

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules –
Part 5-1: Edge seals – Suggested test methods for use with edge seal materials**

**Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules
photovoltaïques –**

**Partie 5-1: Joints d'étanchéité périphériques – Méthodes d'essai suggérées pour
l'utilisation des matériaux de joints d'étanchéité périphériques**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2020 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules –
Part 5-1: Edge seals – Suggested test methods for use with edge seal materials**

**Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules
photovoltaïques –
Partie 5-1: Joints d'étanchéité périphériques – Méthodes d'essai suggérées
pour l'utilisation des matériaux de joints d'étanchéité périphériques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-7919-9

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

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Normative references	5
3 Terms, definitions and symbols.....	6
3.1 Terms and definitions.....	7
3.2 Symbols.....	7
4 Recommended tests	7
4.1 General.....	7
4.2 Moisture permeation properties.....	7
4.2.1 Moisture breakthrough time	7
4.2.2 Fickian materials	7
4.2.3 Non-Fickian materials	8
4.3 Electrical properties	8
4.3.1 Dielectric strength of the film	8
4.3.2 Volume resistivity	9
4.3.3 Comparative tracking index	9
4.4 Adhesion testing	9
4.4.1 General	9
4.4.2 Lap shear strength.....	9
4.4.3 “T” peel test.....	10
4.4.4 90° peel test	11
4.4.5 Butt joint test	11
4.5 Durability of the materials	12
4.5.1 Relative thermal endurance	12
4.5.2 Dielectric strength degradation	12
4.5.3 Accelerated stress testing.....	13
4.6 Flame resistance	15
4.7 Coefficient of thermal expansion	15
4.8 Rheological properties	15
4.8.1 Complex shear modulus	15
4.8.2 Melt flow rate.....	15
4.9 Other data	15
5 Test report.....	15
Bibliography.....	17
Figure 1 – Lap shear test sample for proving cemented joint.....	10
Figure 2 –Photograph (a)) and schematic (b)) of a z-tensile adhesion test specimen	12
Figure 3 – Schematic of test structure for RTI or RTE dielectric durability testing.....	13
Figure 4 – Test flow for cemented joint evaluation	14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS
USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –****Part 5-1: Edge seals –
Suggested test methods for use with edge seal materials**

FOREWORD

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

International Standard IEC 62788-5-1 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

FDIS	Report on voting
82/1658/FDIS	82/1689/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 62788 series, published under the general title *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules*, can be found on the IEC website.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-5-1:2020

MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –

Part 5-1: Edge seals – Suggested test methods for use with edge seal materials

1 Scope

This part of IEC 62788 provides procedures for standardized test methods for evaluating the properties of materials designed to be used as edge seals. When modules are constructed with impermeable (or extremely low permeability) front- and backsheets designed to protect moisture-sensitive photovoltaic (PV) materials, there is still the possibility for moisture to get in from the sides. This moisture ingress pathway can be restricted by using a low-diffusivity material around the perimeter of a module between the impermeable front- and backsheets. Alternatively, it can be desirable to use a low-diffusivity encapsulant, which may significantly reduce moisture ingress over the lifetime of the module, and to evaluate it in a similar way to an edge seal material.

In addition to restricting moisture ingress, edge seal materials also provide electrical insulation. To perform these functions, edge seal materials are relied upon to adhere well.

The test methods described in this document are intended to be used to standardize the way edge seals are evaluated. Only some of these tests are applied for IEC 61215 and IEC 61730, and that status depends on the specific design. It is not required that all of these tests be performed, but that if these measurements are made that they be performed as outlined here.

2 Normative references

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

IEC 60112, *Method for the determination of the proof and the comparative tracking indices of solid insulating materials*

IEC 60243-1:2013, *Electrical strength of insulating materials – Test methods – Part 1: Tests at power frequencies*

IEC 60243-2:2013, *Electrical strength of insulating materials – Test methods – Part 2: Additional requirements for tests using direct voltage*

IEC 60216-5, *Electrical insulating materials – Thermal endurance properties – Part 5: Determination of relative thermal endurance index (RTE) of an insulating material*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC 60695-11-10, *Fire hazard testing – Part 11-10: Test flames – 50 W horizontal and vertical flame test methods*

IEC 61730-2:2016, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 2: Requirements for testing*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols*

IEC 62788-1-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 1-2: Encapsulants – Measurement of volume resistivity of photovoltaic encapsulants and other polymeric materials*

IEC TS 62788-2:2017, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2: Polymeric materials – Frontsheets and backsheets*

IEC 62788-6-2, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 6-2: General Tests – Moisture permeation testing with polymeric materials*

ISO 62, *Plastics – Determination of water absorption*

ISO 1133-1, *Determination of the melt mass-flow rate (MFR) and melt volume-flow rate (MVR) of thermoplastics – Part 1: Standard method*

ISO 4587, *Adhesives – Determination of tensile lap-shear strength of rigid-to-rigid bonded assemblies*

ISO 6721-6, *Plastics – Determination of dynamic mechanical properties – Part 6: Shear vibration – Non-resonance method*

ISO 11359-2, *Plastics – Thermomechanical analysis (TMA) – Part 2: Determination of coefficient of linear thermal expansion and glass transition temperature*

ISO 11443, *Plastics – Determination of the fluidity of plastics using capillary and slit-die rheometers*

ISO 15512, *Plastics – Determination of water content*

UL 746B, *Polymeric materials – Long term property evaluations*

UL 746C, *Polymeric materials – Use in electrical equipment evaluations*

ASTM D3835–08, *Standard test methods determination of properties of polymeric materials by means of a capillary rheometer*

ASTM D6869–03, *Standard test method for coulometric and volumetric determination of moisture in plastics using the Karl Fischer reaction (the reaction of iodine with water)*

ASTM D7191–10, *Standard test method for determination of moisture in plastics by relative humidity sensor*

3 Terms, definitions and symbols

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC TS 61836 and the following apply.

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

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

3.1 Terms and definitions

3.1.1

edge seal

polymeric material designed to be placed between two impermeable (or with extremely low permeability) frontsheet and backsheet materials to restrict moisture ingress from the sides

3.1.2

Fickian

material for which the diffusivity is constant, independent of the concentration of the permeant within the experimental uncertainty

3.2 Symbols

$t_{10\%}$	time required for an edge seal to reach 10 % of its equilibrium water vapour transmission rate [h]
$K_{10\%}$	10 % moisture ingress breakthrough proportionality constant [$\text{cm} \cdot \text{h}^{-0.5}$]
$K_{o10\%}$	Arrhenius prefactor for $K_{10\%}$ [$\text{cm} \cdot \text{h}^{-0.5}$]
$Ea_{K10\%}$	Arrhenius activation energy for $K_{10\%}$ [$\text{cm} \cdot \text{h}^{-0.5}$]
X	edge seal film thickness [mm]
D	Fickian diffusivity at a given temperature [cm^2/s]
D_o	Arrhenius prefactor for diffusivity [cm^2/s]
Ea_D	Arrhenius activation energy for diffusivity [kJ/mol]
S	maximum absorption of moisture in a material in equilibrium with liquid water [g/cm^3]
S_{IR}	irreversible absorption capacity of moisture in a material [g/cm^3]
S_o	Arrhenius prefactor for solubility [g/cm^3]
Ea_S	Arrhenius activation energy for solubility [kJ/mol]
P	permeability [$\text{g} \cdot \text{mm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$]
P_o	Arrhenius prefactor for permeability [$\text{g} \cdot \text{mm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$]
Ea_p	Arrhenius activation energy for permeability [kJ/mol]

4 Recommended tests

4.1 General

This document is intended to be used as a guideline for presenting edge seal data. When the properties outlined in this document are reported, they shall be reported as measured using the outlined methods. A datasheet may include more data, or less data, than the list of tests outlined. The tests outlined are recommendations only.

