

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules –
Part 7-3: Accelerated stress tests – Methods of abrasion of PV module external
surfaces**

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

**Partie 7-3: Essais sous contraintes accélérés – Méthodes d'abrasion des
surfaces externes des modules photovoltaïques**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules –
Part 7-3: Accelerated stress tests – Methods of abrasion of PV module external
surfaces**

**Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules
photovoltaïques –
Partie 7-3: Essais sous contraintes accélérés – Méthodes d'abrasion des
surfaces externes des modules photovoltaïques**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-1081-5

**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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 Artificial linear machine abrasion test (SAT01).....	8
4.1 Principle	8
4.2 Apparatus	8
4.2.1 Artificial linear machine abrasion apparatus.....	8
4.2.2 Brush.....	9
4.2.3 Abrasive medium (dry).....	9
4.2.4 Abrasive medium (wet slurry).....	10
4.3 Test specimens.....	10
4.3.1 Materials and geometry	10
4.3.2 Number of replicate specimens.....	11
4.3.3 Reference material	11
4.4 Test procedure.....	11
4.4.1 Setting up the apparatus and specimen	11
4.4.2 Performing the abrasion test.....	12
4.5 Specimen preparation for examination after testing.....	12
5 Artificial rotary machine abrasion test (SAT02)	13
5.1 General.....	13
5.2 Apparatus	13
5.2.1 Artificial rotary machine abrasion apparatus	13
5.2.2 Brush.....	14
5.2.3 Abrasive medium (dry).....	14
5.2.4 Abrasive medium (wet/slurry).....	15
5.3 Test specimens.....	15
5.4 Test procedure.....	15
5.5 Specimen preparation for examination after testing.....	15
6 Falling sand test (SAT03)	15
6.1 Principle	15
6.2 Apparatus	15
6.2.1 Falling sand apparatus	15
6.2.2 Abrasive medium	16
6.3 Test specimens.....	16
6.3.1 General	16
6.3.2 Number of replicate specimens.....	16
6.4 Test procedure.....	16
6.5 Specimen preparation for examination after testing.....	17
7 Forced sand impingement test (SAT04).....	17
7.1 Principle	17
7.2 Apparatus	17
7.2.1 Forced sand impingement apparatus	17
7.2.2 Abrasive medium	17

7.3	Test specimens.....	18
7.4	Procedure.....	18
7.5	Specimen preparation for examination after testing.....	18
8	Test report.....	18
Annex A (informative) References describing the durability of materials to linear abrasion.....		20
Bibliography.....		21
Figure 1 – Schematic showing the arrangement of bristle tufts on the rotary brush		14

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-7-3:2022

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –

Part 7-3: Accelerated stress tests – Methods of abrasion of PV module external surfaces

FOREWORD

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

IEC 62788-7-3 has been prepared by IEC technical committee 82:Solar photovoltaic energy systems. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
82/1987/FDIS	82/2009/RVD

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

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

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

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 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-7-3:2022

INTRODUCTION

There is a need for abrasion test methods in the PV industry, particularly for the front and back surfaces of PV modules. This document defines a set of test methods to be used for evaluating the abrasion of materials and coatings in photovoltaic modules or other solar devices. Linear and rotary machine abrasion methods are specified that can be used to address durability to abrasion with respect to the cleaning of solar devices. Linear abrasion is intended to emulate traditional manual methods of cleaning, where the cleaning equipment typically acts perpendicular to the surface, giving a scratching motion. Rotary abrasion is intended to emulate popular robotic methods of cleaning, where the cleaning element often may act along the surface in a swiping motion. Relative to DIN 53778-2 and ASTM D2486, application specific modifications for the machine abrasion tests include the longer bristle length, use of abrasive (test dust) of the size encountered in PV, the use of dry or wet abrasive as may be encountered during cleaning modules, and the number of test cycles relative to the maintenance of PV systems. A falling sand method is specified that can be used to address durability to abrasion with respect to damage from ordinary use in the application environment, i.e., typically meteorological events. Relative to DIN 52348, modifications include the quantity of test sand, which is intended for examination of PV surfaces and coatings. A forced sand impingement method is specified that can be used to address durability to abrasion from severe weather events and/or the most challenging locations of use. Relative to IEC 60068-2-68, modifications include the composition of test sand that may be compared to the PV application and the falling sand test in this document as well as the specified carrier velocities based on the PV application. The methods in this document can be used to aid performance analysis and/or for the purpose of material design/selection. Comparing the linear brush, rotary brush, falling sand, and forced impingement methods, different rates of abrasion and/or damage morphology can occur between the different test methods – they are not expected to produce the same result.

Formal working reference materials are identified in this document. The purpose of the working reference is to verify the apparatus is installed and working correctly. The characteristic(s) of interest can be verified on a regular basis (monthly, weekly, etc.). The characteristic(s) of interest and their values (with acceptance limits for precision) will be given in a referencing document or future version of this document, based on the results of an interlaboratory precision study.

MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –

Part 7-3: Accelerated stress tests – Methods of abrasion of PV module external surfaces

1 Scope

This part of IEC 62788 defines the test methods that can be used for evaluating the abrasion of materials and coatings in photovoltaic modules or other solar devices. This document may be applied to components on the incident surface (including coatings, frontsheet and glass) as well as the back surface (including backsheets or back glass). This document is intended to address abrasion of PV module surfaces and any coatings present using representative specimens (e.g. which can be centimetres in size); the methods and apparatus used here can also be used on PV module specimens (e.g. meters in size). A suite of tests and their methods are identified in this document, including falling sand, forced sand impingement, and machine (brush) abrasion. Materials and coatings can have different intended design purposes and design lifetimes and therefore no specific pass/fail criteria are defined in this document. The results of the testing can, however, be used to identify relative durability of coatings for various outdoor environments and cleaning practices. The methods can be used for the purpose of relative comparison, e.g. for the purpose of material or coating selection. The quantitative correlation between artificial abrasion and field erosion (which will depend on factors including climate or location of use as well as application, e.g. use of a tracker, rack-mount, roof-mount, building integrated, or vehicle integrated PV) can be established for each specific material or coating, which is beyond the scope of this document.

The correlation between the rates of degradation from the different test methods (linear brush, rotary brush, falling sand, and forced impingement) is beyond the scope of this document and may be covered in referencing documents. The correlation between the rates of degradation for unaged and aged specimens is also beyond the scope of this document and may be covered in referencing documents.

The methods related to the characterization of abraded specimens (which might include optical transmittance, optical reflectance, surface roughness, and surface energy) are not defined in this document; characterization methods from other standards (including optical transmittance, optical reflectance, electrical performance, surface roughness, and surface energy) can be applied to specimens abraded using the methods defined in this document. Methods for examining the contamination of specimens, including artificial soiling, are not examined in this document. Additional specimen conditioning can be applied prior to the methods in this document. The abrasion tests in this document can be referenced and/or applied in conjunction with an accelerated test or test sequence in other standards.

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 60068-2-68, *Environmental testing – Part 2-68: Tests – Test L: Dust and sand*

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

ISO 291, *Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing*

ISO 12103-1, *Road vehicles – Test contaminants for filter evaluation – Part 1: Arizona test dust*

ASTM D2486, *Standard test methods for scrub resistance of wall paints*

DIN 52348:1985-02, *Testing of glass and plastics; abrasion test; sand trickling method*

DIN 53778-2:1983-08, *Emulsion paints for interior use; evaluation of cleanability and of wash and scrub resistance of coatings*

MIL-STD-810G, *Environmental engineering considerations and laboratory tests*

VDI 3956, *Evaluation of the soiling properties of surfaces – Test method for the dust soiling behaviour of solar energy systems*

3 Terms and definitions

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

artificial abrasion

wear resulting from the cleaning of a PV device, including manual or robotic cleaning

3.2

natural erosion

wear resulting from the ordinary terrestrial use of a PV device

Note 1 to entry: Sources of erosion may include particulate impingement, particulate transport (from wind or water), or autonomous scraping (from snow or ice by gravity).

4 Artificial linear machine abrasion test (SAT01)

4.1 Principle

The machine abrasion methods are specified that can be used to address durability to abrasion with respect to the cleaning of solar devices. Linear abrasion is intended to emulate traditional manual methods of cleaning, where the cleaning equipment typically acts perpendicular to the surface, giving a scratching motion. The test is typically applied to the irradiance incident surface of a PV module. Because either dry or wet cleaning may be used to clean a PV module, both dry and wet (slurry) abrasives may be used in this test. The test may simulate the cleaning of fixed, tracked, or vehicle integrated PV.

4.2 Apparatus

4.2.1 Artificial linear machine abrasion apparatus

A linear abrasion apparatus fulfilling the requirements of ASTM D2486 or DIN 53778-2 shall be used. Essential components of the apparatus include: a linear abrasion mechanism, a brush, an abrasive dispenser (slurry or dry abrasive), and an enclosure (if applicable). An enclosure is recommended for the apparatus to prevent spilling or spraying of abrasive (dry or wet slurry abrasives) or the possibility of silicosis (with ventilation, for dry abrasive). Additional equipment and containers for the management of waste abrasive and its disposal after the test is advised.

The abrasion mechanism shall provide a brush stroke length of at least 14,5 cm. The brush may operate at either a constant or varied velocity through each stroke. The brush velocity of $30 \pm 3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ shall be used for the through the central 7,5 cm test region on the specimen during machine abrasion testing. Other test rates may be used for the purposes of research and development.

NOTE For example, the brush velocity of $30 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, when used with a stroke length of 25,4 cm corresponds to a test rate of 37 ± 1 cycles per minute.

