Signal vers l'acquisition de données |

Figure 8 – Installation type d'un capteur de cuivre monté dans le panneau et d'un calorimètre monté dans un capteur de surveillance

6.8 Barre d'alimentation et électrodes

6.8.1 Généralités

La Figure 9 fournit la disposition de la barre d'alimentation et des électrodes d'arc. Cette figure donne un exemple de disposition structurale de barres d'aluminium conçue pour réduire les forces électromagnétiques agissant sur l'arc pour ainsi centrer la rotation de l'arc le long de l'axe central inter-électrode. L'arc doit être dans une position verticale conforme à la figure.



IEC 811/09

Légende

- | | | | |
|---|-------------------------------|---|-----------------|
| 1 | Barre d'alimentation coaxiale | 5 | Panneau |
| 2 | Barre | 6 | Support isolant |
| 3 | Electrode | 7 | Isolateur |
| 4 | Capteur | | |

Figure 9 – Exemple de barre d'alimentation et d'électrodes d'arc pour panneaux

6.8.2 Electrodes

Les électrodes sont constituées d'une tige en acier inoxydable (alliage de type UNS-S30300 ou de type UNS-S30400) d'un diamètre et d'une longueur adaptés qui soient pratiques pour les énergies d'essai utilisées.

6.8.3 Fil fusible

Un fil fusible, raccordant les extrémités des pointes d'électrodes opposées, est 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 de cuivre d'un diamètre nominal de 0,5 mm.

6.9 Alimentation électrique

L'alimentation électrique doit être suffisante pour permettre la décharge d'un arc électrique initié avec un fil fusible, aux bornes d'un intervalle jusqu'à 305 mm, avec un courant d'arc alternatif de $8 \text{ kA} \pm 1 \text{ kA}$ et une durée d'arc comprise entre 0,05 s et 1,5 s à partir d'une alimentation à fréquence industrielle, et une tension suffisante pour maintenir l'arc pendant toute la durée de l'essai. Une tension de 2 000 V s'est avérée suffisante. L'impédance de source doit être beaucoup plus élevée que l'impédance de l'arc de façon à ce que le courant efficace ne varie pas durant l'essai. Le rapport X/R du circuit d'essai doit être tel que le courant d'essai contienne une composante continue générant une première crête du courant d'essai ayant une amplitude 2,3 fois la valeur efficace symétrique.

6.10 Commande du circuit d'essai

Les expositions répétées aux courants d'arc ne doivent pas s'écarter d'un essai à l'autre de plus de 2 % du niveau d'essai choisi. D'un essai à l'autre, l'interrupteur de fermeture doit être capable d'une fermeture en tout point de l'onde à 0,2 période près de sorte que l'angle de fermeture produise un courant asymétrique maximal ayant un rapport X/R du circuit d'essai tel que donné en 6.9. Le courant d'arc, sa durée et sa tension doivent être mesurés. Le courant d'arc, sa durée, sa tension et son énergie doivent être présentés sous forme de graphique et stockés sous forme numérique.

6.11 Système d'acquisition de données

Le système doit être capable d'enregistrer la tension, le courant et des sorties de calorimètre en nombre suffisant pour satisfaire à l'essai. Les données de température (sorties des calorimètres de cuivre) doivent être acquises à un taux d'échantillonnage minimal de 20 échantillons par calorimètre par seconde. Le système d'acquisition doit pouvoir enregistrer des températures pouvant atteindre 400 °C. Le système d'acquisition des températures doit posséder une résolution minimale de 0,1 °C et une précision de $\pm 0,75$ °C. Il doit pouvoir corriger pour les jonctions froides et convertir en température les signaux en millivolt des thermocouples de type J ou K (se conforme à la CEI 60584). Les données de courant et de tension d'essai doivent être acquises à un taux d'échantillonnage minimal de 2 000 échantillons par seconde. Le système d'acquisition du courant et de la tension doit posséder une résolution minimale de 1 % du courant et de la tension appliqués. Utiliser des dispositifs d'isolement sur les sorties de calorimètres en vue de protéger le système d'acquisition.

7 Précautions

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 travailleurs doivent se placer derrière des barrières de protection ou à une distance de sécurité pour prévenir l'électrocution et le contact avec le métal fondu. Les travailleurs souhaitant voir l'essai doivent porter des verres très teintés.

Si l'essai est exécuté à l'intérieur, il doit y avoir une méthode pour ventiler la zone afin d'évacuer les produits de combustion, la fumée et les vapeurs. Cette ventilation ne doit pas être mise en marche avant la fin de l'essai. Les courants d'air peuvent perturber l'arc, réduisant le flux thermique à la surface des panneaux de capteurs.

L'appareillage d'essai doit être blindé par des matériaux non combustibles adaptés à la zone d'essai. L'appareillage d'essai doit être isolé de la terre pour la tension d'essai appropriée.

Dans le cas d'essais extérieurs, des mesures appropriées doivent permettre d'éviter les effets des conditions météorologiques (par exemple, le vent, la pluie, etc.).

Les électrodes et l'ensemble calorimètre deviennent chauds au cours de l'essai. Utiliser des gants de protection lors de la manipulation de ces objets chauds.

Faire preuve de prudence lorsque l'éprouvette s'enflamme ou dégage des gaz combustibles. Un extincteur doit être aisément prêt à être utilisé. S'assurer que le feu subi par les matériaux est totalement éteint.

Immédiatement après chaque essai, l'alimentation électrique doit être coupée de l'appareillage d'essai et de tout autre équipement de laboratoire destiné à produire l'arc, et l'appareillage et tout autre équipement de laboratoire doivent être isolés et mis à la terre. À l'issue de l'acquisition de données, des méthodes appropriées doivent être utilisées pour ventiler la zone d'essai avant que n'entre le personnel. Il convient que personne ne pénètre dans la zone d'essai avant l'évacuation totale de la fumée et des vapeurs.

8 Préparation des éprouvettes

8.1 Eprouvettes d'essai

8.1.1 Eprouvettes d'essai pour la méthode A: essai avec panneau à deux capteurs

A partir du matériau à soumettre à l'essai, la taille de l'éprouvette après nettoyage doit être d'au moins 600 mm \pm 10 mm de longueur et d'au moins 300 mm \pm 5 mm de largeur. Se reporter à 11.2 pour déterminer le nombre d'éprouvettes.

L'éprouvette doit être découpée dans le sens de la chaîne ou celui de la trame du matériau.

8.1.2 Eprouvettes d'essai pour la méthode B: mannequin à quatre capteurs

Des articles d'habillement peuvent être évalués avec les poches et les fermetures localisées conformément à la confection, mais parce que leur conception, comme par exemple la confection des poches et des fermetures multicouches, peut affecter le transfert thermique vers les capteurs il est impossible de faire rapport d'une caractéristique d'arc.