4.2 Moisture permeation properties

4.2.1 Moisture breakthrough time

10 % moisture ingress breakthrough proportionality constant [$K_{10\%}$, ($X = K_{10\%} \cdot t_{10\%}^{1/2}$)] at $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ as determined in IEC 62788-6-2. Include activation energy if available. For a Fickian material, $K_{10\%} = 3,89 \cdot D^{1/2}$.

4.2.2 Fickian materials

Permeability (P) at $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ steady state. Include activation energy (Ea_p) if available.

If the material is Fickian, report the diffusivity (D) at $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ and activation energy for diffusivity (E_{aD}) as determined from IEC 62788-6-2. Also indicate the temperature range over which the diffusivity was measured.

If the material is Fickian, report the solubility (S) at $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ and activation energy for solubility as determined from IEC 62788-6-2. Also indicate the temperature range over which the solubility was measured.

4.2.3 Non-Fickian materials

For non-Fickian materials, report the solubility (S) at $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ using ISO 62, ASTM D7191-10, ASTM D6869-03, or ISO 15512. Samples should be equilibrated at temperature while placed in a sealed container with water, but not in contact with the water. The use of sufficient sample equilibration time shall be verified by testing multiple samples at progressively longer times. Samples should be tested immediately after removal from the container because of the potential for the evaporation of moisture.

If applicable, also report the irreversible solubility (S_{IR}) by measuring the reversible absorption of a sample saturated at $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ using ISO 15512, ASTM D7191-10 or ASTM D6869-03 and subtracting that from S .

NOTE If the sample contains desiccant, ASTM D7191-10 and ASTM D6869-03 may not work because the water may be irreversibly adsorbed. Furthermore, for molecular sieve-type desiccants, the time required to remove trace amounts of water fully from the desiccant can severely limit the accuracy of these methods and the temperature required to dry the samples can cause other volatile molecules to evaporate.

4.3 Electrical properties

4.3.1 Dielectric strength of the film

Perform a measurement of dielectric strength in accordance with IEC 60243-2 for a DC test. This shall conform to IEC TS 62788-2:2017, 4.5.1 and IEC TS 62788-2:2017, Annex C. Use a material thickness that is useable at a practical voltage, which is rarely greater than 100 kV DC, for the testing equipment. The surfaces of the samples shall be free of volumetric defects (e.g. bubbles, voids or foreign particles) and be made smooth, which may require curing according to the manufacturer's specifications.

Measure and report values before and after saturation with water to duplicate conditions after the desiccant is spent. For the saturated samples, precondition at $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ and $(85 \pm 5)\%$ relative humidity (RH) prior to testing. Allow materials to equilibrate at room temperature prior to testing. Ensure that saturated samples do not dry out before testing, but one may remove any water droplets from the surface. The amount of time needed for equilibration will be determined by the manufacturer such that the mass of the sample does not increase over the course of 24 h.

Materials shall be tested in a surrounding medium selected to prevent flashover as indicated in IEC 60243-1 and IEC 60243-2. The short-time (rapid-rise) method (see IEC 60243-1:2013, 10.1) shall be used with a voltage rise of $2\,000\text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$ unless breakdown occurs in less than 10 s. Equal diameter electrodes measuring $(25 \pm 1)\text{ mm}$ shall be used as indicated in IEC 60243-1:2013, 5.2.1.2.

NOTE In IEC 61730-1:2016, 5.6.4.3, requirements for dielectric testing are described for that document. This test method only applies if the edge seal material is part of "relied upon insulation". Because of the potential of polyisobutylene (PIB) based desiccants to absorb or to dissolve in mineral oil, this test is performed as quickly as is reasonable.

4.3.2 Volume resistivity

Volume resistivity in accordance with IEC 62788-1-2. Test before and after saturation with water to evaluate the properties of the material with the spent desiccant. Condition at room temperature in a sealed package to prevent moisture exposure for the "before exposure" condition. Precondition at $(85 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(85 \pm 5) \% \text{ RH}$ prior to testing. The manufacturer shall determine the amount of time needed to fully saturate the desiccant (if applicable) and fill the material with moisture such that the weight no longer increases over time.

NOTE In IEC 61730-1:2016, 5.6.4.2, if the edge seal functions as a cemented joint, then in the context of IEC 61730-1 it has a volume resistivity greater than $50 \times 10^6 \Omega\cdot\text{cm}$ when dry and greater than $10 \times 10^6 \Omega\cdot\text{cm}$ when wet. For most polymeric materials, these values would be expected to be exceeded by many orders of magnitude.

4.3.3 Comparative tracking index

Comparative tracking index (CTI) in accordance with IEC 60112 or UL 746C.

NOTE If the material is used as the relied upon insulation, then in the context of IEC 61730-1 the CTI determines the material group that is then used to define the creepage distance. If the edge seal is considered a cemented joint in the PV module, then IEC 61730-1 does not use creepage and clearance distances, but distances through cemented joints.

4.4 Adhesion testing

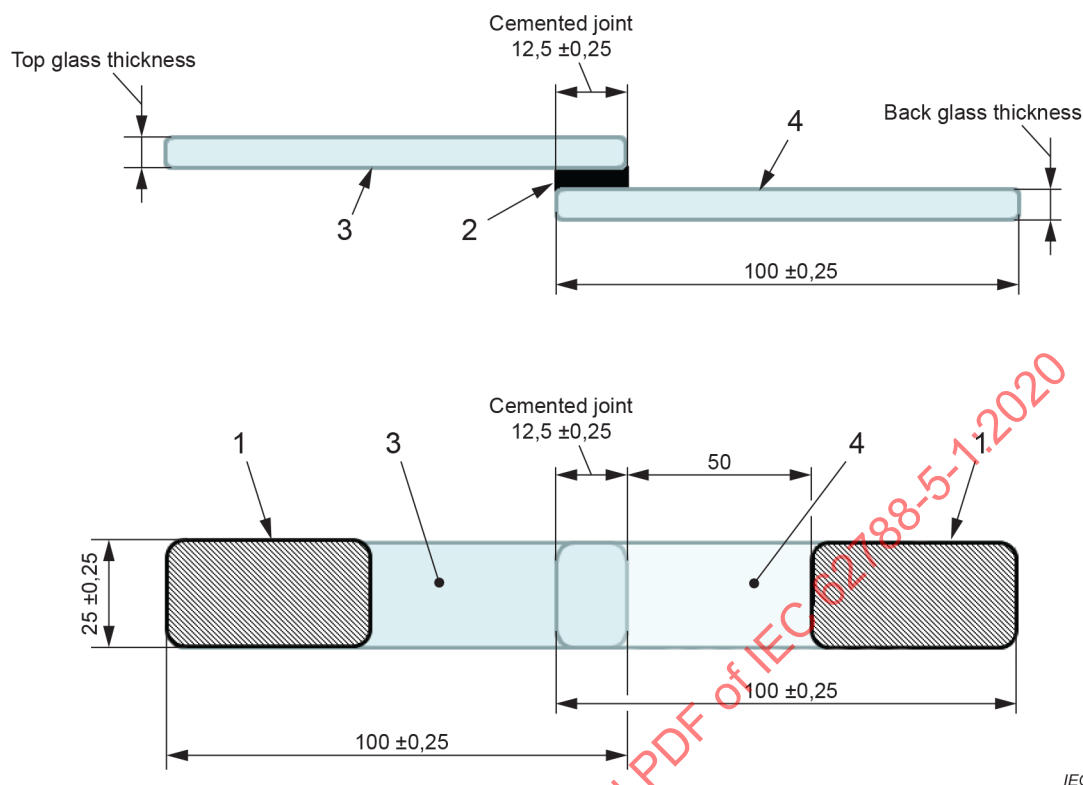
4.4.1 General

Adhesion testing is designed to conform to the data necessary to consider the edge seal being listed as a cemented joint in accordance with IEC 61730-2. As such, the strength is reported as the average and standard deviation of 10 replicate measurements.