Specimens shall be rigidly mounted relative to the apparatus using mechanical springs or clamps, tape or other means.

To ensure repeatability of results (i.e., avoid temperature-related effects related to the abrasion process or abrasive) the apparatus shall be maintained, in a laboratory maintained at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, $(50 \pm 10) \% \text{ RH}$, as specified per Class 2 in ISO 291.

The dispenser for dry dust shall be separated from the specimen surface by at least 10 cm to provide clearance for the motion of the brush (in both linear and rotary configurations) and also aid dispensing to the designated test area of the specimen.

The dispenser for wet slurry shall be separated from the specimen surface by at least 5 cm to aid dispensing to the designated test area of the specimen.

4.2.2 Brush

The brush block shall be $(35 \pm 1) \text{ mm} \times (85 \pm 1) \text{ mm}$ in area and $(13 \pm 1) \text{ mm}$ in thickness.

The brush bristles shall consist of polyamide 612, $(0,23 \pm 0,03) \text{ mm}$ in diameter that extend $(38 \pm 2) \text{ mm}$ from the brush block. Brushes with bristles shorter than 35 mm in length shall be replaced. The bristle profile shall be round with no taper or other change in geometry along their length. The lateral space of 12 mm shall be used for the bristle tuft columns along the length of the brush, with a offset space of 4 mm between rows and lateral offset space of 6 mm between adjacent bristle columns. The bristle tufts shall be staggered in a 5-4-5-4-... pattern along the brush, with total of 59 tufts. The bristle count shall be $(158 \pm 6) \text{ tips}\cdot\text{tuft}^{-1}$.

A 325 g external weight shall be used with the brush, as in ASTM D2486. The nominal brush weight of 125 g includes the dry weight of brush block and bristles. The nominal brush net weight (including 5 g attachment bolt) shall be $455 \pm 10 \text{ g}$, including the dry weight of brush block, bristles, external weight, fasteners, and holder. The nominal contact force of 4,46 N shall result from the self-weight of the components; no spring or other external force shall be used.

4.2.3 Abrasive medium (dry)

The dry abrasive medium shall consist of A3 (medium) AZ test dust, as specified in ISO 12103-1. The nominal abrasive concentration of $(0,7) \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{cycle}^{-1}$ shall be used during the test. To ensure repeatability, the test dust shall not be reused after testing. Other abrasive materials or quantities of abrasive may be used for the purposes of research and development.

NOTE The abrasive concentration of $(20 \pm 5) \text{ mg}\cdot\text{cycle}^{-1}$ when applied to the nominal area of the linear brush $(29,75) \text{ cm}^{-2}$ provides the nominal abrasive concentration of $(0,7) \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{cycle}^{-1}$.

Dry abrasive shall be maintained at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10) \% \text{ RH}$ for at least 24 h, as specified per Class 2 in ISO 291, prior to use in the linear abrasion test.

For the dry abrasive test, the brush bristles shall be maintained at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10) \% \text{ RH}$ for at least 24 h, as specified per Class 2 in ISO 291, prior to use in the linear abrasion test.

Other dry abrasives may be used for the purposes of research and development. Dry abrasive may be used in conjunction with an artificial soiling method for the purposes of research and development. Alternative abrasives include the “Middle East” (ME) test dust as specified in VDI 3956, and “quartz free” AZ test dust (similar to ISO 12103-1, but using corundum instead of silica to avoid safety issues related to respiration). Both particle size and particle composition can affect the rate of abrasion. The aforementioned alternative abrasives have not been widely studied relative to ISO 12103-1 AZ test dust.

4.2.4 Abrasive medium (wet slurry)

The wet abrasive medium shall consist of A3 (medium) AZ test dust, as specified in ISO 12103-1. The abrasive concentration of $(5,0 \pm 0,2) \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ in deionized water shall be used during the test. The slurry shall be flowed at the rate of $(5,0 \pm 0,2) \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ during the test. To ensure repeatability, the test dust shall not be reused after testing. Other abrasive materials or quantities of abrasive may be used for the purposes of research and development.

NOTE The abrasive concentration of $(5,0 \pm 0,2) \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ when flowed at the rate of $(5,0 \pm 0,2) \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ to the nominal area of the linear brush $(29,75) \text{ cm}^2$ provides the nominal abrasive concentration of $(0,4) \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{cycle}^{-1}$ for the nominal brush travel distance $(25,4 \text{ cm})$ and operating speed $(30 \pm 3 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1})$.

Deionized water at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ shall be used during the test to avoid temperature-related effects related to the abrasion process or abrasive.

For the wet slurry abrasive test, the brush bristles shall be conditioned using water for 24 h before the start of the test. Methods of brush conditioning include soaking the bristles in a container of water, completely immersing the brush in a container of water, and/or the use of water flow (where the water or brush may be adjusted to provide regular conditioning). Brushes that are in frequent use may be stored in water.

A stirring apparatus shall be used with the slurry to improve the uniformity of concentration of dust in the slurry as well as to facilitate uniform concentration through the duration of testing. In addition to the stirring/mixing of the slurry, the apparatus and its plumbing should produce good uniformity of deposition slurry on the sample.

Other wet slurry abrasives may be used for the purposes of research and development.

4.3 Test specimens

4.3.1 Materials and geometry

Specimens may consist of representative coupons. The specimens shall be composed of a base material (or substrate), where a coating (if applicable) may be present on the test surface. Representative coupons shall be at least $(7,5 \pm 0,2) \text{ cm} \times (7,5 \pm 0,2) \text{ cm}$ in size. Module specimens or glass specimens (for tempered glass, where cutting is impossible) may also be used, if they may be accommodated in the apparatus. In the case of modules, the specimens shall contain at least three test regions $7,5 \text{ cm} \times 7,5 \text{ cm}$ in length and width, separated at least $37,5 \text{ cm}$. In the case of unaged specimens, or specimens with no previous test-history, the test region(s) shall be representative of that used in the PV application, being free from visible damage, delamination, or other defects. In the case of weathered specimens or specimens with a previous test-history, the specimen shall be used in its received condition. In the case of polymeric material specimens such as backsheets or frontsheets, both principal directions should be tested, including the machine extrusion direction and the traverse direction.

Some coatings can have limitations regarding the specimen size that can be used to fabricate a representative sample. For example the glass might need to be tempered as part of the manufacturing process, where a $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ minimum glass size is required. In such cases, a larger coupon size or a module specimen can be used.

Commercial abrasion test equipment fulfilling the requirements of the test apparatus may be used to test region(s) within a module, if the test apparatus is located and fixtured relative to the test surface of the module. A custom apparatus with equivalent characteristics to a commercial tester may be used for large coupon or module specimens.

4.3.2 Number of replicate specimens

In the case of representative coupons, at least three replicates shall be used. If the apparatus has adequate space or number of brushes, the replicates may be tested together, simultaneously. The use of glass blanks (where the size may be smaller than 7,5 cm) at the sides of the test specimens is recommended to avoid a discontinuous loading of the brush along its path during testing, i.e., the surfaces in PV modules are typically longer than 7,5 cm.

In the case of a PV module at least three replicate modules or three separate regions on the same module shall be used. Test regions on the same PV module shall be separated at least 37,5 cm. The test areas may be marked prior to testing to aid subsequent examination.

In the case of unaged specimens, or specimens with no previous test history, the specimen may be cleaned prior to testing. A mild detergent (e.g., a non-perfumed liquid soap as recommended by the manufacturer) may be used with deionized water as a cleaning solvent. A fresh cloth wipe may be used to facilitate cleaning. After cleaning, specimens may be dried in the ambient or dried using a jet of clean dry air.

There are no specimen conditioning requirements for this test. Specimens subject to the slurry test do not need to be soaked in water prior to testing.

4.3.3 Reference material

B 270 "Superwhite" crown glass (Schott AG) should be used as a default reference material in other abrasion-related standards. "Borofloat" glass (Schott AG) may be used as a reference material, as in the case of a silica thin film or monolithic silica substrate or superstrate. "Acrylite 0Z023" poly(methyl methacrylate) (Evonik Industries AG) may be used as a reference material, as in the case of a polymer substrate or superstrate. Addition coupons of a reference material should be tested alongside the test specimens in the abrasion test.

NOTE The reference materials are given for the convenience of users of this document and do not constitute an endorsement by IEC of these products.

An informal working reference specimen may be used for the purposes of process- and manufacturing-control or research and development. In the case of coupon specimens, a substrate with no coating may be used as an informal working reference specimen. In the case of module specimens, a module or mini-module with no coating may be used as an informal working reference. The details of use of an informal working reference, including: the frequency of use; the characteristic(s) of interest; and acceptance limits may be specified by the user.

4.4 Test procedure

4.4.1 Setting up the apparatus and specimen

The apparatus shall be cleaned of residual abrasive, remaining from previous testing (if applicable).

The abrasive and apparatus (brush) shall be conditioned as designated prior to testing.

- Attach the specimen to the apparatus.
- Activate the abrasive dispenser.
- Activate the abrasion mechanism.

4.4.2 Performing the abrasion test

The following methods are given to standardize the test procedure, e.g., to facilitate comparison between laboratories or materials. The durability of the specimen(s) to abrasion may, however, be known from previous experience or anticipated based on the prescribed cleaning. Therefore additional methods may be used for the abrasion test. Additional readpoints (more than 5) may also be used with the test.

Method (A): For coatings anticipated to have a low cleaning severity (infrequent cleaning), a 20 cycle increment should be used between readpoints, with readpoints up to 100 cycles.

Method (B): For coatings anticipated to have a moderate cleaning severity (intermediate cleaning), a 100 cycle increment should be used between readpoints, with readpoints up to 500 cycles.