8.2 Conditionnement par le nettoyage des éprouvettes d'essai

La quantité prescrite de matériau pour les éprouvettes d'essai doit être nettoyée. Avant l'essai les matériaux d'essai ou les vêtements doivent être lavés cinq fois selon la méthode 2A de l'ISO 6330 et séchés selon la procédure E (séchage à tambour) sauf indication contraire figurant sur l'étiquette d'entretien. Les matériaux ou les vêtements munis de l'étiquette mentionnant le nettoyage à sec uniquement doivent être nettoyés à sec cinq fois selon l'ISO 3175-2. Il est possible de restaurer l'état plat des éprouvettes par pressage.

Si le lavage est autorisé ainsi que le nettoyage à sec, le matériau en essai ou le vêtement doit alors uniquement être lavé.

Pour les matériaux qui nécessitent un nettoyage spécial distinct de celui cité plus haut, la pratique recommandée du fabricant doit être suivie et la procédure utilisée doit être notée dans les rapports d'essai.

9 Etalonnage

9.1 Préétalonnage du système d'acquisition de données

Le système d'acquisition de données complet doit être étalonné. Son système d'acquisition des températures doit être étalonné en utilisant un appareil d'étalonnage/simulateur de thermocouple. Les étalonnages pourront 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 de l'étalonnage du calorimètre

Les calorimètres doivent être vérifiés en vue du contrôle de leur fonctionnement.

Après avoir effectué le placement final dans la cellule d'essai de tous les panneaux d'essai/mannequins et capteurs de surveillance, exposer chaque calorimètre à une source d'énergie rayonnante fixe pendant 30 s. Placer un projecteur étalonné de 500 W à $267 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ du calorimètre. Le projecteur doit être centré sur le calorimètre et perpendiculaire à celui-ci. Mesurer et tracer sous forme de graphique l'augmentation de la température de chaque calorimètre et la réponse du système. A 30 s, aucune réponse de calorimètre ne doit varier de plus de 4 °C de la moyenne de l'ensemble des 12 calorimètres. Tout calorimètre ne satisfaisant pas à cette exigence doit être réparé ou remplacé.

9.3 Etalonnage de l'exposition à l'arc et de l'appareillage pour les panneaux à deux capteurs et les capteurs de surveillance

9.3.1 Appareillage d'essai

Avant chaque étalonnage, placer les électrodes de l'appareillage d'essai de manière à produire un espace inter-électrode de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$. La face des capteurs de surveillance doit être parallèle et perpendiculaire à la ligne médiane des électrodes. Le point milieu de l'espace inter-électrode doit se trouver à la même hauteur que le point central des capteurs de surveillance (voir Figure 3). 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'excès doit être coupé. L'appareillage d'essai doit être réglé pour produire le courant d'arc et sa durée désirés.

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 façon telle que sa surface soit à $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ et soit parallèle et perpendiculaire à la ligne médiane des électrodes.

9.3.3 Etalonnage de l'appareillage pour les panneaux à deux capteurs et les capteurs de surveillance

Les paramètres d'étalonnage doivent consister en un courant d'arc de $8 \text{ kA} \pm 1 \text{ kA}$, un espace inter-électrode de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, des électrodes en acier inoxydable, une distance de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ entre la ligne centrale d'arc et la surface de l'éprouvette d'essai et une durée d'arc de $167 \text{ ms} \pm 2 \text{ ms}$.

Décharger l'arc, déterminer l'augmentation maximale de température mesurée par chaque capteur et multiplier par la constante du capteur (voir 12.1.2.4 pour obtenir l'énergie incidente (chaleur totale) en $\text{kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ mesurée par chaque capteur).

Comparer la lecture du capteur la plus élevée et la valeur moyenne obtenue pour tous les capteurs, par exemple avec le résultat mesuré de $423 \text{ kW}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ pour l'exposition à l'étalonnage ci-dessus. Comparer la valeur thermique totale déterminée par les capteurs à la

valeur présentée. La chaleur totale moyenne calculée pour les capteurs doit être d'au moins 60 % de la valeur déterminée par calcul ou celle qui est présentée. La chaleur totale la plus élevée mesurée par l'un ou l'autre capteur ne doit pas différer de plus de 10 % de la valeur calculée. Si ces valeurs ne sont pas obtenues, inspecter le montage d'essai et corriger les problèmes. Il convient qu'un essai d'étalonnage de l'exposition à l'arc soit effectué au niveau d'essai désiré après chaque réglage, et préalablement au commencement et à la fin de chaque jour d'essai et après tout réglage d'équipement ou défaillance de celui-ci.

Du fait que l'arc ne suit pas un trajet équidistant de chaque capteur, les résultats varient. A 8 kA, la chaleur totale la plus élevée mesurée avec tout capteur doit se situer entre 377 kW·s/m² et 461 kW·s/m² et la chaleur totale moyenne pour tous les capteurs doit être d'au moins 251 kW·s/m². Si ces valeurs ne sont pas atteintes, vérifier l'étalonnage du système de capteurs, les conditions électriques et le montage physique de l'appareillage et renouveler l'exposition d'étalonnage jusqu'à obtention des résultats prescrits.

9.4 Confirmation du réglage de l'appareillage d'essai

Confirmer le réglage de l'appareillage d'essai pour chaque essai. Les valeurs consignées doivent être la valeur crête du courant d'arc, la valeur efficace du courant d'arc, la durée d'arc, l'énergie d'arc et la tension d'arc. Un graphique du courant d'arc doit être tracé pour s'assurer de la forme d'onde appropriée. De plus, la température ambiante et l'humidité relative doivent être enregistrées.

10 Précautions et entretien de l'appareillage d'essai

10.1 Reconditionnement de surface

Essuyer la face de chaque capteur immédiatement après chaque essai, tandis qu'il est chaud, pour enlever tous les produits de décomposition qui se condensent et sont susceptibles d'être une source d'erreur future. Si un dépôt se forme et s'il s'avère être plus épais qu'une couche mince de peinture, ou est irrégulier, la surface du capteur nécessite un reconditionnement. Nettoyer soigneusement le capteur refroidi avec de l'acétone ou du solvant de pétrole, en s'assurant de suivre des pratiques de manipulation en toute sécurité. Repeindre la surface avec une couche mince de la même peinture qu'en 6.7. Utiliser la même peinture sur tous les capteurs et s'assurer que la peinture est sèche avant de passer à l'essai suivant. Un étalonnage doit être réalisé suite à chaque reconditionnement des capteurs.

10.2 Entretien des panneaux de capteurs et des mannequins

Les panneaux de capteurs et les mannequins doivent être maintenus dans un état sec. Pour les essais à l'extérieur, les panneaux de capteurs, les mannequins et les capteurs de surveillance doivent être couverts au cours de longues périodes entre les essais pour prévenir une augmentation excessive de la température résultant d'une exposition au soleil. Étant donné la nature destructive de l'arc électrique, ils doivent être recouverts de la même peinture que les capteurs. Leur revêtement doit être renouvelé périodiquement pour réduire la détérioration.

10.3 Entretien des électrodes

Avant chaque tirage d'arc, l'espace inter-électrode doit être maintenu tel que requis. Les électrodes doivent être remplacées lorsqu'il est devenu impossible de maintenir l'espace requis (électrodes trop courtes).