4.4.2 Lap shear strength

Lap shear strength at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ in accordance with ISO 4587 using a sample thickness of $(0,5 \pm 0,1) \text{ mm}$, an overlap area of $(25 \pm 0,25) \text{ mm} \times (12,5 \pm 0,25) \text{ mm}$, and a strain rate of $(0,8 \pm 0,01) \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (see Figure 1, taken from Figure 11 in IEC 61730-2:2016.) Typically, at least one substrate in a PV module will be glass; therefore, testing is accomplished with photovoltaic soda lime glass. If one of the substrate surfaces in the module application is not glass and is a rigid substrate, then that substrate shall be tested.

Dimensions in millimetres



IEC

Key:

- 1 area held in grips
- 2 cemented joint
- 3 PV module front glass
- 4 PV module back glass

NOTE Schematic taken from IEC 61730-2:2016, Figure 11.

Figure 1 – Lap shear test sample for proving cemented joint

NOTE ISO 4587 specifies that the test should take (65 ± 20) s or use a shear load rate of $8,3 \text{ MPa} \cdot \text{min}^{-1}$ to $9,8 \text{ MPa} \cdot \text{min}^{-1}$. Edge seals typically fail at between 200 % and 600 % strain at around 0,5 MPa. For a sample 0,5 mm thick, the pull rate is between $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ and $3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, but IEC 61730 specifies $0,8 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. If the shear load rate is used, edge seals would be expected to fail in around 3 s to 3,6 s.

4.4.3 “T” peel test

For applications with flexible substrates or superstrates test the adhesion strength as a peel test. Samples shall be tested in a “T” peel configuration in accordance with IEC 61730-2:2016, 10.24 (MST 35). Always use the complete superstrate and substrate laminates in the test sample because the mechanics of the adherend will affect the loading properties and the final values. Use two sets of samples, one comprising only superstrates, and another comprising only substrates. This serves to test adhesion to both surfaces and may make it easier to maintain angles of $(90 \pm 10)^\circ$ as specified in MST 35. The pull rate shall be $(50 \pm 5) \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. The sample width shall be $(10 \pm 1) \text{ mm}$. Condition the samples for at least 16 h at $(23 \pm 2)^\circ \text{C}$, or according to the edge seal manufacturer’s recommendation, prior to testing.

4.4.4 90° peel test

For applications with flexible to rigid substrates, IEC 61730-2:2016, 10.24 (MST 35) specifies a 90° peel test. Because the substrate choice can dramatically affect the adhesion strength, results from the “T” peel test may not be sufficient to give confidence that the set of materials will pass the cement joint evaluation in a 90° configuration. Use the same combination of rigid and flexible substrates as is intended for the application. Pull at $(50 \pm 5) \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Use a long enough shaft or use a sliding sample holder such that the angle is always $(90 \pm 5)^\circ$. For these samples, the test area width shall be $(10 \pm 1) \text{ mm}$ wide for the flexible substrate, but the rigid substrate can be of any dimension practical (e.g. laminate the flexible substrate to the rigid one and cut test strips to the correct width).

4.4.5 Butt joint test

This test is conducted by preferably sampling from a production PV module, but can also be accomplished using a module mock-up or mini-module. Rectangular test specimens are cut from the edge seal-covered perimeter. One side of the test specimen shall have a length equal to the width of the edge seal (typically 1 cm to 1,5 cm) and the other should be of a similar length within $\pm 25\%$. Test specimens may be cut out using any method that is convenient so long as it produces a clean cut and does not significantly deform the samples. For glass test specimens, it is recommended that cutting be accomplished using a wet saw or a water jet saw. Flexible substrates may be cut out using shears, a saw, or any other appropriate means.

To test the specimens, they shall be mounted to a handle. This is accomplished by adhering bolts to each side of the test specimen, creating a mounted test sample for pulling the joint apart. Elevator bolts have a large flat surface suitable for adhesion. However, any bolt type may be used so long as it is large enough to cover the entire surface of the test specimens. Epoxy-based adhesives have been demonstrated to work well enough to carry out the adhesion test, but it may require some trial and error effort to find the best one for each material. The bolts shall be adhered such that the bolt axis goes through the center of the samples and such that the two bolts are parallel. Mounted test samples may be assembled by securing the bottom bolt's flat side upright and adhering the test specimen making sure it is centered and that the surfaces are parallel. Once the adhesive is sufficiently cured, the top bolt is adhered to the test specimen and positioned to be parallel and centered with respect to the other bolt.

For tempered glass samples, all glass fragments shall remain adhered to the bolt's surface after testing. Similarly, for flexible substrates, all the surface test area shall remain adhered to the bolt surfaces. For flexible substrates, there can be concerns with the adhesive used to attach to the bolt, squeezing out of the sides of the samples and directly adhering the bolts together. Because of this, thin substrates may be glued to the bolts before being cut out of the module and then subsequently cut out along the perimeter of the bolt. Another method would be to cut the test specimen to the exact size of the bolt, then, upon assembly, excess adhesive would be scraped off from the sides.

Using a load frame with grips attached to the specimen bolts (Figure 2a)), pull the samples apart using a load frame displacement rate of $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ while recording the applied force. The stress at failure, $\sigma_{\max}$, is the ratio of the maximum applied force, $F_{\max}$, to the sample area A ,

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A}$$

If a sufficiently accurate strain gauge can be attached to the samples, the strain at break, $\gamma_{\max}$, may be determined as the ratio of the displacement at the point of maximum force, $x_{\max}$, in a force-displacement curve to the sample thickness, t .

$$\gamma_{\max} = \frac{x_{\max}}{t}$$

The load frame displacement cannot be used for this purpose.

Measure 10 samples and report the average and standard deviation.

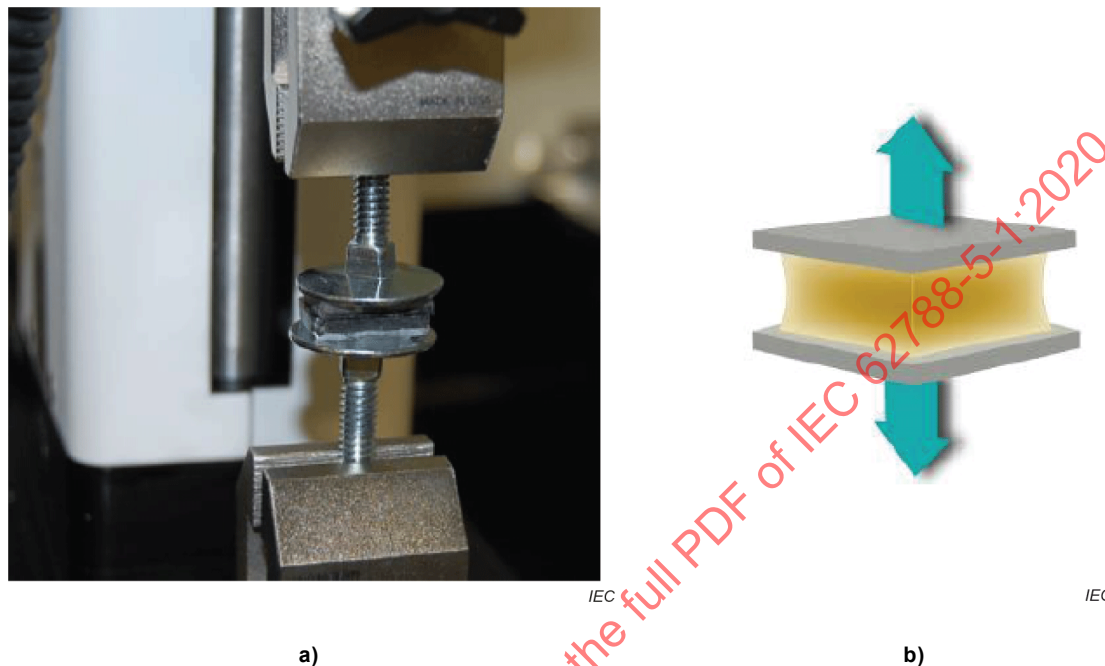


Figure 2 –Photograph (a)) and schematic (b)) of a z-tensile adhesion test specimen

NOTE The current qualification tests, IEC 61215 (all parts) and IEC 61730 (all parts), do not use this test, but it is being considered as a replacement for future versions of IEC 61215 and IEC 61730 because it can be used with either tempered glass or flexible substrates.