Method (C): For coatings anticipated to have a high cleaning severity (frequent cleaning), a 2 000 cycle increment should be used between readpoints, with readpoints up to 10 000 cycles.

A stroke in the forward and then reverse direction shall be considered complete cycle.

If the coating is observed to be destroyed (during characterization, according to characterization method(s) specified outside of this document), the test may be terminated with no additional readpoints.

NOTE Some examples of the durability of materials to linear abrasion (including roughened surfaces, chemically functionalized surfaces, porous silica coatings – including coatings deposited using a so-gel or other means, thin polymer film, and hard dielectric coatings) can be found in Annex A.

4.5 Specimen preparation for examination after testing

The specimen shall be cleaned to remove residual test sand using a deionized water rinse or deionized water spray. No detergent should be used if the surface energy is to be characterized, e.g., using liquid contact angle or liquid roll-off angle measurements. A cleaning solvent (rinse or spray) may be used before or intermediate-to deionized water for cleaning. A clean dry air spray or nitrogen spray shall then be used to dry the sample. Additional drying methods may be specified in other referencing standards, e.g., use of elevated temperature, an applied irradiance, or a desiccator chamber after abrasion and before specimen characterization.

For some characterization methods it is preferred to avoid contact cleaning of the specimens, because inadvertent abrasion damage may affect the results. For some characterization methods, however, contact cleaning (e.g. with a lens tissue) may be required to remove particulate matter from the specimen surface (e.g. to obtain valid spectral transmittance measurements). The use of noncontact or contact cleaning may be specified in the referencing document.

Perform specimen characterizations as specified elsewhere, i.e., in standards referencing IEC 62788-7-3.

5 Artificial rotary machine abrasion test (SAT02)

5.1 General

The machine abrasion methods are specified that can be used to address durability to abrasion with respect to the cleaning of solar devices. Rotary abrasion is intended to emulate popular robotic methods of cleaning, where the cleaning element often may act along the surface in a swiping motion. The test is typically applied to the irradiance incident surface of a PV module. Because either dry or wet cleaning may be used to clean a PV module, both dry and wet (slurry) abrasives may be used in this test. The test may simulate the cleaning of fixed or vehicle integrated PV. Cleaning of fixed PV may be performed with rotation, combined with a linear direction of motion. Cleaning of vehicle integrated PV may use equipment from the automotive industry.

5.2 Apparatus

5.2.1 Artificial rotary machine abrasion apparatus

There is no existing commercial test equipment for the rotary abrasion test fulfilling the specifications identified below, therefore custom equipment may be used. Essential components of the apparatus include: a linear actuation mechanism, a rotary abrasion mechanism, a brush, an abrasive dispenser (slurry or dry abrasive), and an enclosure (if applicable). An enclosure is recommended for the apparatus to prevent spilling or spraying of abrasive (dry or wet slurry abrasives) or the possibility of silicosis (with ventilation, for dry abrasive). Additional equipment and containers for the management of waste abrasive and its disposal after the test is advised.

The linear actuation mechanism shall provide a brush stroke length of at least 14,5 cm. The brush may operate at either a constant or varied velocity through each stroke. The brush velocity of $30 \pm 3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ shall be used for the through the central 7,5 cm test region on the specimen during machine abrasion testing. Other test rates may be used for the purposes of research and development.

NOTE 1 For example, the brush velocity of $30 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$, when used with a stroke length of 25,4 cm corresponds to a test rate of 37 ± 1 cycles per minute.

The rotary brush mechanism shall provide a constant brush rotation rate of $(120 \pm 5) \text{ rpm}$. Other rotation rates may be used for the purposes of research and development.

Specimens shall be rigidly mounted relative to the apparatus using mechanical springs or clamps, tape or other means.

To ensure repeatability of results (i.e., avoid temperature-related effects related to the abrasion process or abrasive) the apparatus shall be maintained, in a laboratory maintained at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, $(50 \pm 10) \% \text{ RH}$, as specified per Class 2 in ISO 291.

The same dispensing apparatus may be used for dry dust in the rotary machine abrasion test as used in the linear machine abrasion test. A representative $\text{mass}\cdot\text{area}^{-1}\cdot\text{cycle}^{-1}$ concentration is given for dry dust in 4.2.3.

The same dispensing apparatus may be used for wet slurry in the rotary machine abrasion test as used in the linear machine abrasion test. A representative $\text{mass}\cdot\text{area}^{-1}\cdot\text{cycle}^{-1}$ concentration is given for slurry in 4.2.4.

NOTE 2 The rate of rotation for the brush is chosen to give a rate that is representative for some cleaning equipment used in the PV industry. The tangential velocity of the brush tips during use will vary with the rate of rotation of the brush.

The dispenser for dry dust shall be separated from the specimen surface by at least 10 cm to provide clearance for the motion of the brush (in both linear and rotary configurations) and to aid dispensing to the designated test area of the specimen.

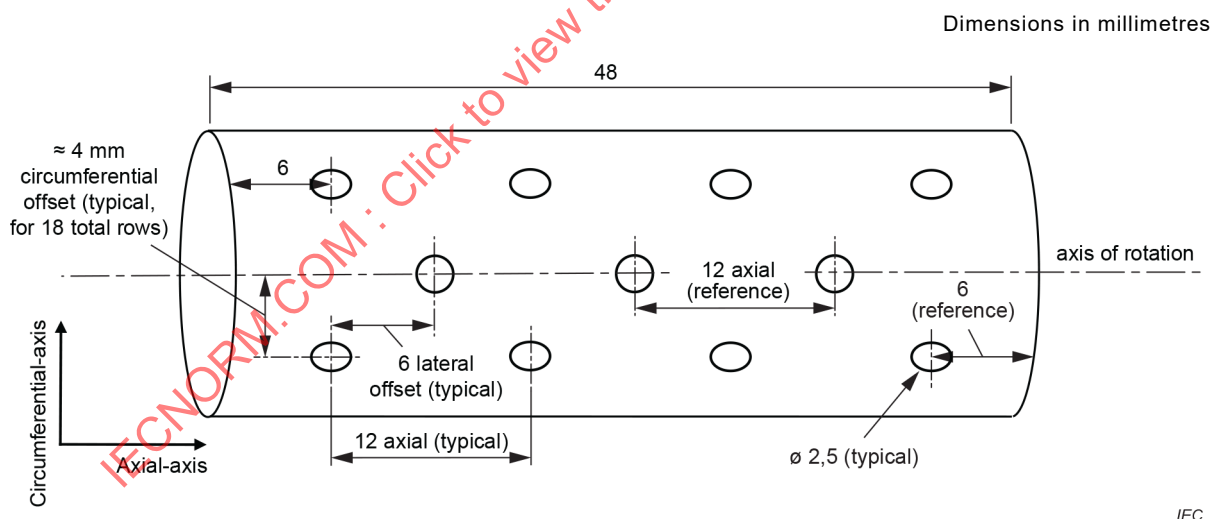
The dispenser for wet slurry shall be separated from the specimen surface by at least 5 cm to aid dispensing to the designated test area of the specimen.

The dispenser for wet slurry shall be located relative to the brush so that the tangential velocity from the rotation of the brush and the translational velocity of the brush are maximized (most additive) during abrasion testing. If the brush is observed to rotate in a clockwise direction during its operation, then the dispenser shall be located to the left of the brush. If the brush is observed to rotate in a counter-clockwise direction during its operation, then the dispenser shall be located to the right of the brush.

5.2.2 Brush

The brush block shall be a round cylinder (24 ± 1) mm in diameter and at least (48 ± 1) mm in length.

The brush bristles shall consist of polyamide 612, ($0,23 \pm 0,03$) mm in diameter that extend (38 ± 2) mm from the brush block. Brushes with bristles shorter than 35 mm in length shall be replaced. The bristle profile shall be round, with no taper or other change in geometry along their length. As shown in Figure 1, the lateral space of 12 mm shall be used for the bristle tuft columns along the axial length of the brush, with a lateral offset space of 6 mm between adjacent bristle columns and circumferential offset space of ~ 4 mm between rows (to give 18 total rows). The bristle tufts shall be staggered in a 4-3-4-3-... pattern along the brush to give a total of 63 tufts. The bristle count shall be (158 ± 6) tips-tuft⁻¹, which may be mounted in a ($2,5 \pm 0,1$) mm diameter via.



IEC

Figure 1 – Schematic showing the arrangement of bristle tufts on the rotary brush

The nominal brush location in the machine abrasion apparatus shall provide a separation of 45 mm between the surface of the specimen and the center of the axis of rotation of the brush. The separation distance does not need to be adjusted through the useful life of the rotary brush.

NOTE For the rotary brush, the separation distance establishes the contact force during testing.

5.2.3 Abrasive medium (dry)

The dry abrasive medium shall fulfil the requirements of 4.2.3.

5.2.4 Abrasive medium (wet/slurry)

The wet abrasive medium shall fulfil the requirements of 4.2.4.

5.3 Test specimens

Specimens shall fulfil the requirements of 4.3 and the corresponding 4.3.1, 4.3.2, and 4.3.3.

5.4 Test procedure

Using the rotary abrasion apparatus, perform the test according to 4.4.

5.5 Specimen preparation for examination after testing

Prior to examination, perform specimen preparation according to 4.5.

6 Falling sand test (SAT03)

6.1 Principle

The falling sand method can be used to address durability to abrasion with respect to damage from ordinary use in the application environment, i.e., typically meteorological events. The sand drop test is intended to simulate natural erosion from blown sand or dust, i.e., wear resulting from typical meteorological conditions. The test may be applied to irradiance incident surfaces or materials on the back of a PV module.