11 Procédures d'essai

11.1 Paramètres d'essai

Afin de déterminer la caractéristique d'arc d'un matériau ou d'un système de matériaux, que ce soit son ATPV ou son E_{BT} , les paramètres d'essai doivent être un courant d'arc de $8 \text{ kA} \pm 1 \text{ kA}$, un espace inter-électrode de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$, des électrodes en acier inoxydable, et une distance de $300 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ entre la ligne centrale d'arc et la surface de l'éprouvette d'essai. La durée de l'arc doit être variée afin de produire une plage d'énergies incidentes, laquelle doit répondre aux critères du 11.2.3.

11.2 Séquence des essais

11.2.1 Panneaux

Chaque essai doit être constitué au minimum de trois éprouvettes du même matériau, une pour chacun des trois panneaux à deux capteurs. Pour évaluer une éprouvette unique d'un matériau, une série du nombre minimum d'essais nécessaires pour obtenir 20 expositions d'éprouvette doit être réalisée sur une plage d'énergies incidentes.

11.2.2 Mannequins

Chaque essai doit être constitué au minimum d'une à trois éprouvettes du même article d'habillement ou du même vêtement, pour chacun des un à trois mannequins. Pour évaluer une éprouvette unique d'un article d'habillement ou d'un vêtement, des essais doivent être réalisés à la caractéristique d'arc du matériau ou du système de matériaux utilisé dans l'article d'habillement ou dans le vêtement.

11.2.3 Critères d'essais

L'énergie incidente mesurée (valeur moyenne des deux capteurs de surveillance respectifs) sur au moins 15 % des panneaux à deux capteurs exposés doit produire des valeurs qui dépassent toujours le critère de la courbe de Stoll pour prédire une blessure liée à une brûlure du second degré (tel que déterminé par 12.1.3). En d'autres termes, des valeurs dans cette plage d'énergies dépassent toujours le critère de Stoll.

L'énergie incidente mesurée (valeur moyenne des deux capteurs de surveillance respectifs) sur au moins 15 % des panneaux à deux capteurs exposés doit produire des valeurs qui ne dépassent jamais le critère de la courbe de Stoll pour prédire une blessure liée à une brûlure du second degré (tel que déterminé par 12.1.3). En d'autres termes, des valeurs dans cette plage d'énergies ne dépassent jamais le critère de Stoll.

L'énergie incidente mesurée (valeur moyenne des deux capteurs de surveillance respectifs) sur au moins 50 % des panneaux à deux capteurs exposés doit produire des valeurs qui sont approximativement également distribuées à l'intérieur de $\pm 20 \%$ de l'ATPV finale (telle que déterminée par 12.1.3.4 – voir la note ci-dessous). Les valeurs dans cette plage d'énergies sont typiquement dans la zone mixte – il y a des valeurs qui dépassent et des valeurs qui ne dépassent pas le critère de Stoll.

Tous les points de données sont bons, à moins que la température d'un calorimètre de cuivre ne dépasse 400 °C pour le capteur de surveillance décrit en 6.3, qu'il y ait un fonctionnement incorrect de l'appareillage d'essai ou d'acquisition des données, ou que le montage d'éprouvette soit en défaut.

Si pour quelques raisons que ce soit, plus d'essais que le nombre minimal sont réalisés, tous les bons points de données doivent être utilisés (voir la note ci-dessous).

Les points de données provenant d'éprouvettes montrant une éventration ou une inflammation en sous-couche (systèmes multi couches) sont bons pour la détermination de l'ATPV.

Une réponse à l'éventration doit être déterminée, lorsque deux ou plus de deux éventrations sont notées à des énergies incidentes inférieures à une valeur 20 % au-dessus de la détermination de l'ATPV. Dans ce cas, il est possible que pour évaluer la réponse à l'éventration, plus de sept essais soient requis (au-dessus ou en dessous du critère de la courbe de Stoll, voir 12.2 pour le traitement de l'éventration).

NOTE Un procédé itératif sera nécessaire pour atteindre l'exigence qui demande à ce que 50 % des points de données soient à 20 % près de l'ATPV des systèmes de matériau. Une fois les deux premières expositions à l'arc complétées (six panneaux), et en supposant que les réponses sont au-dessus et en dessous du critère de la courbe de Stoll, il est possible de déterminer une valeur estimée de l'ATPV. En utilisant cette estimation, les essais qui restent peuvent être choisis de façon à ce que 50 % des données des panneaux de capteurs se trouvent à 20 % près de l'ATPV; par exemple, si la valeur approximative de l'ATPV est $27,2 \text{ J/cm}^2$ ($6,5 \text{ cal/cm}^2$), les paramètres d'essai sont choisis de façon à ce que les énergies incidentes sur les trois panneaux soient dans la plage de $21,8 \text{ J/cm}^2$ à $32,7 \text{ J/cm}^2$ ($5,2 \text{ cal/cm}^2$ à $7,8 \text{ cal/cm}^2$). Tout au long du déroulement des essais successifs, la précision de l'estimation de l'ATPV s'améliorera de telle sorte que la plage cible d'énergie incidente de l'ATPV $\pm 20\%$ pourra être établie plus précisément. Le but est d'avoir obtenu les 50 % de données exigées à 20 % près de l'ATPV avant de compléter les 20 points de données. En supposant que tous les points de données sont bons, ceci signifie en général que 11 des 21 points de données demanderaient à avoir des valeurs d'énergie incidente à 20 % près de l'ATPV. Dans l'exemple ci-dessus, et pour un matériau ayant une ATPV de $27,2 \text{ J/cm}^2$ ($6,5 \text{ cal/cm}^2$), 11 des points de données demanderaient à avoir des valeurs d'énergie incidente dans la plage de $21,8 \text{ J/cm}^2$ à $32,7 \text{ J/cm}^2$ ($5,2 \text{ cal/cm}^2$ à $7,8 \text{ cal/cm}^2$). Si moins de 11 points de données se retrouvent dans cette plage, des essais supplémentaires seront nécessaires jusqu'à ce que 50 % de tous les points de données aient des valeurs d'énergie incidente à 20 % près de l'ATPV. Il est possible d'utiliser la régression linéaire des moindres carrés de la différence maximale entre la moyenne mesurée de la réponse d'énergie thermique des panneaux de capteurs et la réponse de Stoll correspondante (valeur indépendante), et la moyenne mesurée de l'énergie incidente de chaque capteur (variable dépendante), pour servir de guide au choix des énergies incidentes d'exposition convenables. L'intersection avec l'axe des y est le résultat approximatif de l'ATPV.

11.3 Température initiale

Régler la température des capteurs comprise entre 25 °C et 35 °C.