4.5 Durability of the materials

4.5.1 Relative thermal endurance

Edge seal materials shall have a relative thermal endurance determined in accordance with IEC 60216-5 or UL 746B. Evaluate the electrical properties for RTI/RTE using the dielectric strength (see Figure 3). Evaluate the mechanical properties for RTI/RTE using the lap shear test (4.4.2) or peel tests (4.4.3 or 4.4.4) depending on the application.

NOTE IEC 61730-1 specifies that materials used as insulation must have a minimum index equal to or greater than the maximum normalized operating temperature (MST 21), or a minimum of 90 °C, whichever is higher.

4.5.2 Dielectric strength degradation

For insulating material where the module depends on the edge seal for electrical insulation (IEC 60664-1), carry out a dielectric strength degradation test on a substrate coupon as shown in Figure 3 to better mimic the end use. Use a ramp rate of 500 V·s⁻¹ DC. Thickness does not matter because only changes in this property are being looked for, but effort should be made to use relevant thicknesses. The thickness should be uniform throughout the sample. There should be no air gaps in the edge sealant.

RTI/RTE dielectric sample requirements:

Fifty (50) samples (10 for as received, 20 for aging, 10 for UV and 10 for water immersion).

Dielectric samples for RTI, UV exposure or water immersion testing

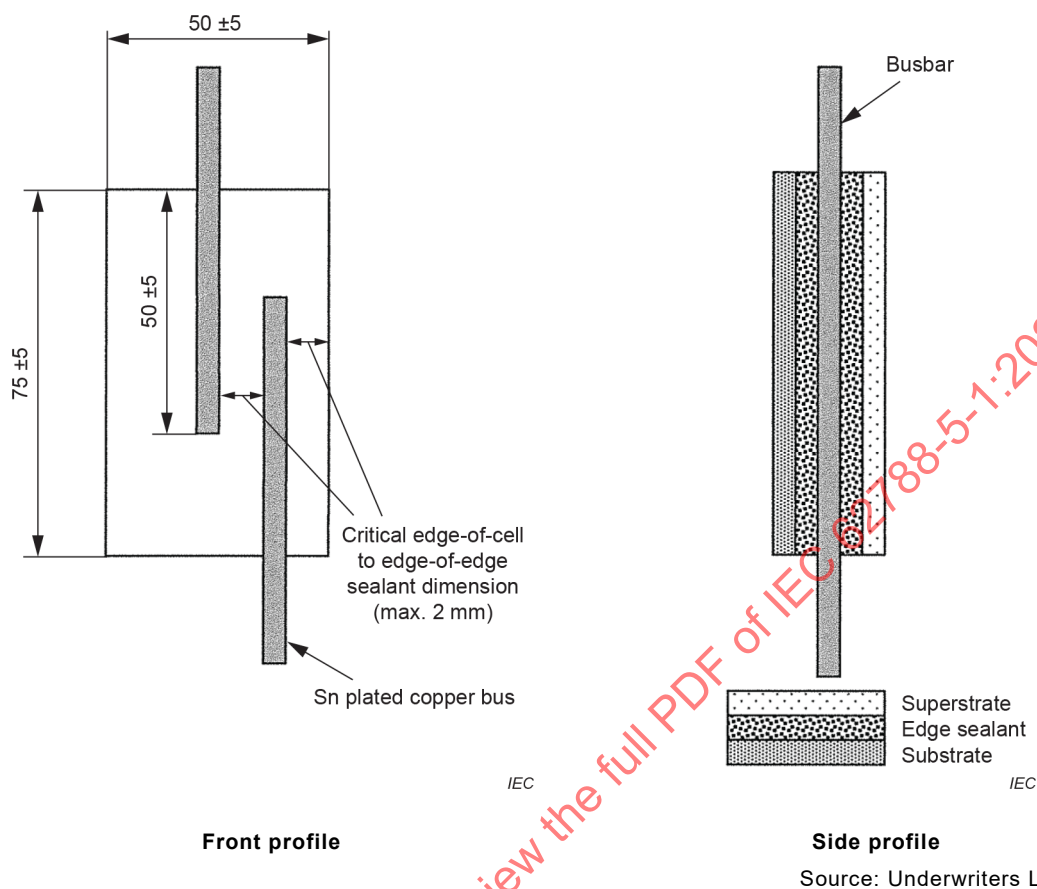


Figure 3 – Schematic of test structure for RTI or RTE dielectric durability testing

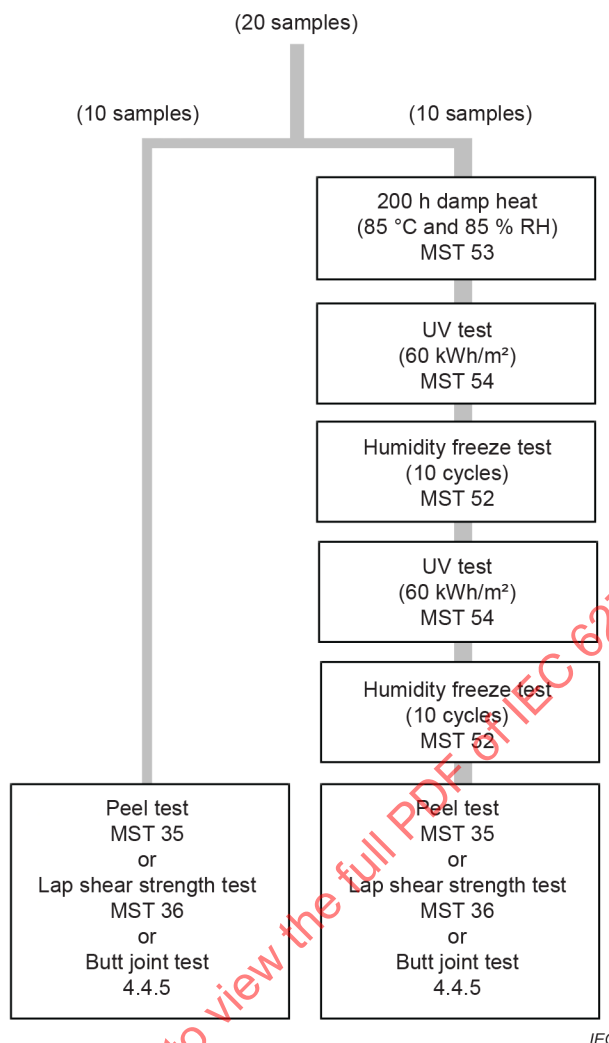
4.5.3 Accelerated stress testing

4.5.3.1 General

This procedure is intended to demonstrate conformity to the cemented joint criteria of IEC 61730-2:2016, 10.25 (MST 36). This sequence consists of: 200 h damp heat MST 53, 60 kWh·m⁻² UV MST 54, 10 humidity freeze cycles MST 52, another 60 kWh·m⁻² UV MST 54, and another 10 humidity freeze cycles MST 52; see Figure 4.

4.5.3.2 Cemented joint evaluation

A total of 20 adhesion test samples shall be constructed as in 4.4 utilizing either a peel test, lap shear test, or butt joint test. Ten samples shall be set aside and not exposed and 10 shall be put through the sequence of 4.5.3.1 and the other 10 shall not be exposed. The unexposed and exposed samples shall be evaluated to determine if 50 % of the adhesion strength is maintained after exposure.



The module safety tests (MSTs) are described in IEC 61730-2.

Figure 4 – Test flow for cemented joint evaluation

NOTE The lap shear and peel tests are used to define a material as providing a "cemented joint" in IEC 61730-2, MST 36 and MST 35. They require 50 % retention of lap shear strength after this specified set of exposures. This result is used to define a material as a cemented joint for purposes of specifying the distance through the cemented joints.

4.5.3.3 Dielectric strength degradation after UV exposure

Perform a dielectric strength degradation coupon test (4.5.2) after the weathering exposure described in 4.5.3.1, using 10 replicate samples. Report percent retention relative to unexposed samples. This is similar to the cemented joint test except that dielectric stress testing is performed instead of adhesion testing.