6.2 Apparatus

6.2.1 Falling sand apparatus

A falling sand apparatus fulfilling the requirements of DIN 52348 shall be used. Essential components of the apparatus include: the diameter of orifice, guide tube inner diameter, number and location of mesh sieves within the guide tube, fall length, and specimen inclination angle.

Diameter of orifice: 3,5 mm

Guide tube inner diameter: 120 mm

Number of mesh sieves: 2

Fall length 1,65 m (Impact velocity: 5,7 m/s)

Specimen angle: 45°.

A rotating specimen fixture (e.g., with 250 rpm as in DIN 52348) may be used in order to obtain a uniformly abraded test area within specimens. To ensure repeatability of results (i.e. avoid clumping of the abrasive and ensure reproducibility of surface erosion) the fixture shall be maintained, with the test being performed, in a laboratory maintained at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$, $(50 \pm 10) \% \text{ RH}$, as specified per Class 2 in ISO 291.

An enclosure is recommended for the apparatus to prevent spilling or spraying of abrasive or the possibility of silicosis.

The default specimen mounting angle (for standardization of testing) is 45°. For experiments or research examining the effect of mounting angle (for PV on a fixed tilt rack), or the abrasion of PV on trackers, or for PV module products intended to be used at a specified angle of incidence, the specimen angle for the falling sand test may be varied from the nominal angle of 45°.

6.2.2 Abrasive medium

The abrasive medium shall consist of DIN 52348 silica sand (grain size from 0,5 mm to 0,7 mm). The total quantities of sand shall be used, with a read point performed after each test: 1,5 kg, 3,0 kg, 6,0 kg, 9,0 kg, and 12,0 kg. The sand may be used in successive incremental or separate amounts to achieve the cumulative quantities. To ensure repeatability, the sand shall not be reused after testing. Other abrasive materials or quantities of abrasive may be used for the purposes of research and development.

NOTE 1 The nominal grain size from 0,5 mm to 0,7 mm corresponds to the ISO 3310-1 mesh scale of 30 to 22, and the ASTM E11 mesh scale of 35 to 25.

The abrasive shall be maintained at $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ and $(50 \pm 10) \% \text{ RH}$ for at least 24 h, as specified per Class 2 in ISO 291, prior to use in the falling sand test.

NOTE 2 While the mass is used to determine the quantity of sand, the aforementioned quantities of sand correspond to the approximate volume of 0,6 l, 1,1 l, 2,3 l, 3,4 l, and 4,5 l of sand.

6.3 Test specimens

6.3.1 General

Specimens shall fulfil the requirements of 4.3 and the corresponding 4.3.1, 4.3.2, and 4.3.3.

6.3.2 Number of replicate specimens

In the case of representative coupons, at least three replicates shall be used.

In the case of a PV module at least three replicate modules or three separate regions on the same module shall be used. Test regions on the same PV module shall be separated by at least 37,5 cm. The test areas may be marked prior to testing to aid subsequent examination.

In the case of unaged specimens, or specimens with no previous test-history, the specimen may be cleaned prior to testing. A mild detergent (e.g., a non-perfumed liquid soap as recommended by the manufacturer) may be used with deionized water as a cleaning solvent. A fresh cloth wipe may be used to facilitate cleaning. After cleaning, specimens may be dried in the ambient or dried using a jet of clean dry air.

There are no specimen conditioning requirements for this test. Specimens subject to the slurry test do not need to be soaked in water prior to testing.

6.4 Test procedure

The specimen(s), abrasive, and apparatus shall be conditioned as designated prior to testing.

- Attach the specimen to the apparatus target.
- Align the target relative to the guide tube in the falling sand fixture (if applicable).
- Activate rotation of the apparatus target (if applicable).
- Pour abrasive into the hopper of the falling sand fixture to initiate the test.
- Remove the specimen from the test fixture.

The specimen shall be cleaned to remove residual test sand using a deionized water rinse or deionized water spray. No detergent should be used if the surface energy is to be characterized, e.g., using liquid contact angle or liquid roll-off angle measurements. A cleaning solvent (rinse or spray) may be used before or intermediate-to deionized water for cleaning. A clean dry air spray or nitrogen spray shall then be used to dry the sample. Additional drying methods may be specified in other referencing standards, e.g., a desiccator chamber for surface energy measurements.

For some characterization methods it is preferred to avoid contact cleaning of the specimens, because inadvertent abrasion damage may affect the results. For some characterization methods, however, contact cleaning (e.g. with a lens tissue) may be required to remove particulate matter from the specimen surface (e.g. to obtain valid spectral transmittance measurements). The use of noncontact or contact cleaning may be specified in the referencing document.

Perform specimen characterizations as specified elsewhere, i.e., in standards referencing IEC 62788-7-3.

6.5 Specimen preparation for examination after testing

Prior to examination, perform specimen preparation according to 4.5.

7 Forced sand impingement test (SAT04)

7.1 Principle

The forced sand impingement method can be used to address durability to abrasion from severe weather events and/or the most challenging locations of use. For fixed PV, the forced sand impingement test is intended to simulate natural erosion from blown sand or dust during infrequent, high energy storms. For vehicle integrated PV, the forced sand impingement test may simulate natural erosion from blown sand or dust during vehicle use. The test may be applied to irradiance incident surfaces or materials on the back of a PV module.

7.2 Apparatus

7.2.1 Forced sand impingement apparatus

A forced sand apparatus fulfilling the requirements of IEC 60068-2-68 or MIL-STD-810G shall be used. Essential components of the apparatus include: a test chamber (including temperature and humidity control), an air stream of controlled velocity, and an abrasive injection system. To ensure repeatability of results (i.e. avoid clumping of the abrasive and ensure reproducibility of surface erosion) the chamber shall be maintained, with the test being performed at $(63 \pm 2) ^\circ\text{C}$, $(25 \pm 10) \% \text{RH}$. Specimen mounting may be used including: Configuration A (the target fixture and specimen is maintained at $(90 \pm 2) ^\circ$ to the air flow direction), or Configuration B (the specimen is maintained at $(45 \pm 2) ^\circ$ to the air flow direction).

A rotating specimen/target fixture is not required, but may be used to improve the uniformity of abrasion from the test. Factors including gravity and a boundary layer (including rebounding sand at the specimen surface) may reduce the uniformity of abrasion.

The air flow velocity may be used including: Method A (the velocity of $(18 \pm 2) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), Method B (the velocity of $(30 \pm 2) \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), or other velocities according to national, regional, or local codes in specific PV applications.

The default specimen mounting angle (for standardization of testing) is 90° (perpendicular to the air flow). For experiments or research examining the effect of mounting angle (for PV on a fixed tilt rack), or the abrasion of PV on trackers, or for PV module products intended to be used at a specified angle of incidence, the specimen angle for the falling sand test may be varied from the nominal angle of 90° .

7.2.2 Abrasive medium

The abrasive medium shall consist of DIN 52348 silica sand (grain size from 0,5 mm to 0,7 mm). The abrasive concentration of $2,2 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ shall be used in the air stream during the test. To ensure repeatability, the sand shall not be reused after testing. Other abrasive materials or quantities of abrasive may be used for the purposes of research and development.

NOTE The nominal grain size from 0,5 mm to 0,7 mm corresponds to the ISO 3310-1 mesh scale of 30 to 22, and the ASTM E11 mesh scale of 35 to 25.

The abrasive shall be baked at $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$ (with the relative humidity uncontrolled) for at least 2 h prior to use in the forced sand test.

7.3 Test specimens

Specimens shall fulfil the requirements of 4.3 and the corresponding 4.3.1, 4.3.2, and 4.3.3.

7.4 Procedure

The specimen(s), abrasive, and apparatus shall be conditioned as designated prior to testing.

- Attach the specimen to the apparatus target.
- Align the target relative to the air flow (if applicable).
- Activate rotation of the apparatus target (if applicable).
- Activate the air flow, with the controlled concentration of abrasive present for 2 h.
- Remove the specimen from the test fixture.

The specimen shall be cleaned to remove residual test sand using a deionized water rinse or deionized water spray. No detergent should be used if the surface energy is to be characterized, e.g., using liquid contact angle or liquid roll-off angle measurements. A cleaning solvent (rinse or spray) may be used before or intermediate-to deionized water for cleaning. A clean dry air spray or nitrogen spray shall then be used to dry the sample. Additional drying methods may be specified in other referencing standards, e.g., a desiccator chamber for surface energy measurements.

For some characterization methods it is preferred to avoid contact cleaning of the specimens, because inadvertent abrasion damage may affect the results. For some characterization methods, however, contact cleaning (e.g. with a lens tissue) may be required to remove particulate matter from the specimen surface (e.g. to obtain valid spectral transmittance measurements). The use of noncontact or contact cleaning may be specified in the referencing document.

Perform specimen characterizations as specified elsewhere, i.e., in standards referencing IEC 62788-7-3.

7.5 Specimen preparation for examination after testing

Prior to examination, perform specimen preparation according to 4.5.