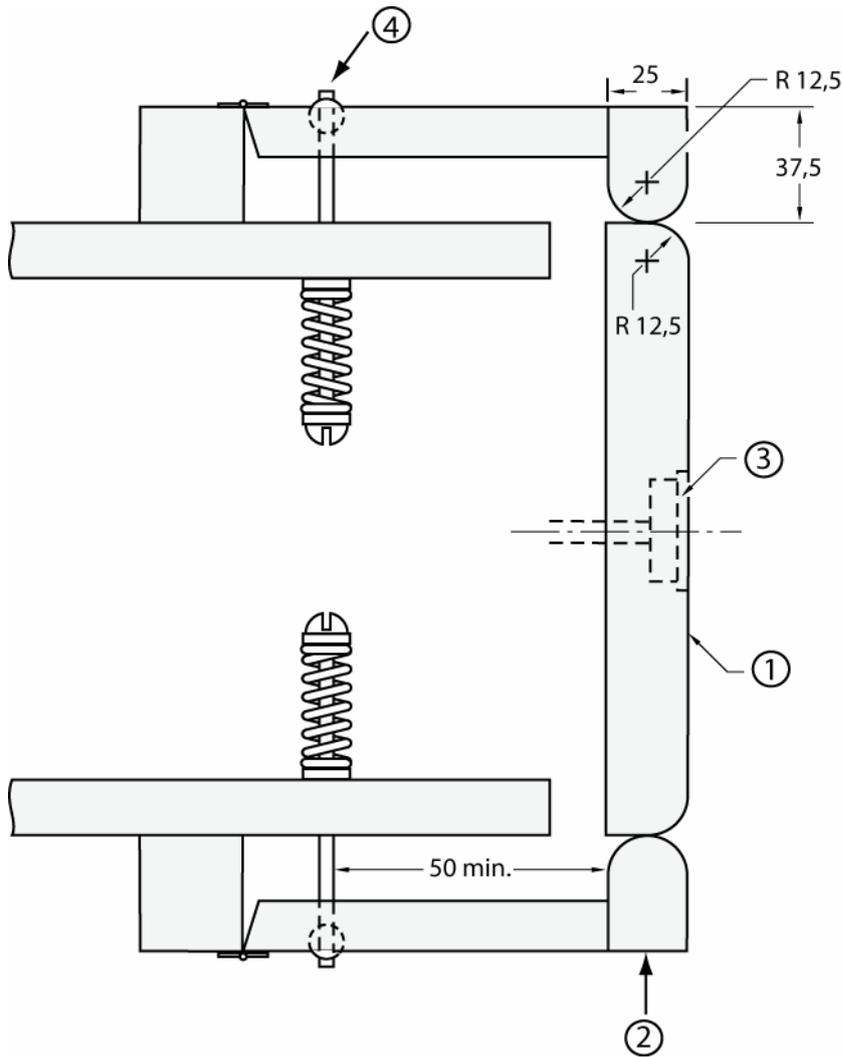
Procéder au refroidissement des capteurs après exposition à l'aide d'un jet d'air ou par contact avec une surface froide. Confirmer le fait que les capteurs sont à une température comprise entre 25 °C et 35 °C.

11.4 Montage de l'éprouvette

11.4.1 Panneaux de la méthode A

L'éprouvette doit être fixée au panneau de capteurs sans extension du matériau et d'une manière qui permette à l'éprouvette de rétrécir pendant l'exposition à l'arc. On y parvient à l'aide d'un système de serrage du matériau (voir Figure 10). Le système de serrage, comprenant quatre brides de fixation, maintient l'éprouvette sur le panneau de capteurs 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 au panneau. D'autres moyens de montage qui répondent à ces objectifs peuvent aussi être utilisés. Si des éprouvettes à couches multiples sont utilisées, elles doivent être montées de manière à représenter une pose normale de couches du vêtement.

Dimensions en millimètres



IEC 812/09

Légende

- | | | | |
|---|--|---|----------------------------------|
| 1 | Panneau | 3 | Calorimètre |
| 2 | Force de serrage de 4,4 N à 6,7 N par pince de serrage | 4 | Ensemble type de pince à ressort |

NOTE Placer une pince sur chaque bord du panneau. Quatre pinces par panneau sont nécessaires.

Figure 10 – Ensemble type de fixation du matériau

11.4.2 Mannequins de la méthode B

Les éprouvettes doivent être montées de manière à représenter la pose normale des couches du vêtement. Le mannequin doit porter une éprouvette d'essai avec tous ses articles de fermeture attachés. Une masse de 1 500 g de la forme d'un demi-cercle doit être fixée à l'ourlet inférieur de l'éprouvette à l'aide de cinq agrafes sur la masse en demi-cercle. L'éprouvette doit être lissée sur la partie avant du mannequin et le matériau en excès doit être rassemblé derrière le mannequin. Les bras doivent pendre sur les côtés du mannequin et ne doivent pas avancer plus près vers l'arc que la surface du thorax.

11.5 Caractéristiques des éprouvettes

Consigner les données d'éprouvette, y compris

- le numéro d'identification;

- l'ordre de pose en énumérant d'abord la couche extérieure;
- le poids au moment de l'essai;
- le poids spécifié par le fabricant;
- le type de matériau (information du fabricant);
- le type de tissage/maille;
- la couleur;
- le nombre d'éprouvettes soumises à l'essai.

11.6 Protocole d'essai

Monter le fil fusible sur les électrodes.

Prendre toutes les précautions de sécurité et s'assurer que toutes les personnes se trouvent dans un lieu sûr.

Exposer les éprouvettes d'essai à l'arc électrique.

Interrompre l'alimentation électrique, ventiler l'aire d'essai à l'issue de la période d'acquisition des données et appliquer les terres de protection (voir Article 7).

Après l'acquisition des données, éteindre toutes les flammes ou les feux, sauf si on a déterminé à l'avance de les laisser s'éteindre d'eux-mêmes ou de laisser brûler l'éprouvette jusqu'à ce qu'elle soit consumée.

Enregistrer les données thermiques et électriques et la réponse du matériau comme prescrit à l'Article 13.

Inspecter et reconditionner les capteurs, si nécessaire, et régler les électrodes à la position et l'intervalle appropriés.

12 Interprétation des résultats

12.1 Transfert de chaleur

12.1.1 Détermination du temps zéro

Étant donné le bruit électrique typiquement associé à la réalisation d'essais de ce type, il est difficile d'obtenir un signal de déclenchement fiable à l'amorçage de l'arc. L'instant d'amorçage de l'arc peut être déterminé de façon fiable en traçant la réponse des capteurs de surveillance.