4.5.3.4 Water immersion testing

Water immersion for outdoor exposure rating shall immerse samples in 70 °C water for 7 days. Samples shall be dried and cooled to room temperature prior to additional testing. Testing after water immersion is designed to evaluate the properties after the desiccant is spent.

4.5.3.5 Adhesion after water immersion

Perform the adhesion test, using the construction as appropriate from 4.4 and 10 replicates, after water immersion exposure. Report percent retention relative to unexposed samples.

4.5.3.6 Dielectric strength after water immersion

Perform a film dielectric strength degradation coupon test (4.5.2) after water immersion exposure in accordance with 4.5.3.4. Report percent retention relative to unexposed samples for 10 replicate samples.

4.6 Flame resistance

Horizontal and/or vertical burn classifications in accordance with IEC 60695-11-10.

4.7 Coefficient of thermal expansion

Measure in accordance with ISO 11359-2. Report value from –40 °C to 150 °C.

NOTE Because edge seal materials are typically composed primarily of uncrosslinked, or sparsely crosslinked polyisobutylene based materials, it might not be possible to measure the thermal expansion coefficient with this method.

4.8 Rheological properties

4.8.1 Complex shear modulus

Complex shear modulus G^* measured at 150 °C and 1 rad·s⁻¹ in accordance with the RH described in ISO 6721-6. Additionally, data may be reported from a temperature sweep from –40 °C to 180 °C. The strain should be adjusted such that it is within the linear region, for example 0,5 % strain. For temperature sweep data, report temperature ramp rate or thermal equilibrium conditions. For linear elastic materials, the Young's modulus (E) can be estimated as

$$E = 2 \cdot G(1 + \nu)$$

where ν is Poisson's ratio.

4.8.2 Melt flow rate

The flow rate from a hot melt pump can be of practical interest. For constant shear rate measurements, as applied by a hot melt pump, use ISO 11443 or ASTM D3835-08 on a capillary rheometer to measure at least 4 points from 0,3 s⁻¹ to 20 s⁻¹. For constant shear stress measurements, use the melt mass flow rate (MFR) or melt volume rate in ISO 1133-1. Report die size, temperature, and shear stress. The conditions selected should be appropriate for the application of the material. A full profile of temperature versus shear rate is the most useful.

4.9 Other data

The PV module manufacturer should have compatibility testing performed on all materials and adhesives in and around the module.

5 Test report

A report of the tests, with measured performance characteristics, shall be prepared by the test agency. For specific tests, report in accordance with the referenced documents or as indicated in the body of this document for those tests selected. Each test report shall include at least the following information:

- a) a title;
- b) name and address of the test laboratory and location where the tests were carried out;
- c) unique identification of the report and of each page;
- d) name and address of client, where appropriate;

- e) description of the sample construction and identification of the item tested for each test method, including specimen dimensions;
- f) characterization and condition of the test item, including the method and details of specimen preparation (including curing, lamination, or similar processing, if applicable), measurement temperature, preconditioning temperature and RH;
- g) date of receipt of the test item and date(s) of test, where appropriate;
- h) reference to sampling procedure, where relevant;
- i) measurements, examinations and derived results supported by tables, graphs, sketches and photographs as appropriate. Measured values shall be reported as the average of the sample measurements;
- j) a statement of the estimated uncertainty of the test results (where relevant). Typically, this shall be the standard deviation of the sample set;
- k) a signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the report, and the date of issue;
- l) where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items tested;
- m) a statement that the report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-5-1:2020

Bibliography

IEC 61215 (all parts), *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval*

IEC 61730-1:2016, *Photovoltaic (PV) module safety qualification – Part 1: Requirements for construction*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-5-1:2020

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
1 Domaine d'application	21
2 Références normatives	21
3 Termes, définitions et symboles	23
3.1 Termes et définitions	23
3.2 Symboles	23
4 Essais recommandés	24
4.1 Généralités	24
4.2 Propriétés de perméation à l'humidité	24
4.2.1 Temps d'infiltration de l'humidité	24
4.2.2 Matériaux fickiens	24
4.2.3 Matériaux non fickiens	24
4.3 Propriétés électriques	25
4.3.1 Rigidité diélectrique du film	25
4.3.2 Résistivité transversale	25
4.3.3 Indice de résistance au cheminement	25
4.4 Essais d'adhérence	26
4.4.1 Généralités	26
4.4.2 Résistance au cisaillement longitudinal	26
4.4.3 Essai de pelage "T"	27
4.4.4 Essai de pelage à 90°	27
4.4.5 Essai d'assemblage bout à bout	27
4.5 Durabilité des matériaux	29
4.5.1 Endurance thermique relative	29
4.5.2 Dégradation de la rigidité diélectrique	29
4.5.3 Essais accélérés de contraintes	30
4.6 Résistance aux flammes	32
4.7 Coefficient de dilatation thermique	32
4.8 Propriétés rhéologiques	32
4.8.1 Module complexe en cisaillement	32
4.8.2 Indice de fluidité à chaud	32
4.9 Autres données	32
5 Rapport d'essai	33
Bibliographie	34
Figure 1 – Échantillon pour l'essai de cisaillement longitudinal appliqué au joint collé	26
Figure 2 – Photographie (a)) et schéma (b)) d'une éprouvette d'essai à adhérence par traction z	28
Figure 3 – Schéma de structure d'essai pour les essais de durabilité diélectrique avec IRT ou RTE	30
Figure 4 – Séquence d'essai pour l'évaluation des joints collés	31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS
DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –****Partie 5-1: Joints d'étanchéité périphériques –
Méthodes d'essai suggérées pour l'utilisation
des matériaux de joints d'étanchéité périphériques****AVANT-PROPOS**

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

La Norme internationale IEC 62788-5-1 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

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

FDIS	Rapport de vote
82/1658/FDIS	82/1689/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 internationale.

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62788, publiées sous le titre général *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-5-1:2020

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 5-1: Joints d'étanchéité périphériques – Méthodes d'essai suggérées pour l'utilisation des matériaux de joints d'étanchéité périphériques

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62788 fournit des procédures de méthodes normalisées d'essai pour l'évaluation des propriétés des matériaux destinés à être utilisés comme joints d'étanchéité périphériques. Lorsque les modules sont constitués de couches avant et de couches arrière imperméables (ou à très faible perméabilité) afin de protéger les matériaux photovoltaïques (PV) sensibles à l'humidité, il est tout de même possible que l'humidité s'infilte par les côtés. Cette voie de pénétration de l'humidité peut être limitée par l'utilisation d'un matériau à faible diffusivité autour du périmètre d'un module situé entre la couche avant imperméable et la couche arrière imperméable. En variante, il peut être souhaitable d'utiliser un encapsulant à faible diffusivité permettant de réduire de manière significative l'infiltration d'humidité au cours de la durée de vie du module, et d'évaluer cet encapsulant comme s'il s'agissait d'un matériau de joint d'étanchéité périphérique.

En plus de la limitation de l'infiltration d'humidité, les matériaux de joints d'étanchéité périphériques assurent une isolation électrique. Pour remplir ces fonctions, on compte sur le fait que les matériaux de joints d'étanchéité périphériques restent bien collés.