8 Test report

A test report shall be prepared containing the following minimum 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;
- e) description and identification of the item tested, including the specimen size;
- f) characterization and condition of the test item, including sample orientation (if applicable);
- g) date of receipt of test item and date(s) of test;
- h) identification of the apparatus equipment, test (falling sand, forced sand impingement, linear abrasion, or rotary abrasion), method (if applicable) and abrasive used;

- i) the severity of exposure (including the mass of sand, test duration, or number of test cycles);
- j) the specimen history (e.g., before or after testing in a sequence, if applicable);
- k) reference to sampling procedure, where relevant;
- l) any deviations from, additions to, or exclusions from, the test method and any other information relevant to a specific test, such as environmental conditions; and the procedure(s) and condition(s) used for weathering and any preconditioning conducted prior to measurements;
- m) measurements, examinations and derived results supported by tables, graphs, sketches and photographs as appropriate;
- n) a signature and title, or equivalent identification of the person(s) accepting responsibility for the content of the report, and the date of issue;
- o) where relevant, a statement to the effect that the results relate only to the items tested;
- p) 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 62788-7-3:2022

Annex A (informative)

References describing the durability of materials to linear abrasion

Jaione Bengoechea, María Jesús Rodríguez, Eugenia Zugasti, Ana Rosa Lagunas, "Susceptibility of CPV optical materials to abrasion", *AIP Conference Proceedings* 2149, 2019, 070002; <https://doi.org/10.1063/1.5124201>

K. Lange, M.A. Bahattab, S.H. Alqahtani, M. Mirza, W. Glaubitt, V. Naumann, C. Hagendorf, K.K. Ilse, "Combined Soiling and Abrasion Testing of Anti-Soiling Coatings", *IEEE J PV*, 10 (1), 2020, 243-249, doi: 10.1109/JPHOTOV.2019.2945192

Jimmy M. Newkirk, Illya Nayshevsky, Archana Sinha, Adam Law, QianFeng Xu, Bobby To, Paul F. Ndione, Laura T. Schelhas, John M. Walls, Alan M. Lyons, David C. Miller, "Artificial Linear Brush Abrasion of Coatings for Photovoltaic Module First Surfaces", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 219, 2021, 110757. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2020.110757>

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-7-3:2022

Bibliography

ISO 3310-1, *Test sieves – Technical requirements and testing – Part 1: Test sieves of metal wire cloth*

ASTM C778, *Standard specification for standard sand*

ASTM E11, *Standard specification for woven wire test sieve cloth and test sieves*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-7-3:2022

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	24
INTRODUCTION.....	26
1 Domaine d'application	27
2 Références normatives	28
3 Termes et définitions	28
4 Essai d'abrasion artificielle par machine linéaire (SAT01).....	29
4.1 Principe	29
4.2 Appareillage.....	29
4.2.1 Appareillage d'abrasion artificielle par machine linéaire	29
4.2.2 Brosse	29
4.2.3 Milieu abrasif (sec)	30
4.2.4 Milieu abrasif (boues humides)	30
4.3 Éprouvettes d'essai	31
4.3.1 Matériaux et configuration	31
4.3.2 Nombre de répliqués.....	32
4.3.3 Matériau de référence.....	32
4.4 Procédure d'essai	32
4.4.1 Montage de l'appareillage et de l'éprouvette.....	32
4.4.2 Réalisation de l'essai d'abrasion.....	33
4.5 Préparation des éprouvettes pour examen après essai	33
5 Essai d'abrasion artificielle par machine rotative (SAT02).....	34
5.1 Généralités	34
5.2 Appareillage.....	34
5.2.1 Appareillage d'abrasion artificielle par machine rotative.....	34
5.2.2 Brosse	35
5.2.3 Milieu abrasif (sec)	36
5.2.4 Milieu abrasif (boues humides)	36
5.3 Éprouvettes d'essai	36
5.4 Procédure d'essai	36
5.5 Préparation des éprouvettes pour examen après essai	36
6 Essai d'abrasion au sable (SAT03)	36
6.1 Principe	36
6.2 Appareillage.....	37
6.2.1 Appareillage d'abrasion au sable	37
6.2.2 Milieu abrasif	37
6.3 Éprouvettes d'essai	37
6.3.1 Généralités	37
6.3.2 Nombre de répliqués.....	38
6.4 Procédure d'essai	38
6.5 Préparation des éprouvettes pour examen après essai	38
7 Essai d'impact par sable pulsé (SAT04).....	39
7.1 Principe	39
7.2 Appareillage.....	39
7.2.1 Appareillage d'impact par sable pulsé.....	39
7.2.2 Milieu abrasif	39

7.3	Éprouvettes d'essai	40
7.4	Procédure	40
7.5	Préparation des éprouvettes pour examen après essai	40
8	Rapport d'essai	40
Annexe A (informative) Références de description de la durabilité des matériaux à l'abrasion linéaire		42
Bibliographie.....		43
Figure 1 – Schéma de présentation de la disposition des touffes de soie sur la brosse rotative		36

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-7-3:2022

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 7-3: Essais sous contraintes accélérés – Méthodes d'abrasion des surfaces externes des modules photovoltaïques

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 62788-7-3 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire. Il s'agit d'une Norme internationale.

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

Projet	Rapport de vote
82/1987/FDIS	82/2009/RVD

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

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

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

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 du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62788-7-3:2022

INTRODUCTION

Des méthodes d'essai d'abrasion sont nécessaires dans le secteur du photovoltaïque, notamment pour les surfaces avant et arrière des modules photovoltaïques. Le présent document définit un ensemble de méthodes d'essai à utiliser pour l'évaluation de l'abrasion des matériaux et revêtements des modules photovoltaïques ou autres dispositifs solaires. Il spécifie des méthodes d'abrasion par machine linéaire et par machine rotative qui peuvent être utilisées pour traiter de la durabilité à l'abrasion par rapport au nettoyage des dispositifs solaires. L'abrasion linéaire est destinée à imiter les méthodes de nettoyage manuelles traditionnelles, dont le matériel de nettoyage agit généralement de façon perpendiculaire à la surface suivant un mouvement de grattage. L'abrasion rotative est destinée à imiter les méthodes répandues de nettoyage par un robot, dont l'élément de nettoyage peut souvent agir le long de la surface suivant un mouvement de balayage. Par rapport à la norme DIN 53778-2 ou ASTM D2486, les changements spécifiques d'application des essais d'abrasion par machine comprennent la longueur de soie la plus longue, l'utilisation des matières abrasives (poussière d'essai) de la taille présente en modules photovoltaïques, l'utilisation des matières abrasives sèches ou humides qui peuvent être rencontrées pendant les modules de nettoyage, et le nombre des cycles d'essai par rapport à l'entretien des systèmes photovoltaïques. Le présent document spécifie une méthode d'abrasion au sable qui peut être utilisée pour traiter de la durabilité à l'abrasion par rapport à tout dommage dû à une utilisation ordinaire dans l'environnement d'application, c'est-à-dire les phénomènes météorologiques, en général. Par rapport à la norme DIN 52348, les changements comprennent la quantité de sable d'essai, qui est prévue pour examen des surfaces et revêtements photovoltaïques. De même, il spécifie une méthode d'impact par sable pulsé qui peut être utilisée pour traiter de la durabilité à l'abrasion par rapport à des phénomènes météorologiques graves et/ou aux emplacements d'utilisation les plus complexes. Par rapport à l'IEC 60068-2-68, les changements incluent la composition du sable d'essai qui peut être comparée tant à l'application photovoltaïque et à l'essai d'abrasion au sable du présent document, qu'aux vitesses de porteur spécifiées sur la base de l'application photovoltaïque. Les méthodes définies dans le présent document peuvent être utilisées pour faciliter l'analyse des performances et/ou être utilisées pour la conception/sélection des matériaux. En comparant la brosse linéaire, la brosse rotative, l'abrasion au sable et les méthodes d'impact par sable pulsé, les différentes méthodes d'essai peuvent présenter des taux d'abrasion et/ou types de dommages différents – elles ne sont pas réputées produire le même résultat.

Des matériaux de référence de travail formelle sont identifiés dans le présent document. La référence de travail a pour objet de vérifier l'installation et le fonctionnement corrects de l'appareillage. La ou les caractéristiques concernées peuvent être vérifiées de manière régulière (sur une base mensuelle, hebdomadaire, etc.). La ou les caractéristiques concernées et leurs valeurs (avec des limites d'acceptation pour la précision) sont indiquées dans un document de référence ou une future version du présent document sur la base des résultats d'une étude de précision interlaboratoire.

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Part 7-3: Essais sous contraintes accélérés – Méthodes d'abrasion des surfaces externes des modules photovoltaïques

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62788 définit les méthodes d'essai qui peuvent être utilisées pour l'évaluation de l'abrasion des matériaux et revêtements des modules photovoltaïques ou autres dispositifs solaires. Le présent document peut être appliqué aux composants présents tant sur la surface concernée (y compris les revêtements, la feuille avant et le verre), que sur la face arrière (y compris les feuilles arrière ou le verre face arrière). Le présent document est destiné à traiter de l'abrasion des surfaces de modules photovoltaïques et tout revêtement présent au moyen d'éprouvettes représentatives (par exemple, dont la taille peut se mesurer en centimètres). Certaines méthodes et certains appareillages utilisés avec ce type d'éprouvettes peuvent également l'être avec des éprouvettes de modules photovoltaïques (par exemple, dont la taille se mesure en mètres). Le présent document identifie une série d'essais et leurs méthodes, y compris la méthode d'abrasion au sable, la méthode d'impact par sable pulsé et la méthode d'abrasion par machine (brosse). Étant donné que les objectifs de conception et les durées de vie théoriques des matériaux et revêtements peuvent être différents, le présent document ne définit par conséquent aucun critère de réussite/échec spécifique. Les résultats des essais peuvent cependant servir à identifier la durabilité relative des revêtements pour différents environnements extérieurs et différentes pratiques de nettoyage. Les méthodes peuvent être utilisées à des fins de comparaison relative, par exemple, afin de sélectionner les matériaux ou les revêtements. La corrélation quantitative entre l'abrasion artificielle et l'érosion sur le terrain (qui dépend de facteurs tels que le climat ou l'emplacement d'utilisation, ainsi que l'application, par exemple, l'utilisation d'un dispositif de suivi de trajectoire du soleil, montage sur bâti, montage sur toit, le ou les modules photovoltaïques intégrés dans un bâtiment ou dans un véhicule) peut être établie pour chaque matériau ou revêtement spécifique, ce qui ne relève pas du domaine d'application du présent document.