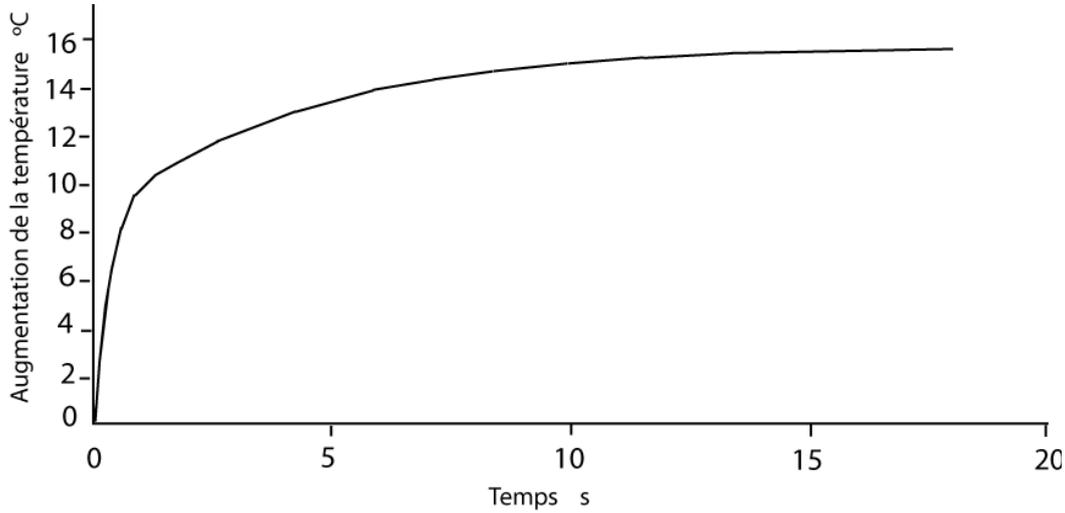
NOTE D'autres méthodes satisfaisantes sont disponibles pour la détermination de l'instant zéro et peuvent être utilisées si leur complète équivalence est au préalable validée par l'utilisateur.

12.1.2 Tracé de la réponse du capteur

12.1.2.1 Généralités

Une fois déterminé l'instant d'amorçage, on peut établir une moyenne des données rassemblées jusqu'à l'instant d'amorçage pour obtenir une ligne de référence pour chaque courbe de capteur. La ligne de référence de chaque courbe individuelle est ensuite soustraite de chacun des points de données pour produire une courbe d'augmentation de la température basée sur zéro. En ayant déterminé l'instant d'amorçage et en connaissant le temps d'échantillonnage, la courbe de l'augmentation de température peut être tracée à l'aide de

l'échelle de temps correcte (voir les Equations (1) à (4) et la Figure 11). Ces procédures peuvent être aisément automatisées dans un tableur.



IEC 813/09

Figure 11 – Courbe type de l'augmentation de la température en fonction de l'échelle de temps et correction de la ligne de référence

12.1.2.2 Correction en température pour la capacité thermique du cuivre

À la température initiale, la capacité thermique de chaque calorimètre de cuivre en J/g °C (ou cal/g K) est calculée en utilisant

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

où

- T* est (température mesurée °C + 273,15) / 1 000;
- A* = 17,728 91;
- B* = 28,098 70;
- C* = -31,252 89;
- D* = 13,972 43;
- E* = 0,068 611.

et 63,546 est le poids moléculaire du cuivre, en g.

NOTE Aux températures comprises entre 289 K et 1 358 K, la capacité thermique du cuivre en J/g °C est déterminée par l'Equation (1) (équation de Shomate avec des coefficients provenant du National Institute of Standards and Technology, NIST). La valeur en cal/g °C peut être obtenue en divisant le résultat de l'Equation (1) par 4,186 8 J/cal.

12.1.2.3 Capacité thermique du cuivre

La capacité thermique du cuivre est déterminée à chaque intervalle de temps et pour tous les calorimètres de cuivre (capteurs de surveillance et capteurs de panneau ou de mannequin). Ceci est obtenu en calculant pour chaque capteur une capacité thermique moyenne à partir de la capacité thermique initiale déterminée en 12.1.2.2, et la température mesurée pour l'intervalle de temps.

$$\bar{C}_p = \frac{C_p(T_{\text{initiale}}) + C_p(T_{\text{finale}})}{2} \tag{2}$$

12.1.2.4 Énergie incidente totale

L'énergie incidente totale à chaque intervalle de temps est déterminée en J/cm² (cal/cm²) en utilisant la relation suivante

$$Q = \frac{\text{masse} \times \bar{C}_p \times (T_{\text{finale}} - T_{\text{initiale}})}{\text{surface}} \quad (3)$$

où

Q	est l'énergie thermique en J/cm ² (cal/cm ²);
<i>masse</i>	est la masse du disque de cuivre en g;
\bar{C}_p	est la capacité thermique moyenne du cuivre pendant l'augmentation de température en J/g °C (cal/g °C);
T_{finale}	est la température finale du disque de cuivre au temps _{final} en °C;
T_{initiale}	est la température initiale du disque de cuivre au temps _{initial} en °C;
<i>surface</i>	est la surface exposée du disque de cuivre en cm ² .

12.1.2.5 Exemple de calcul de l'énergie thermique totale

Pour un disque de cuivre ayant une masse de 18,0 g et une surface exposée de 12,57 cm², la détermination de l'énergie thermique se limite à:

$$Q = 1,432 \times \bar{C}_p \times (T_{\text{finale}} - T_{\text{initiale}}) \quad (4)$$

Lorsqu'un calorimètre utilise un disque de cuivre avec une masse et/ou une surface exposée différente, le facteur constant de l'Equation (4) ci-dessus doit être ajusté en conséquence.

12.1.3 Réponse du capteur par rapport à la courbe de Stoll

12.1.3.1 Généralités

La courbe de Stoll est définie par les valeurs du Tableau 1. Superposer la courbe de Stoll au tracé des réponses du capteur, en prenant soin d'utiliser les mêmes unités d'échelle. Créer un fichier de données qui interpole entre les points de données de la courbe de Stoll du Tableau 1 de sorte que les données de la courbe de Stoll soient disponibles à chaque intervalle de temps auquel sont consignées les données d'augmentation de la température.

Tableau 1 – Tolérance des tissus humains à la chaleur et aux brûlures du second degré [1]

Durée jusqu'à la température de crête delta s	Flux thermique kW/m ²	Énergie incidente kJ/m ²	Thermocouple constantan/fer équivalent au calorimètre	
			ΔT °C	ΔmV
1	50	50	8,9	0,46
2	31	61	10,8	0,57
3	23	69	12,2	0,63
4	19	75	13,3	0,69
5	16	80	14,1	0,72
6	14	85	15,1	0,78
7	13	88	15,5	0,80
8	11,5	92	16,2	0,83
9	10,6	95	16,8	0,86
10	9,8	98	17,3	0,89
11	9,2	101	17,8	0,92
12	8,6	103	18,2	0,94
13	8,1	106	18,7	0,97
14	7,7	108	19,1	0,99
15	7,4	111	19,7	1,02
16	7,0	113	19,8	1,03
17	6,7	114	20,2	1,04
18	6,4	116	20,6	1,06
19	6,2	118	20,8	1,08
20	6,0	120	21,2	1,10
25	5,1	128	22,6	1,17
30	4,5	134	23,8	1,23

12.1.3.2 Équations de la courbe de Stoll

Il est aussi possible de générer la courbe de Stoll en utilisant l'Equation (5) qui est obtenue des données du Tableau 1 et dans laquelle t_i est le temps de détermination de l'énergie thermique, en secondes, et le temps écoulé depuis le début de l'exposition à l'arc. Une blessure par brûlure du second degré de la peau est prédite si la réponse d'énergie thermique d'un capteur dépasse la réponse de Stoll (au temps t_i).