Les méthodes d'essai décrites dans le présent document sont destinées à être utilisées pour normaliser la manière d'évaluer les joints d'étanchéité périphériques. Seuls certains de ces essais sont effectués pour l'IEC 61215 et l'IEC 61730, ce statut étant dépendant de la conception spécifique. Il n'est pas exigé d'effectuer tous ces essais; mais si ces mesurages sont effectués, il est exigé de les réaliser comme indiqué dans le présent document.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60112, *Méthode de détermination des indices de résistance et de tenue au cheminement des matériaux isolants solides*

IEC 60243-1:2013, *Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai – Partie 1: Essais aux fréquences industrielles*

IEC 60243-2:2013, *Rigidité diélectrique des matériaux isolants – Méthodes d'essai – Partie 2: Exigences complémentaires pour les essais à tension continue*

IEC 60216-5, *Matériaux isolants électriques – Propriétés d'endurance thermique – Partie 5: Détermination de l'indice d'endurance thermique relatif (RTE) d'un matériau isolant*

IEC 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

IEC 60695-11-10, *Essais relatifs aux risques du feu – Partie 11-10: Flammes d'essai – Méthodes d'essai horizontal et vertical à la flamme de 50 W*

IEC 61730-2:2016, *Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) – Partie 2: Exigences pour les essais*

IEC TS 61836, *Solar photovoltaic energy systems – Terms, definitions and symbols* (disponible en anglais seulement)

IEC 62788-1-2, *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 1-2: Encapsulants – Mesurage de la résistivité transversale des encapsulants photovoltaïques et autres matériaux polymères*

IEC TS 62788-2:2017, *Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 2: Polymeric materials – Frontsheets and backsheets* (disponible en anglais seulement)

IEC 62788-6-2, *Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 6-2: Essais génériques – Essais de perméation à l'humidité avec des matériaux polymères*

ISO 62, *Plastiques – Détermination de l'absorption d'eau*

ISO 1133-1, *Plastiques – Détermination de l'indice de fluidité à chaud des thermoplastiques, en masse (MFR) et en volume (MVR) – Partie 1: Méthode normale*

ISO 4587, *Adhésifs — Détermination de la résistance au cisaillement d'assemblages collés rigide sur rigide à recouvrement simple*

ISO 6721-6, *Plastiques — Détermination des propriétés mécaniques dynamiques —Partie 6: Vibration en cisaillement — Méthode hors résonance*

ISO 11359-2, *Plastiques – Analyse thermomécanique (TMA) – Partie 2: Détermination du coefficient de dilatation thermique linéique et de la température de transition vitreuse*

ISO 11443, *Plastiques — Détermination de la fluidité au moyen de rhéomètres équipés d'une filière capillaire ou plat*

ISO 15512, *Plastiques – Dosage de l'eau*

UL 746B, *Polymeric materials – Long term property evaluations*

UL 746C, *Polymeric materials – Use in electrical equipment evaluations*

ASTM D3835-08, *Standard test methods determination of properties of polymeric materials by means of a capillary rheometer*

ASTM D6869–03, *Standard test method for coulometric and volumetric determination of moisture in plastics using the Karl Fischer reaction (the reaction of iodine with water)*

ASTM D7191-10, *Standard test method for determination of moisture in plastics by relative humidity sensor*

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC TS 61836 ainsi que les suivants s'appliquent.

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

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

3.1 Termes et définitions

3.1.1

joint d'étanchéité périphérique

matériau polymère conçu pour être placé entre deux matériaux imperméables (ou à très faible perméabilité) de couche avant et de couche arrière afin de limiter l'infiltration d'humidité par les côtés

3.1.2

fickien

matériau dont la diffusivité est constante, indépendamment de la concentration du perméant dans les limites de l'incertitude expérimentale

3.2 Symboles

$t_{10\%}$	temps exigé pour qu'un joint d'étanchéité périphérique atteigne 10 % de son coefficient d'équilibre de transmission de la vapeur d'eau [h]
$K_{10\%}$	constante de proportionnalité de la traversée d'infiltration d'humidité de 10 % [$\text{cm} \cdot \text{h}^{-0,5}$]
$K_{010\%}$	préfacteur d'Arrhenius pour $K_{10\%}$ [$\text{cm} \cdot \text{h}^{-0,5}$]
$Ea_{K10\%}$	énergie d'activation d'Arrhenius pour $K_{10\%}$ [$\text{cm} \cdot \text{h}^{-0,5}$]
X	épaisseur du film d'étanchéité périphérique [mm]
D	diffusivité fickienne à une température donnée [cm^2/s]
D_0	préfacteur d'Arrhenius pour la diffusivité [cm^2/s]
Ea_D	énergie d'activation d'Arrhenius pour la diffusivité [kJ/mol]
S	absorption maximale d'humidité d'un matériau en équilibre avec l'eau liquide [g/cm^3]
S_{IR}	capacité irréversible d'absorption de l'humidité dans un matériau [g/cm^3]
S_0	préfacteur d'Arrhenius pour la solubilité [g/cm^3]
Ea_S	énergie d'activation d'Arrhenius pour la solubilité [kJ/mol]
P	perméabilité [$\text{g} \cdot \text{mm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$]
P_0	préfacteur d'Arrhenius pour la perméabilité [$\text{g} \cdot \text{mm} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$]
Ea_P	énergie d'activation d'Arrhenius pour la perméabilité [kJ/mol]

4 Essais recommandés

4.1 Généralités

Le présent document est destiné à être utilisé à titre de ligne directrice pour la présentation des données relatives aux joints d'étanchéité périphériques. Lorsque les propriétés indiquées dans le présent document font l'objet de rapport, elles doivent être consignées telles qu'elles ont été mesurées à l'aide des méthodes spécifiées. Une fiche technique peut inclure plus de données ou moins de données que la liste des essais indiquée. Les essais décrits sont fournis uniquement à titre de recommandation.

4.2 Propriétés de perméation à l'humidité

4.2.1 Temps d'infiltration de l'humidité

Constante de proportionnalité de la traversée d'infiltration d'humidité de 10 % [$K_{10\%}$, ($X = K_{10\%} \cdot t_{10\%}^{1/2}$)] à $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ telle que déterminée dans l'IEC 62788-6-2. Elle comprend l'énergie d'activation si elle est disponible. Pour un matériau fickien, $K_{10\%} = 3,89 \cdot D^{1/2}$.

4.2.2 Matériaux fickiens

Perméabilité (P) à $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ en régime établi. Elle comprend l'énergie d'activation (E_{aP}) si elle est disponible.

Si le matériau est fickien, consigner la diffusivité (D) à $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ et l'énergie d'activation pour cette diffusivité (E_{aD}) telles que déterminées dans l'IEC 62788-6-2. La plage de températures sur laquelle la diffusivité a été mesurée est également indiquée.

Si le matériau est fickien, consigner la solubilité (S) à $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ et l'énergie d'activation pour cette solubilité telles que déterminées dans l'IEC 62788-6-2. La plage de températures sur laquelle la solubilité a été mesurée est également indiquée.

4.2.3 Matériaux non fickiens

Pour les matériaux non fickiens, consigner la solubilité (S) à $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ à l'aide des normes ISO 62, ASTM D7191-10, ASTM D6869-03 ou ISO 15512. Il convient d'équilibrer les échantillons à la température lorsqu'ils sont placés dans un récipient hermétique avec de l'eau, mais sans être en contact avec l'eau. L'utilisation d'un temps d'équilibrage suffisant pour les échantillons doit être vérifiée par la mise à l'essai de plusieurs échantillons à des temps de plus en plus longs. Il convient de soumettre à l'essai les échantillons immédiatement après leur retrait du récipient en raison du potentiel d'évaporation de l'humidité.

Le cas échéant, consigner également la solubilité irréversible (S_{IR}) en mesurant l'absorption réversible d'un échantillon saturé à $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ à l'aide de l'ISO 15512, l'ASTM D7191-10 ou l'ASTM D6869-03 et en la soustrayant de la valeur de S .

NOTE Si l'échantillon contient du déshydratant, les normes ASTM D7191-10 et ASTM D6869-03 peuvent ne pas s'appliquer, car l'eau peut être adsorbée de manière irréversible. De plus, pour les déshydratants à tamis moléculaire, le temps exigé pour supprimer complètement les traces d'eau du déshydratant peut sérieusement limiter l'exactitude de ces méthodes et la température exigée pour sécher les échantillons peut causer l'évaporation d'autres molécules volatiles.