La corrélation entre les taux de dégradation des différentes méthodes d'essai (la brosse linéaire, la brosse rotative, l'abrasion au sable et l'impact pulsé) ne relève pas du domaine d'application du présent document et peut être couverte dans les documents de référence. De même, la corrélation entre les taux de dégradation des éprouvettes non vieilles et vieilles ne relève pas du domaine d'application du présent document et peut être couverte dans les documents de référence.

Le présent document ne définit pas les méthodes liées à la caractérisation des éprouvettes abrasées (ce qui peut inclure la transmittance et la réflectance optiques, la rugosité de surface et l'énergie superficielle). Les méthodes de caractérisation définies dans d'autres normes (y compris la transmittance et la réflectance optiques, les performances électriques, la rugosité de surface et l'énergie superficielle) peuvent être appliquées aux éprouvettes abrasées au moyen des méthodes définies dans le présent document. Les méthodes d'examen de la contamination des éprouvettes, y compris la salissure artificielle, ne sont pas étudiées dans le présent document. Un conditionnement supplémentaire des éprouvettes peut être appliqué avant les méthodes définies dans le présent document. Les essais d'abrasion définis dans le présent document peuvent être référencés et/ou appliqués conjointement à un essai accéléré ou une séquence d'essais accélérés définis dans d'autres normes.

2 Références normatives

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

IEC 60068-2-68, *Essais d'environnement – Partie 2-68: Essais – Essai L: Poussière et sable*

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

ISO 291, *Plastiques – Atmosphères normales de conditionnement et d'essai*

ISO 12103-1, *Véhicules routiers – Poussière pour l'essai des filtres – Partie 1: Poussière d'essai d'Arizona*

ASTM D2486, *Standard test methods for scrub resistance of wall paints*

DIN 52348:1985-02, *Testing of glass and plastics; abrasion test; sand trickling method*

DIN 53778-2:1983-08, *Emulsion paints for interior use; evaluation of cleanability and of wash and scrub resistance of coatings*

MIL-STD-810G, *Environmental engineering considerations and laboratory tests*

VDI 3956, *Evaluation of the soiling properties of surfaces – Test method for the dust soiling behaviour of solar energy systems*

3 Termes et définitions

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

abrasion artificielle

usure qui résulte du nettoyage d'un dispositif photovoltaïque, y compris un nettoyage manuel ou par un robot

3.2

érosion naturelle

usure qui résulte de l'utilisation ordinaire sur le terrain d'un dispositif photovoltaïque

Note 1 à l'article: Les sources d'érosion peuvent inclure l'impact de matières particulaires, le transport de matières particulaires (par le vent ou l'eau) ou le raclage autonome (par la neige ou la glace sous l'effet de la gravité).

4 Essai d'abrasion artificielle par machine linéaire (SAT01)

4.1 Principe

Le présent document spécifie des méthodes d'abrasion par machine qui peuvent être utilisées pour traiter de la durabilité à l'abrasion par rapport au nettoyage des dispositifs solaires. L'abrasion linéaire est destinée à imiter les méthodes de nettoyage manuelles traditionnelles, dont le matériel de nettoyage agit généralement de façon perpendiculaire à la surface suivant un mouvement de grattage. L'essai s'applique généralement à la surface d'un module photovoltaïque soumise à un éclaircissement. Dans la mesure où le nettoyage d'un module photovoltaïque peut être un nettoyage à sec ou à l'eau, des matières abrasives sèches et humides (boues) peuvent être utilisées dans cet essai. L'essai peut simuler le nettoyage de modules photovoltaïques fixes, de suivi de trajectoire du soleil ou intégrés dans un véhicule.

4.2 Appareillage

4.2.1 Appareillage d'abrasion artificielle par machine linéaire

Un appareillage d'abrasion linéaire conforme aux exigences de la norme ASTM D2486 ou DIN 53778-2 doit être utilisé. Les composants essentiels de l'appareillage incluent un mécanisme d'abrasion linéaire, une brosse, un distributeur de matières abrasives (boues ou matière abrasive sèche) et une enveloppe (le cas échéant). Il est recommandé que l'appareillage comporte une enveloppe afin d'empêcher tout épandage ou toute pulvérisation de matière abrasive (boues abrasives sèches ou humides), voire de silicose (par ventilation, dans le cas d'une matière abrasive sèche). Il est recommandé de prévoir des équipements et des récipients supplémentaires pour la gestion des déchets de matières abrasives et leur élimination après l'essai.

Le mécanisme d'abrasion doit permettre une course de la brosse d'au moins 14,5 cm. La brosse peut fonctionner soit à vitesse constante, soit à vitesse variable sur chaque course. La vitesse de $30 \pm 3 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ de la brosse doit être utilisée pour la région d'essai centrale de 7,5 cm de l'éprouvette au cours de l'essai d'abrasion par machine. D'autres vitesses d'essai peuvent être appliquées à des fins de recherche et de développement.

NOTE Par exemple, la vitesse de $30 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ de la brosse, conjointement à une course de 25,4 cm correspond à une vitesse d'essai de 37 ± 1 cycles par minute.

Les éprouvettes doivent être fixées sur l'appareillage à l'aide de ressorts mécaniques ou de pinces, d'un ruban ou de tout autre moyen.

Pour assurer la répétabilité des résultats (c'est-à-dire éviter les effets thermiques liés au processus d'abrasion ou à la matière abrasive), l'appareillage doit être conservé dans un laboratoire maintenu à une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et avec une HR de $(50 \pm 10) \%$, comme cela est spécifié pour la Classe 2 dans l'ISO 291.

Le distributeur de poussière sèche doit être séparé de la surface des éprouvettes d'au moins 10 cm afin de réserver un espace de déplacement de la brosse (tant dans les configurations linéaires que dans les configurations rotatives), et également de faciliter la distribution sur la surface d'essai désignée de l'éprouvette.

Le distributeur de boues humides doit être séparé de la surface des éprouvettes d'au moins 5 cm afin de faciliter la distribution sur la surface d'essai désignée de l'éprouvette.

4.2.2 Brosse

La monture de brosse doit avoir une surface de $(35 \pm 1) \text{ mm} \times (85 \pm 1) \text{ mm}$ et une épaisseur de $(13 \pm 1) \text{ mm}$.

Les soies de la brosse doivent être constituées de polyamide 612, d'un diamètre de $(0,23 \pm 0,03)$ mm, avec une extension de (38 ± 2) mm par rapport à la monture de brosse. Les brosses dont les soies ont une longueur de moins de 35 mm doivent être remplacées. Les soies doivent être rondes, et leur longueur ne doit présenter aucune conicité ni aucune autre modification de configuration. L'espace latéral de 12 mm doit être réservé aux colonnes de touffes de soie sur toute la longueur de la brosse, avec un espace de décalage de 4 mm entre les rangées et un espace de décalage latéral de 6 mm entre les colonnes de soie adjacentes. L'échelonnement des touffes de soie doit suivre une configuration 5-4-5-4-... sur toute la longueur de la brosse, avec un nombre total de 59 touffes. Le nombre de soies doit être de (158 ± 6) pointes-touffe⁻¹.

Un poids externe de 325 g doit être utilisé avec la brosse, comme cela est décrit dans la norme ASTM D2486. Le poids nominal de la brosse (125 g) inclut le poids à sec de la monture de brosse et des soies. Le poids net nominal de la brosse (y compris un boulon de fixation de 5 g) doit être de 455 ± 10 g, y compris le poids à sec de la monture de brosse, les soies, le poids externe, les fixations et le support). La force de contact nominale de 4,46 N doit résulter du poids propre des composants et aucun ressort ne doit être utilisé. De même, aucune autre force externe ne doit être utilisée.

4.2.3 Milieu abrasif (sec)

Le milieu abrasif sec doit être composé d'une poussière d'essai AZ de catégorie A3 (taille moyenne), comme cela est spécifié dans l'ISO 12103-1. La concentration nominale en matières abrasives de $(0,7) \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{cycle}^{-1}$ doit être utilisée pendant l'essai. Afin d'assurer la répétabilité des résultats, la poussière d'essai ne doit pas être réutilisée après les essais. D'autres matières abrasives ou d'autres quantités de matières abrasives peuvent être utilisées à des fins de recherche et de développement.

NOTE La concentration abrasive de $(20 \pm 5) \text{ mg} \cdot \text{cycle}^{-1}$ lorsqu'elle est appliquée à la surface nominale de la brosse linéaire $(29,75) \text{ cm}^{-2}$ fournit la concentration nominale en matières abrasives de $(0,7) \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{cycle}^{-1}$.

Les matières abrasives sèches doivent être maintenues à une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et avec une HR de $(50 \pm 10) \%$ pendant au moins 24 h, comme cela est spécifié pour la Classe 2 dans l'ISO 291, avant leur utilisation dans l'essai d'abrasion linéaire.

Pour l'essai des matières abrasives sèches, les soies de la brosse doivent être maintenues à une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et avec une HR de $(50 \pm 10) \%$ pendant au moins 24 h, comme cela est spécifié pour la Classe 2 dans l'ISO 291, avant leur utilisation dans l'essai d'abrasion linéaire.