La réponse de Stoll peut être exprimée en J/cm² via:

$$\text{Réponse de Stoll, J/cm}^2 = 5,020\ 4 \times t_i^{0,290\ 1} \tag{5}$$

NOTE La réponse de Stoll en cal/cm² = 1,199 1 × $t_i^{0,290\ 1}$

A partir des données d'augmentation de la température pour les deux capteurs sur chaque panneau ou les quatre capteurs sur chaque mannequin, créer une courbe de l'augmentation de température moyenne (rT_{avg}). Comparer cette courbe, rT_{avg} pour chaque panneau ou chaque mannequin à la courbe de Stoll.

Pour les courbes de rT_{avg} qui sont supérieures à la courbe de Stoll, consigner une valeur de 1. Pour les courbes de rT_{avg} qui sont inférieures à la courbe de Stoll, consigner une valeur de 0.

12.1.3.3 Réponses du capteur de surveillance de l'énergie incidente (E_i)

Calculer la valeur moyenne des capteurs de surveillance afin de déterminer l'énergie incidente moyenne respectivement pour chaque panneau ou mannequin. Pendant la période d'acquisition de données, enregistrer la valeur maximale d'énergie thermique, obtenue de la moyenne de la paire de capteurs de surveillance de chaque panneau ou mannequin. Les valeurs maximales résultantes sont les énergies thermiques incidentes, E_i , reçues par chaque panneau respectif ou mannequin.

12.1.3.4 Valeurs de performance thermique de l'arc (ATPV)

Détermination des valeurs de performance thermique de l'arc (ATPV) — Pour calculer une ATPV, utiliser au minimum 20 réponses mesurées sur panneau (voir 11.2). Si lors d'une séquence d'essais d'exposition, plus de 20 points sont recueillis, tous les bons résultats doivent être utilisés pour déterminer l'ATPV.

Réaliser une régression logistique nominale sur les données d'essai résultantes. La réponse maximale du capteur de surveillance de l'énergie incidente moyenne est utilisée comme variable continue, X pour chaque panneau. La réponse nominale binaire correspondante Y est la réponse moyenne de capteur de panneau, dépassant = 1/ne dépassant pas = 0, le critère de Stoll (obtenu de 12.1.3.2). Voir l'Annexe B pour une discussion de la technique de régression logistique.

Utiliser les valeurs de pente et d'intersection déterminées par la régression logistique pour calculer (prédiction inverse) la valeur de probabilité 50 % de dépasser le critère de la courbe de Stoll. Ceci donne l'ATPV, ou la valeur d'énergie incidente qui croiserait exactement le critère de la courbe de Stoll. La valeur est ainsi déterminée:

$$ATPV = \left| \frac{\text{intersection}}{\text{pente}} \right| \quad (6)$$

12.1.4 Détermination du facteur d'atténuation de la chaleur (HAF)

12.1.4.1 Généralités

Déterminer la réponse maximale d'énergie thermique moyenne pour chacun des panneaux à partir des courbes générées en 12.1.2, et diviser ces réponses respectivement par leurs réponses maximales de capteurs de surveillance d'énergie incidente moyenne obtenues de 12.1.3.3. Identifier chacune de ces réponses comme étant $E_{transmise}$ (fraction de l'énergie incidente transmise à travers l'éprouvette) pour chaque panneau.

12.1.4.2 Calcul d'un point de donnée HAF (haf)

Un point de donnée HAF (haf) pour chaque panneau est calculé selon la formule suivante:

$$haf = 100 \times (1 - E_{transmise}) \quad (7)$$

12.1.4.3 Calcul du facteur HAF

Le facteur HAF est alors déterminé en calculant la moyenne de toutes les valeurs haf. Un minimum de 20 points de données représentant 20 panneaux doivent être utilisés.

Calculer l'écart-type de tous les points (*Std*), l'erreur type de la moyenne (obtenue par le rapport de l'écart-type sur la racine carrée du nombre de panneaux utilisés), et l'intervalle de confiance 95 % en utilisant:

$$\text{Limite de confiance supérieure} = \text{valeur HAF} + \frac{t_{95 \%} \times \text{Std}}{\sqrt{N}} \quad (8)$$

$$\text{Limite de confiance inférieure} = \text{valeur HAF} - \frac{t_{95 \%} \times \text{Std}}{\sqrt{N}} \quad (9)$$

où $t_{95 \%}$ est la valeur de l'intervalle de confiance 95 % de la distribution *t* de Student's pour $N-1$ degrés de liberté et N est le nombre de valeurs de panneau utilisées (pour $N = 20$, $t_{95 \%} = 2,093$).

Se référer à l'Annexe C pour des explications et une revue des méthodes et des formules servant à déterminer le HAF.

12.2 Détermination du seuil d'énergie d'éventration, E_{BT50}

La réponse de l'énergie d'éventration est évaluée d'une façon similaire à la détermination de l'ATPV. Ceci est réalisé en utilisant les informations sur l'éventration du matériau (voir 3.1.8) en association avec l'énergie incidente E_i , déterminée en 12.1.3.3. Les réponses à l'éventration du matériau doivent être distribuées de telle façon qu'environ 15 % des panneaux qui reçoivent des valeurs d'énergie incidente plus faibles n'exhibent pas d'éventration, environ 15 % des panneaux qui reçoivent des valeurs d'énergie incidente plus élevées exhibent toujours une éventration et qu'environ 50 % à 70 % des panneaux ont des valeurs d'énergie incidente exhibant une performance mixte (parfois l'éventration se produit, parfois non). S'il n'y a pas suffisamment de données dans ces plages, réaliser des essais supplémentaires dans la plage appropriée d'énergies incidentes et consigner la réponse du matériau.

Il est possible d'utiliser la technique suivante pour déterminer la réponse à l'éventration de systèmes de matériaux quelle que soit l'énergie incidente résultante et sa relation avec la courbe de Stoll ou la détermination de l'ATPV. Ceci peut s'avérer utile pour déterminer la réponse à l'éventration d'un matériau dans des systèmes multi-couches.

Consigner une valeur de 1 pour chaque panneau qui exhibe une éventration, et une valeur de 0 pour ceux qui ne le font pas.

Réaliser une régression logistique nominale sur les données d'essai résultantes. La réponse maximale d'un capteur de surveillance d'énergie incidente moyenne est utilisée comme variable continue, X . La réponse nominale binaire correspondante Y est la réponse du matériau à l'éventration, éventration = 1/pas d'éventration = 0.