4.3 Propriétés électriques

4.3.1 Rigidité diélectrique du film

Mesurer la rigidité diélectrique conformément à l'IEC 60243-2 dans le cadre d'un essai en courant continu. Il doit être conforme à l'IEC TS 62788-2:2017, 4.5.1 et à l'IEC TS 62788-2:2017, Annexe C. Utiliser une épaisseur de matériau exploitable à une tension rencontrée dans la pratique pour les équipements d'essai, cette tension étant rarement supérieure à 100 kV en courant continu. Les surfaces des échantillons ne doivent comporter aucun défaut volumétrique (par exemple, bulles, creux ou particules étrangères) et doivent être rendues lisses, ce qui peut exiger un traitement conformément aux spécifications du fabricant.

Mesurer et consigner les valeurs avant et après la saturation en eau pour reprendre les conditions lorsqu'il n'y a plus de déshydratant. Pour les échantillons saturés, préconditionner à $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ et à une humidité relative de $(85 \pm 5)\%$ avant les essais. Laisser les matériaux s'équilibrer à la température ambiante avant les essais. Veiller à ce que les échantillons saturés ne sèchent pas avant les essais, mais une personne peut retirer toute gouttelette d'eau de la surface. Le temps nécessaire à l'équilibrage est déterminé par le fabricant de sorte que la masse de l'échantillon n'augmente pas pendant 24 h.

Les matériaux doivent être soumis à l'essai dans un milieu environnant choisi pour empêcher les contournements, tel qu'indiqué dans l'IEC 60243-1 et l'IEC 60243-2. La méthode de courte durée (montée rapide de la tension, voir 10.1 de l'IEC 60243-1:2013) doit être utilisée avec une montée de tension de $2\,000\text{ V}\cdot\text{s}^{-1}$ à moins qu'un claquage ne se produise en moins de 10 s. Des électrodes de $(25 \pm 1)\text{ mm}$ de diamètre doivent être utilisées comme cela est indiqué en 5.2.1.2 de l'IEC 60243-1:2013.

NOTE Les exigences relatives aux essais diélectriques du présent document sont décrites en 5.6.4.3 de l'IEC 61730-1:2016. Cette méthode d'essai s'applique uniquement si le matériau de joint d'étanchéité périphérique fait partie de l'"isolation attendue". En raison du potentiel des déshydratants à base de polyisobutylène (PIB) à absorber ou à se dissoudre dans de l'huile minérale, cet essai est effectué aussi rapidement que raisonnablement possible.

4.3.2 Résistivité transversale

Résistivité transversale, conformément à l'IEC 62788-1-2. Soumettre à l'essai avant et après saturation en eau pour évaluer les propriétés du matériau avec le déshydratant utilisé. Conditionner à la température ambiante dans un emballage hermétique pour empêcher les expositions à l'humidité pour une condition "avant exposition". Préconditionner à $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$ et à une humidité relative de $(85 \pm 5)\%$ avant les essais. Le fabricant doit déterminer la durée nécessaire pour que le déshydratant soit complètement saturé (le cas échéant) et pour remplir le matériau d'humidité de sorte que son poids n'augmente plus dans le temps.

NOTE Si le joint d'étanchéité périphérique fonctionne comme un joint collé conforme au 5.6.4.2 de l'IEC 61730-1:2016, alors il a, dans le contexte de l'IEC 61730-1, une résistivité transversale supérieure à $50 \times 10^6\Omega\cdot\text{cm}$ lorsqu'il est sec et supérieure à $10 \times 10^6\Omega\cdot\text{cm}$ lorsqu'il est humide. Pour la plupart des matériaux polymères, ces valeurs sont présumées être dépassées par de nombreux ordres de grandeur.

4.3.3 Indice de résistance au cheminement

Indice de résistance au cheminement (IRC) conformément à l'IEC 60112 ou à l'UL 746C.

NOTE Si le matériau est utilisé comme isolation attendue, alors l'IRC détermine, dans le contexte de l'IEC 61730-1, le groupe de matériaux utilisé pour définir la ligne de fuite. Si le joint d'étanchéité périphérique est considéré comme un joint collé dans le module PV, alors l'IEC 61730-1 n'utilise pas de distances d'isolement ni de lignes de fuite, mais plutôt des distances au travers des joints collés.

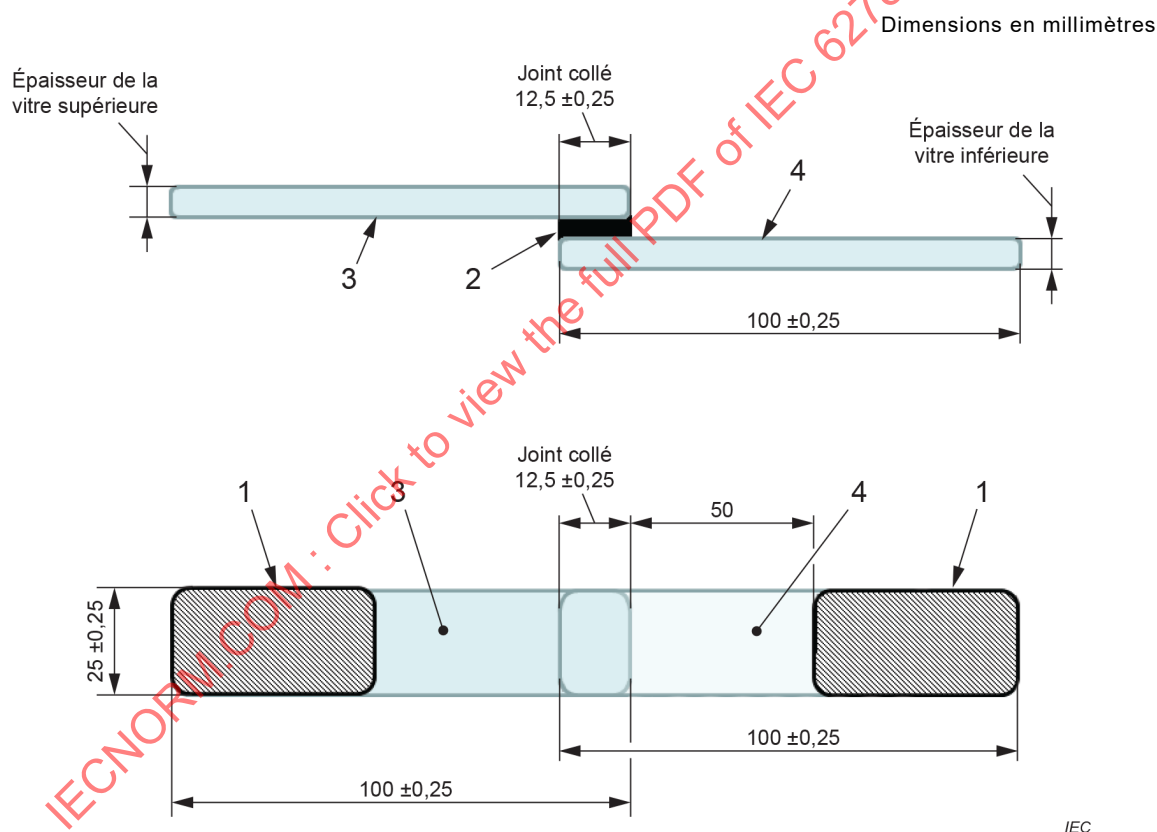
4.4 Essais d'adhérence

4.4.1 Généralités

Les essais d'adhérence sont destinés à être conformes aux données nécessaires pour considérer le joint d'étanchéité périphérique comme étant un joint collé conformément à l'IEC 61730-2. En tant que telle, la rigidité est consignée comme l'écart moyen et l'écart type de 10 mesurages reproduits.

4.4.2 Résistance au cisaillement longitudinal

Résistance au cisaillement longitudinal à $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ conformément à l'ISO 4587 avec une épaisseur d'échantillon de $(0,5 \pm 0,1) \text{ mm}$, une zone de chevauchement de $(25 \pm 0,25) \text{ mm} \times (12,5 \pm 0,25) \text{ mm}$, et une vitesse de déformation de $(0,8 \pm 0,01) \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ (voir la Figure 1 tirée de la Figure 11 de l'IEC 61730-2:2016). En règle générale, au moins un substrat d'un module PV est en verre; par conséquent, les essais sont effectués avec du verre sodocalcique photovoltaïque. Si l'une des surfaces de substrat dans l'application du module n'est pas en verre et si le substrat concerné est rigide, il doit être soumis à l'essai.