D'autres matières abrasives sèches peuvent être utilisées à des fins de recherche et de développement. Une matière abrasive sèche peut être utilisée conjointement avec une méthode de salissure artificielle à des fins de recherche et de développement. Les matières abrasives alternatives comprennent la poussière d'essai du "Moyen-Orient" (ME - middle east) comme cela est spécifié dans le document VDI 3956, et la poussière d'essai AZ "sans quartz" (similaire à celle définie dans l'ISO 12103-1, mais avec utilisation de corindon en lieu et place de silice afin d'éviter les problèmes de sécurité liés à la respiration). La granulométrie et la composition des particules peuvent toutes deux altérer la vitesse d'abrasion. Les matières abrasives alternatives susmentionnées n'ont pas fait l'objet d'une étude élargie par rapport à la poussière d'essai AZ définie dans l'ISO 12103-1.

4.2.4 Milieu abrasif (boues humides)

Le milieu abrasif humide doit être composé d'une poussière d'essai AZ de catégorie A3 (taille moyenne), comme cela est spécifié dans l'ISO 12103-1. La concentration abrasive de $(5,0 \pm 0,2) \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ dans de l'eau désionisée doit être utilisée pendant l'essai. L'écoulement des boues doit s'effectuer à la vitesse de $(5,0 \pm 0,2) \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ pendant l'essai. Afin d'assurer la répétabilité des résultats, la poussière d'essai ne doit pas être réutilisée après les essais. D'autres matières abrasives ou d'autres quantités de matières abrasives peuvent être utilisées à des fins de recherche et de développement.

NOTE La concentration abrasive de $(5,0 \pm 0,2) \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ à un débit d'écoulement de $(5,0 \pm 0,2) \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$ sur la surface nominale de la brosse linéaire $(29,75) \text{ cm}^2$ fournit la concentration nominale en matières abrasives de $(0,4) \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{cycle}^{-1}$ pour la distance de déplacement nominale de la brosse $(25,4 \text{ cm})$ et la vitesse de fonctionnement $(30 \pm 3 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1})$.

L'eau désionisée à une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ doit être utilisée pendant l'essai afin d'éviter les effets liés à la température associés au processus d'abrasion ou à la matière abrasive.

Pour l'essai des boues abrasives humides, les soies de la brosse doivent être conditionnées avec de l'eau pendant 24 h avant le début de l'essai. Les méthodes de conditionnement de la brosse incluent le trempage des soies dans un récipient d'eau, avec une immersion complète de la brosse dans ledit récipient, et/ou l'utilisation d'un débit d'eau (le débit d'eau ou la brosse peut être ajusté(e) afin d'assurer un conditionnement régulier). Les brosses à usage fréquent peuvent être conservées dans l'eau.

Un appareil agitateur doit être utilisé pour les boues afin d'améliorer l'uniformité de la concentration de poussière dans lesdites boues, ainsi que de faciliter une concentration uniforme pendant toute la durée de l'essai. Outre l'agitation/le mélange des boues, il convient que l'agitateur et sa tuyauterie produisent une bonne uniformité des boues de dépôt sur l'échantillon.

D'autres boues abrasives humides peuvent être utilisées à des fins de recherche et de développement.

4.3 Éprouvettes d'essai

4.3.1 Matériaux et configuration

Les éprouvettes peuvent être constituées de coupons représentatifs. Les éprouvettes doivent être composées d'un matériau de base (ou substrat), et la surface d'essai peut comporter un revêtement (le cas échéant). La dimension des coupons représentatifs doit être au moins de $(7,5 \pm 0,2) \text{ cm} \times (7,5 \pm 0,2) \text{ cm}$. Des éprouvettes de modules ou des éprouvettes en verre (pour le verre trempé, il est impossible de couper) peuvent être également utilisées lorsqu'elles peuvent s'adapter à l'appareillage. Dans le cas des modules, les éprouvettes doivent contenir au moins trois régions d'essai (longueur de $7,5 \text{ cm} \times$ largeur de $7,5 \text{ cm}$), avec une distance de séparation de $37,5 \text{ cm}$ au moins. Dans le cas des éprouvettes non vieilles, ou des éprouvettes sans historique des essais antérieurs, la ou les régions d'essai doivent être représentatives de celles utilisées dans l'application photovoltaïque, exemptes de tout dommage visible, délaminage ou autres défauts. Dans le cas des éprouvettes vieilles ou des éprouvettes avec un historique des essais antérieurs, l'éprouvette doit être utilisée dans son état de réception. Dans le cas des éprouvettes de matériaux polymères tels que les feuilles arrière ou les feuilles avant, il convient de soumettre à l'essai les deux directions principales, y compris la direction de l'extrusion de la machine et la direction transversale.

Des limites peuvent s'appliquer à certains revêtements en ce qui concerne la taille des éprouvettes qui peut être utilisée pour fabriquer un échantillon représentatif. Il peut par exemple s'avérer nécessaire de tremper le verre comme partie intégrante du procédé de fabrication, lorsqu'une dimension minimale du verre de $50 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ est exigée. Dans ce type de cas, un coupon de plus grande taille ou une éprouvette de module peut être utilisé(e).

Un matériel d'essai d'abrasion du commerce conforme aux exigences de l'appareillage d'essai peut être utilisé pour soumettre à l'essai la ou les régions d'essai dans un module, lorsque l'appareillage d'essai est installé et fixé par rapport à la surface d'essai du module. Un appareillage sur commande dont les caractéristiques sont équivalentes à celles d'un appareil d'essai du commerce peut être utilisé pour les coupons ou les éprouvettes de module de grande taille.

4.3.2 Nombre de répliqués

Dans le cas des coupons représentatifs, trois répliqués au moins doivent être utilisés. Lorsque l'appareillage comprend un espace ou un nombre de brosses adapté, les répliqués peuvent être soumis à l'essai ensemble simultanément. Il est recommandé d'utiliser des ébauches en verre (dont la dimension peut être inférieure à 7,5 cm) sur les côtés des éprouvettes d'essai afin d'éviter un chargement discontinu de la brosse le long de sa trajectoire pendant l'essai. Les surfaces des modules photovoltaïques sont effectivement généralement supérieures à 7,5 cm.

Dans le cas d'un module photovoltaïque, au moins trois modules répliqués ou trois régions distinctes sur le même module doivent être utilisés. Les régions d'essai d'un même module photovoltaïque doivent être séparées d'au moins 37,5 cm. Les surfaces d'essai peuvent être marquées avant l'essai afin de faciliter tout examen ultérieur.

Dans le cas des éprouvettes non vieilles ou des éprouvettes sans historique des essais antérieurs, l'éprouvette peut être nettoyée avant l'essai. Un détergent doux (par exemple, un savon liquide non parfumé comme cela est recommandé par le fabricant) peut être utilisé avec de l'eau désionisée en tant que solvant de nettoyage. Un linge imbibé peut être utilisé pour faciliter le nettoyage. Après leur nettoyage, les éprouvettes peuvent être séchées à l'air ambiant ou au moyen d'un jet d'air sec pur.

Aucune exigence de conditionnement des éprouvettes ne s'applique pour cet essai. Il n'est pas nécessaire de tremper dans l'eau avant l'essai les éprouvettes soumises à l'essai de boues.

4.3.3 Matériau de référence

Il convient d'utiliser du verre crown "Superwite" B 270 (société Schott AG) comme matériau de référence par défaut dans les autres normes liées à l'abrasion. Du verre "Borofloat" (société Schott AG) peut être utilisé comme matériau de référence, comme dans le cas d'une fine couche de silice ou d'un substrat ou superstrat de silice monolithique. Du poly(méthyl méthacrylate) "Acrylite 0Z023" (société Evonik Industries AG) peut être utilisé comme matériau de référence, comme dans le cas d'un substrat ou superstrat polymère. Il convient de soumettre à l'essai des coupons supplémentaires d'un matériau de référence le long des éprouvettes d'essai dans le cadre de l'essai d'abrasion.

NOTE Les matériaux de référence sont donnés à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifient nullement que l'IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif des produits ainsi désignés.

Une éprouvette de référence de travail informelle peut être utilisée à des fins de contrôle de processus et de fabrication ou de recherche et de développement. Dans le cas des éprouvettes coupons, un substrat sans revêtement peut être utilisé comme éprouvette de référence de travail informelle. Dans le cas des éprouvettes de modules, un module ou un mini-module sans revêtement peut être utilisé comme référence de travail informelle. Les informations détaillées d'utilisation d'une référence de travail informelle y compris la fréquence d'utilisation, la ou les caractéristiques concernées et les limites d'acceptation peuvent être spécifiées par l'utilisateur.

4.4 Procédure d'essai

4.4.1 Montage de l'appareillage et de l'éprouvette

L'appareillage doit être nettoyé de toute matière abrasive résiduelle restante de l'essai ou des essais précédents (le cas échéant).

La matière abrasive et l'appareillage (brosse) doivent être conditionnés comme cela est désigné avant tout essai.

- Fixer l'éprouvette sur l'appareillage.
- Activer le distributeur de matières abrasives.
- Activer le mécanisme d'abrasion.

4.4.2 Réalisation de l'essai d'abrasion

Les méthodes suivantes sont indiquées afin de normaliser la procédure d'essai, par exemple, pour faciliter la comparaison entre laboratoires ou matériaux. La durabilité de l'éprouvette ou des éprouvettes à l'abrasion peut toutefois être déterminée à partir de l'expérience acquise ou être prévue sur la base du nettoyage spécifié. Des méthodes supplémentaires peuvent par conséquent être utilisées pour l'essai d'abrasion. Des points de lecture supplémentaires (plus de 5) peuvent également être utilisés avec l'essai.

Méthode (A): Pour les revêtements dont il est prévu que la sévérité au nettoyage soit faible (nettoyage peu fréquent), il convient d'utiliser un incrément de 20 cycles entre les points de lecture, avec des points de lecture jusqu'à 100 cycles inclus.