Utiliser les valeurs de pente et d'intersection déterminées par la régression logistique pour calculer (prédiction inverse) la valeur de probabilité 50 % d'éventration du matériau. Ceci donne la valeur E_{BT50} , ou la valeur d'énergie incidente qui prédirait exactement l'éventration. La valeur est ainsi déterminée,

$$E_{BT50} = \left| \frac{\text{intersection}}{\text{pente}} \right| \quad (10)$$

12.3 Caractéristique d'arc

Si une valeur E_{BT50} est déterminée et se trouve au-dessus de l'ATPV déterminée (en supposant que l'ATPV puisse être déterminée), alors on doit faire rapport du résultat de l'ATPV comme étant la caractéristique d'arc du système soumis à l'essai.

Si une valeur E_{BT50} est déterminée et se trouve égale ou au-dessous de l'ATPV déterminée (en supposant que l'ATPV puisse être déterminée), alors on doit faire rapport de la valeur E_{BT50} comme étant la caractéristique d'arc du système soumis à l'essai et on doit la consigner dans le rapport d'essai.

Si l'ATPV ne peut être déterminée due à une éventration, réaliser suffisamment d'essais supplémentaires tel qu'identifié en 12.2, pour permettre la détermination de la valeur E_{BT50} . Faire rapport de la valeur résultante E_{BT50} comme étant la caractéristique d'arc et la consigner dans le rapport d'essai.

12.4 Examen visuel

Observer l'effet de l'exposition sur les éprouvettes de tissus ou de vêtements et, après refroidissement des éprouvettes exposées, enlever avec précaution le tissu et d'autres couches du panneau ou le vêtement des mannequins en notant tous effets supplémentaires de l'exposition. La description peut en être faite par un ou plusieurs des termes suivants définis à l'Article 3:

- l'éventration;
- la fusion;
- l'égouttement;
- la carbonisation;
- la fragilisation;
- le rétrécissement;
- le temps de combustion;
- l'inflammation;
- le fonctionnement des articles de fermeture et autres accessoires de l'article d'habillement.

13 Rapport d'essai

Indiquer que l'essai a été réalisé selon la présente méthode d'essai, et consigner la méthode utilisée (méthode A pour les matériaux ou les systèmes de matériaux et/ou méthode B pour les articles d'habillement ou les vêtements) en complément des informations suivantes:

- a) le nom de l'institut d'essai;
- b) la date de l'essai;
- c) nom du fabricant;
- d) le code du matériau ou de l'article d'habillement;
- e) le numéro de la norme d'essai utilisée;
- f) la méthode utilisée (méthode A ou méthode B);
- g) les données de montage de l'éprouvette, selon les indications de 11.4;
- h) les données de l'éprouvette, selon les indications de 11.5;
- i) les conditions de chaque essai, y compris
 - 1) le numéro d'essai,
 - 2) le courant d'arc efficace,
 - 3) le courant d'arc de crête,
 - 4) l'intervalle d'arc,
 - 5) la durée d'arc,
 - 6) l'énergie d'arc,

- 7) le tracé du courant d'arc;
- j) les données d'essai comprenant
 - 1) le numéro d'essai,
 - 2) l'éprouvette ou les éprouvettes,
 - 3) l'ordre des couches,
 - 4) la distance de la ligne centrale d'arc à la surface du mannequin ou du panneau,
 - 5) l'examen visuel tel qu'il est exposé en 12.4,
 - 6) le tracé de la réponse des deux capteurs de surveillance et des deux capteurs de panneaux pour chaque essai de panneau, ou des quatre capteurs de mannequin pour chaque essai de mannequin,
 - 7) le tracé de la réponse moyenne des deux capteurs de panneau et des deux capteurs de surveillance pour chaque panneau d'essai (méthode A), ou la réponse moyenne des quatre capteurs de mannequin et des deux capteurs de surveillance pour chaque essai de mannequin (méthode B),
 - 8) le tracé de la distribution d'énergie incidente E_i (nu) à partir de l'analyse d'un tir à blanc (sans la présence de l'éprouvette d'essai),
 - 9) photographies de l'éprouvette avant et après essai, et dans le cas d'un essai avec panneau (méthode A),
 - 10) l'ATPV et les intervalles de confiance à 95 % de l'ATPV, et, lorsque déterminé, E_{BT50} et les intervalles de confiance de E_{BT50}
 - 11) le tracé de $r_{Stoll,avg}$ sur E_i ,
 - 12) l'HAF et les intervalles de confiance à 95 % de l'HAF,
 - 13) le tracé du HAF sur E_i .

Consigner toutes les anomalies concernant l'appareillage d'essai.

Si des électrodes alternatives sont utilisées, consigner leur taille et leur type.

Restituer les éprouvettes soumises à l'exposition, les tracés, les données d'essai et les éprouvettes inutilisées à la personne demandant l'essai, conformément à toute disposition préalable. Toutes les éprouvettes d'essai doivent porter un marquage avec la mention du numéro d'essai, de la date, etc.

Annexe A (normative)

Mesure de la longueur de carbonisation

Cet essai repose sur l'Annexe C de l'ISO 15025.

Une éprouvette bordée, faite du matériau ou du système de matériaux à être soumis à l'essai selon la méthode B de l'ISO 15025, doit être préparée selon la confection du vêtement.

La longueur de carbonisation doit être mesurée de la façon suivante.

La longueur de carbonisation doit être déterminée en mesurant la longueur de la déchirure sur la partie centrale de la surface carbonisée.

- L'éprouvette doit être repliée dans le sens de la longueur et pliée à la main, le long d'une ligne au niveau de la pointe extrême de la zone carbonisée.
- Un crochet en fil d'acier, d'une longueur de fil de 76 mm et plié à 13 mm de l'une des extrémités pour former un crochet de 45° doit être inséré dans l'éprouvette (ou un trou d'un diamètre inférieur ou égal à 6 mm, percé pour le crochet) sur l'un des côtés de la zone carbonisée, à 6 mm du bord extérieur adjacent et à 60 mm de l'extrémité inférieure.
- Un poids d'une masse suffisante est requis de telle façon que la masse combinée du poids et du crochet soit égale à la charge de déchirement totale tel que prescrit au Tableau A.1. La charge totale de déchirement servant à déterminer la longueur de carbonisation doit être basée sur la masse de l'éprouvette en essai et doit être déterminée à partir du Tableau A.1.

Tableau A.1 – Charge totale de déchirement

Masse de matériau de l'éprouvette d'essai g/m ²	Charge totale de déchirement pour déterminer la longueur de carbonisation kg
50 à 200	0,1
plus que 200 à 500	0,2
plus que 500 à 800	0,3
supérieur à 800	0,45

- Une charge de déchirement doit être appliquée légèrement à l'éprouvette d'essai en saisissant l'angle de l'éprouvette au niveau du bord opposé du résidu carbonisé à la charge et en soulevant l'éprouvette et le poids à distance de la surface d'appui. L'extrémité de la déchirure doit être inscrite sur le bord et la mesure de la longueur de carbonisation doit être réalisée le long du bord non endommagé.