Légende:

- 1 zone maintenue par les poignées
- 2 joint collé
- 3 vitre avant du module PV
- 4 vitre arrière du module PV

NOTE Schéma tiré de la Figure 11 de l'IEC 61730-2:2016.

Figure 1 – Échantillon pour l'essai de cisaillement longitudinal appliqué au joint collé

NOTE L'ISO 4587 spécifie que l'essai dure $(65 \pm 20) \text{ s}$ ou utilise un taux de charge de cisaillement compris entre $8,3 \text{ MPa}\cdot\text{min}^{-1}$ et $9,8 \text{ MPa}\cdot\text{min}^{-1}$. Les joints d'étanchéité périphériques échouent généralement à une déformation comprise entre 200 % et 600 % à environ 0,5 MPa. Pour un échantillon d'une épaisseur de 0,5 mm, le taux de traction est compris entre $1 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ et $3 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$, mais l'IEC 61730 spécifie un taux de $0,8 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$. Si le taux de

charge de cisaillement est utilisé, les joints d'étanchéité périphériques sont présumés échouer approximativement entre 3 s et 3,6 s.

4.4.3 Essai de pelage "T"

Pour les applications avec des substrats souples ou des superstrats, vérifier la force d'adhérence au moyen d'un essai de pelage. Les échantillons doivent être soumis à l'essai dans une configuration de pelage en "T" conformément à l'IEC 61730-2:2016, 10.24 (MST 35). Toujours utiliser les stratifiés complets de superstrats et de substrats dans l'échantillon d'essai, car les mécaniques de la partie adhérente affectent les propriétés de charge et les valeurs finales. Utiliser deux ensembles d'échantillons, l'un comprenant uniquement des superstrats et l'autre comprenant uniquement des substrats. Cette configuration permet de vérifier l'adhérence aux deux surfaces et peut simplifier le maintien des angles de $(90 \pm 10)^\circ$ spécifiés dans le MST 35. Le taux de traction doit être de $(50 \pm 5) \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. La largeur d'échantillon doit être de $(10 \pm 1) \text{ mm}$. Conditionner les échantillons pendant au moins 16 h à $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, ou, selon la recommandation du fabricant concernant le joint d'étanchéité périphérique, avant les essais.

4.4.4 Essai de pelage à 90°

Pour les applications avec des substrats souples à rigides, l'IEC 61730-2:2016, 10.24 (MST 35) spécifie un essai de pelage à 90° . Le choix du substrat peut sérieusement affecter la force d'adhérence. C'est la raison pour laquelle les résultats de l'essai de pelage "T" peuvent ne pas suffire à assurer que l'ensemble de matériaux satisfera à l'évaluation des joints collés dans une configuration à 90° . Utiliser la même combinaison de substrats rigides et souples que celle prévue pour l'application. Tirer à $(50 \pm 5) \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Utiliser un arbre suffisamment long ou utiliser un porte-échantillon coulissant de sorte que l'angle soit toujours de $(90 \pm 5)^\circ$. Pour ces échantillons, la largeur de la zone d'essai doit être de $(10 \pm 1) \text{ mm}$ pour le substrat souple, mais le substrat rigide peut être d'une dimension pratique quelconque (par exemple, laminier le substrat souple jusqu'au substrat rigide et couper les bandes d'essai de sorte qu'elles aient la bonne largeur).

4.4.5 Essai d'assemblage bout à bout

Cet essai est effectué, de préférence, par prélèvement d'échantillons à partir d'un module PV de production, mais peut également être effectué à l'aide d'une maquette de module ou d'un mini-module. Des éprouvettes rectangulaires d'essai sont découpées dans le périmètre couvert de joint d'étanchéité périphérique. Un des côtés de l'éprouvette d'essai doit avoir une longueur égale à la largeur du joint d'étanchéité périphérique (généralement comprise entre 1 cm et 1,5 cm) et il convient que l'autre côté ait une longueur similaire à $\pm 25\%$. Les éprouvettes d'essai peuvent être découpées à l'aide d'une méthode quelconque qui s'avère pratique dans la mesure où elle engendre une coupe franche et ne déforme pas les échantillons de manière significative. Pour les éprouvettes d'essai en verre, il est recommandé de réaliser les coupes à l'aide d'une scie à eau ou d'une scie à jet d'eau. Les substrats souples peuvent être découpés par des cisaillements ou à l'aide d'une scie ou de tout autre moyen approprié.

Afin de soumettre à l'essai les éprouvettes, elles doivent être montées sur une poignée. Ceci est effectué en fixant des boulons de chaque côté de l'éprouvette d'essai afin de créer un échantillon d'essai monté et de tirer sur le joint. Les corps de boulon de courroie ont une importante surface plane adaptée à des fins d'adhérence. Cependant, tout type de boulons peut être utilisé dans la mesure où ledit boulon est suffisamment grand pour couvrir toute la surface des éprouvettes d'essai. Il a été démontré que les adhésifs à base de résine époxy sont suffisamment efficaces pour effectuer l'essai d'adhérence, mais plusieurs tentatives et erreurs peuvent être nécessaires pour trouver le meilleur adhésif pour chaque matériau. Les boulons doivent être collés de sorte que leur axe traverse le centre des échantillons et que les deux boulons soient parallèles. Les échantillons d'essai montés peuvent être assemblés en fixant le côté plat du boulon inférieur en position debout et en collant l'éprouvette d'essai de sorte à assurer qu'elle est centrée et que les surfaces sont parallèles. Lorsque l'adhésif est suffisamment durci, le boulon supérieur est collé à l'éprouvette d'essai et positionné de sorte à être parallèle et centré par rapport à l'autre boulon.

Pour les échantillons en verre trempé, tous les fragments de verre doivent rester collés à la surface des boulons après les essais. De même, pour les substrats souples, l'intégralité de la surface d'essai doit rester collée à la surface des boulons. Pour les substrats souples, l'adhésif utilisé pour fixer le boulon peut poser des problèmes quant à sa capacité à fluer par les côtés des échantillons et à coller de manière directe les boulons ensemble. C'est la raison pour laquelle les substrats minces peuvent être collés aux boulons avant d'être découpés du module et ultérieurement découpés le long du périmètre du boulon. Une autre méthode consiste à découper l'éprouvette d'essai aux mêmes dimensions que le boulon, puis à racler l'excès d'adhésif des côtés de l'ensemble.

À l'aide d'un cadre de charge à poignées fixées aux boulons de l'éprouvette (Figure 2a)), séparer les échantillons à une vitesse de déplacement du cadre de charge de $1 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ tout en consignait la force appliquée. La contrainte au moment de la défaillance, σ_{max} , est le rapport de la force maximale appliquée, F_{max} , sur la zone A de l'échantillon,

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{F_{\text{max}}}{A}$$

Si un extensomètre suffisamment précis peut être fixé aux échantillons, l'allongement à la rupture, γ_{max} , peut être déterminé comme étant le rapport du déplacement au point de force maximale, x_{max} , dans une courbe force-déplacement, sur l'épaisseur de l'échantillon, t .

$$\gamma_{\text{max}} = \frac{x_{\text{max}}}{t}$$

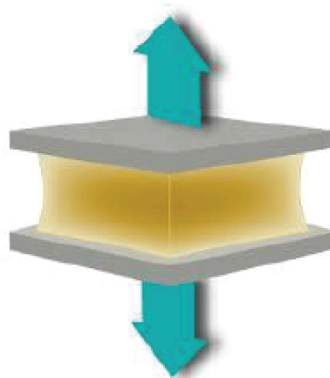
Le déplacement du cadre de charge ne peut pas être utilisé à cet effet.

Mesurer 10 échantillons et consigner l'écart moyen et l'écart type.



IEC

a)



IEC

b)

Figure 2 – Photographie (a)) et schéma (b)) d'une éprouvette d'essai à adhérence par traction z