Annexe B (informative)

Technique de régression logistique

La régression logistique binomiale est une forme de régression utilisée lorsque la variable dépendante est limitée à deux états (dichotomie) et la variable indépendante est continue (elle peut aussi s'appliquer aux variables indépendantes continues multiples). La technique de régression logistique met en pratique l'estimation de vraisemblance maximale suite à la transformation de la variable dépendante en une variable de probabilité, c'est-à-dire le logarithme naturel des chances d'occurrence ou non de la variable dépendante. Elle génère ainsi une estimation de la probabilité d'occurrence d'un certain événement en solutionnant l'équation suivante:

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

ou

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

où

- ln est le logarithme naturel;
- p et la probabilité d'occurrence de l'événement Y , p ($Y=1$);
- $p/(1-p)$ = rapport de chances; $(1-p)$ est la probabilité de non-occurrence de l'événement Y et,
- $\ln [p/(1 - p)]$ = log rapport de chances.

NOTE Le côté droit de l'équation est la forme type de la régression linéaire.

Le modèle de régression logistique est simplement une transformation non-linéaire du modèle de régression linéaire. La distribution logistique est une fonction de distribution en S qui est quelque peu semblable à la distribution normale type. Les probabilités estimées de la distribution logit se trouvent entre 0 et 1. Ceci peut s'observer en réorganisant l'équation ci-dessus et en la solutionnant pour p :

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

ou

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

Si $(a+bx)$ devient gros, p se rapproche de 1, lorsque $(a+bx)$ devient petit, p se rapproche de 0, et lorsque $(a+bx) = 0$, $p = 0,5$ (la valeur utilisée pour l'ATPV et pour E_{BT50} dans cette méthode). La valeur de probabilité 50 % est le point où la probabilité d'occurrence/non-occurrence est la même et elle représenterait, dans la mesure de l'ATPV, le point auquel on croise exactement la courbe de Stoll.

La technique d'analyse ne pose aucune hypothèse concernant la linéarité de la relation entre les variables indépendante et dépendante, n'exige pas que les variables aient une distribution normale, ne suppose pas que les termes d'erreur sont homoscedastiques (la variance de la variable dépendante est la même pour différentes valeurs de la variable indépendante – un critère pour la régression ordinaire des moindres carrés), et a généralement des exigences moins rigoureuses.

Pour réaliser les opérations, une variable fictive de 1 ou 0 est utilisée pour représenter un état précis de l'élément dépendant mesuré. Dans le cadre de l'exemple ATPV ci-dessus, le codage de la variable dépendante correspond à:

$Y = 1$ si la réponse thermique du calorimètre a dépassé la courbe de Stoll,

$Y = 0$ si la réponse thermique du calorimètre n'a pas dépassé la courbe de Stoll.

Dans ce cas, la variable continue indépendante est l'énergie incidente provenant de l'exposition à l'arc thermique.

Il existe plusieurs progiciels commerciaux gratuits qui peuvent être utilisés pour réaliser cette analyse.

Une régression logistique est réalisée à partir d'un groupe de mesures et les valeurs de a et b sont déterminées (en plus d'une foule d'autres caractéristiques descriptives – voir la littérature s'appliquant précisément au progiciel utilisé). Le critère de Stoll (ou la réponse à l'éventration) est alors déterminé en calculant x à la valeur de probabilité $p = 0,5$ ou 50 %, qui, selon ce qui est établi ci-dessus correspond simplement à $(a+bx) = 0$ ou:

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

On utilise ici la valeur absolue car certains progiciels expriment leur modèle de calcul de façon inverse (p = la probabilité de non-occurrence, etc.), ce qui retourne sur elle-même la distribution en S. Ceci peut faire apparaître un signe négatif sur la valeur de a ou de b , même si la valeur au point de probabilité 50 % est le même.

Annexe C
(informative)

Facteur d'atténuation de la chaleur

Le facteur d'atténuation de la chaleur (HAF) est une mesure de la quantité de chaleur non transmise à travers une pièce de matériau. Si le matériau ne change pas d'état physique pour toute énergie incidente dans le jeu de données, alors il convient que le facteur d'atténuation de la chaleur soit une constante. Si le HAF est une constante alors un graphique de HAF en fonction de l'énergie incidente est une ligne droite de pente zéro. La discussion suivante suppose que les valeurs de HAF représentent un échantillon d'une distribution normale.

La valeur réelle du HAF est inconnue. La meilleure estimation du HAF est la moyenne de toutes les valeurs, indépendamment de la valeur d'ATPV. La distribution des valeurs HAF autour de la moyenne peut être caractérisée par le calcul de l'écart-type par rapport à l'ensemble de données. Puis, l'intervalle de confiance à 95 % du HAF peut être déterminé en utilisant la distribution *t*. Dans les équations suivantes, \bar{x} est la moyenne des *n* valeurs d'échantillons de E_t , *s* est l'écart-type d'échantillon, *T* est la statistique d'échantillon pour la moyenne réelle μ et *a* est la valeur provenant de la distribution *t* pour *n*-1 degrés de liberté.

$$s^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1} \tag{C.1}$$

$$T = \sqrt{n}(\bar{x} - \mu) / s \tag{C.2}$$

$$P(-a < T < a) = 0,95 \tag{C.3}$$

$$\bar{x} - \frac{sa}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + \frac{sa}{\sqrt{n}} \tag{C.4}$$

L'Equation (C.4) est une indication des limites de confiance pour la valeur réelle d'HAF en termes de moyenne d'échantillon et d'écart-type d'échantillon. Par exemple, pour 20 échantillons, il existe 19 degrés de liberté et *a* vaut 2,093. (A noter que lorsque le nombre de degrés de liberté augmente, la valeur limite de *a* est 1,96, la même que dans le cas où l'écart-type de la population est connu. A noter aussi que la probabilité utilisée pour HAF 95 % est bilatérale, tandis que la probabilité pour ATPV 95 % est effectivement unilatérale uniquement.) [3]

Bibliographie

- [1] STOLL, A.M. and CHIANTA, M.A. Method and Rating System for Evaluation of Thermal Protection. *Aerospace Medicine*, 1969, Vol. 40, pp. 1232-1238 (uniquement disponible en anglais)
 - [2] 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 (uniquement disponible en anglais)
 - [3] MORRISON, Hugh D., PhD, *Ontario Power Technologies*, 3 décembre 1999
 - [4] CEI 60050-121:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 121: Electromagnétisme*
 - [5] ISO 5077:2007, *Textiles – Détermination des variations dimensionnelles au lavage et au séchage domestiques*
 - [6] ISO 13688:1998, *Vêtements de protection – Exigences générales.*
 - [7] ASTM D-123, *Standard terminology relating to textiles.* (uniquement disponible en anglais)
 - [8] ASTM D-4391, *Standard terminology relating to the burning behavior of textiles.* (uniquement disponible en anglais)
 - [9] CEI 61482-1-2, *Travaux sous tension – Vêtements de protection contre les dangers thermiques d'un arc électrique – Partie 1-2: Méthodes d'essai – Méthode 2 – Détermination de la classe de protection contre l'arc de matériaux et de vêtements au moyen d'un arc dirigé et contraint (enceinte d'essai)*
-

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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