Méthode (B): Pour les revêtements dont il est prévu que la sévérité au nettoyage soit modérée (nettoyage intermédiaire), il convient d'utiliser un incrément de 100 cycles entre les points de lecture, avec des points de lecture jusqu'à 500 cycles inclus.

Méthode (C): Pour les revêtements dont il est prévu que la sévérité au nettoyage soit élevée (nettoyage fréquent), il convient d'utiliser un incrément de 2 000 cycles entre les points de lecture, avec des points de lecture jusqu'à 10 000 cycles inclus.

Une course dans le sens avant, puis une course dans le sens arrière doivent être considérées comme un cycle complet.

Lorsque la destruction du revêtement est observée (lors de la caractérisation, selon la ou les méthodes de caractérisation spécifiées en dehors du présent document), l'essai peut être achevé sans point de lecture supplémentaire.

NOTE Certains exemples de durabilité des matériaux à l'abrasion linéaire (y compris les surfaces rugosifiées, les surfaces chimiquement fonctionnalisées, les revêtements de silice poreuse – y compris les revêtements dont le dépôt s'effectue par procédé sol-gel ou autre moyen, les films polymères minces et les revêtements diélectriques durs) peuvent être consultés à l'Annexe A.

4.5 Préparation des éprouvettes pour examen après essai

L'éprouvette doit être nettoyée afin d'éliminer le sable d'essai résiduel par un rinçage ou une pulvérisation à l'eau désionisée. Il convient de n'utiliser aucun détergent lorsque l'énergie superficielle doit être caractérisée, par exemple, par des mesures de l'angle de contact ou de l'angle de roulement du liquide. Un solvant de nettoyage (rinçage ou pulvérisation) peut être utilisé avant ou entre l'application de l'eau désionisée et un autre traitement de nettoyage. Un jet d'air sec pur ou un jet d'azote doit alors être appliqué pour sécher l'échantillon. Des méthodes de séchage supplémentaires peuvent être définies dans d'autres normes de référence, par exemple l'utilisation d'une température élevée, d'un éclaircissement appliqué ou d'une chambre de dessiccation après l'abrasion et avant la caractérisation de l'éprouvette.

Il est préférable, pour certaines méthodes de caractérisation, d'éviter tout nettoyage par contact des éprouvettes, parce qu'un dommage par abrasion involontaire peut altérer les résultats. Pour certaines autres méthodes de caractérisation en revanche, un nettoyage par contact (par exemple, au moyen d'un essuie-verres) peut être exigé pour éliminer toute matière particulaire de la surface de l'éprouvette (par exemple, pour obtenir des mesures valides de la transmittance spectrale). Le document de référence peut spécifier l'utilisation du nettoyage sans contact ou du nettoyage par contact.

Réaliser les caractérisations des éprouvettes comme cela est spécifié dans d'autres documents, c'est-à-dire dans les normes de référence de l'IEC 62788-7-3.

5 Essai d'abrasion artificielle par machine rotative (SAT02)

5.1 Généralités

Le présent document spécifie des méthodes d'abrasion par machine qui peuvent être utilisées pour traiter de la durabilité à l'abrasion par rapport au nettoyage des dispositifs solaires. L'abrasion rotative est destinée à imiter les méthodes répandues de nettoyage par un robot, dont l'élément de nettoyage peut souvent agir le long de la surface suivant un mouvement de balayage. L'essai s'applique généralement à la surface d'un module photovoltaïque soumise à un éclairage. Dans la mesure où le nettoyage d'un module photovoltaïque peut être un nettoyage à sec ou à l'eau, des matières abrasives sèches et humides (boues) peuvent être utilisées dans cet essai. L'essai peut simuler le nettoyage de modules photovoltaïques fixes ou intégrés dans un véhicule. Le nettoyage de modules photovoltaïques fixes peut s'effectuer par rotation, en combinaison avec un sens de déplacement linéaire. Le nettoyage de modules photovoltaïques intégrés dans un véhicule peut utiliser des équipements de l'industrie automobile.

5.2 Appareillage

5.2.1 Appareillage d'abrasion artificielle par machine rotative

Il n'existe aucun matériel d'essai du commerce existant pour l'essai d'abrasion par machine rotative qui satisfait aux spécifications identifiées ci-dessous. Par conséquent, un matériel d'essai sur commande peut être utilisé. Les composants essentiels de l'appareillage incluent un mécanisme d'activation linéaire, un mécanisme d'abrasion rotative, une brosse, un distributeur de matières abrasives (boues ou matière abrasive sèche) et une enveloppe (le cas échéant). Il est recommandé que l'appareillage comporte une enveloppe afin d'empêcher tout épandage ou toute pulvérisation de matière abrasive (boues abrasives sèches ou humides), voire de silicose (par ventilation, dans le cas d'une matière abrasive sèche). Il est recommandé de prévoir des équipements et des récipients supplémentaires pour la gestion des déchets de matières abrasives et leur élimination après l'essai.

Le mécanisme d'activation linéaire doit permettre une course de la brosse d'au moins 14,5 cm. La brosse peut fonctionner soit à vitesse constante, soit à vitesse variable sur chaque course. La vitesse de $30 \pm 3 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ de la brosse doit être utilisée pour la région d'essai centrale de 7,5 cm de l'éprouvette au cours de l'essai d'abrasion par machine. D'autres vitesses d'essai peuvent être appliquées à des fins de recherche et de développement.

NOTE 1 Par exemple, la vitesse de $30 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ de la brosse, conjointement à une course de 25,4 cm correspond à une vitesse d'essai de 37 ± 1 cycles par minute.

Le mécanisme de brosse rotative doit permettre une vitesse de rotation constante de la brosse de $(120 \pm 5) \text{ t/m}$. D'autres vitesses de rotation peuvent être appliquées à des fins de recherche et de développement.

Les éprouvettes doivent être fixées sur l'appareillage à l'aide de ressorts mécaniques ou de pinces, d'un ruban ou de tout autre moyen.

Pour assurer la répétabilité des résultats (c'est-à-dire éviter les effets thermiques liés au processus d'abrasion ou à la matière abrasive), l'appareillage doit être conservé dans un laboratoire maintenu à une température de $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ et avec une HR de $(50 \pm 10) \%$, comme cela est spécifié pour la Classe 2 dans l'ISO 291.

Le même appareil de distribution peut être utilisé pour la poussière sèche dans l'essai d'abrasion par machine rotative, tout comme dans l'essai d'abrasion par machine linéaire. Une concentration $\text{masse}\cdot\text{surface}^{-1}\cdot\text{cycle}^{-1}$ représentative est donnée pour la poussière sèche en 4.2.3.

Le même appareil de distribution peut être utilisé pour des boues humides dans l'essai d'abrasion par machine rotative, tout comme dans l'essai d'abrasion par machine linéaire. Une concentration $\text{masse} \cdot \text{surface}^{-1} \cdot \text{cycle}^{-1}$ représentative est donnée pour les boues en 4.2.4.

NOTE 2 La vitesse de rotation de la brosse est choisie de manière à spécifier une vitesse représentative de certains équipements de nettoyage utilisés dans l'industrie du photovoltaïque. La vitesse tangentielle des pointes de la brosse en cours d'utilisation varie avec la vitesse de rotation de la brosse.

Le distributeur de poussière sèche doit être séparé de la surface des éprouvettes d'au moins 10 cm afin de réserver un espace de déplacement de la brosse (tant dans les configurations linéaires que dans les configurations rotatives), et également de faciliter la distribution sur la surface d'essai désignée de l'éprouvette.

Le distributeur de boues humides doit être séparé de la surface des éprouvettes d'au moins 5 cm afin de faciliter la distribution sur la surface d'essai désignée de l'éprouvette.

Le distributeur de boues humides doit être situé par rapport à la brosse de manière à augmenter le plus possible la vitesse tangentielle de rotation de la brosse, ainsi que sa vitesse translationnelle (pour la plupart des additifs) pendant l'essai d'abrasion. Lorsque la rotation de la brosse s'effectue visiblement dans le sens horaire en cours de fonctionnement, le distributeur doit alors être situé à gauche de la brosse. Lorsque la rotation de la brosse s'effectue visiblement dans le sens antihoraire en cours de fonctionnement, le distributeur doit alors être situé à droite de la brosse.

5.2.2 Brosse

La monture de brosse doit être un cylindre rond de (24 ± 1) mm de diamètre, avec une longueur de (48 ± 1) mm au moins.

Les soies de la brosse doivent être constituées de polyamide 612, d'un diamètre de $(0,23 \pm 0,03)$ mm, avec une extension de (38 ± 2) mm par rapport à la monture de brosse. Les brosses dont les soies ont une longueur de moins de 35 mm doivent être remplacées. Les soies doivent être rondes, et leur longueur ne doit présenter aucune conicité ni aucune autre modification de configuration. Comme le représente la Figure 1, l'espace latéral de 12 mm doit être réservé aux colonnes de touffes de soie sur toute la longueur axiale de la brosse, avec un espace de décalage latéral de 6 mm entre les colonnes de soie adjacentes et un espace de décalage circonférentiel de ~ 4 mm entre les rangées (afin d'obtenir un nombre total de 18 rangées). L'échelonnement des touffes de soie doit suivre une configuration 4-3-4-3-... sur toute la longueur de la brosse, pour obtenir un nombre total de 63 touffes. Le nombre de soies doit être de (158 ± 6) pointes-touffe⁻¹, qui peuvent être montées dans une fiole de $(2,5 \pm 0,1)$ de diamètre.

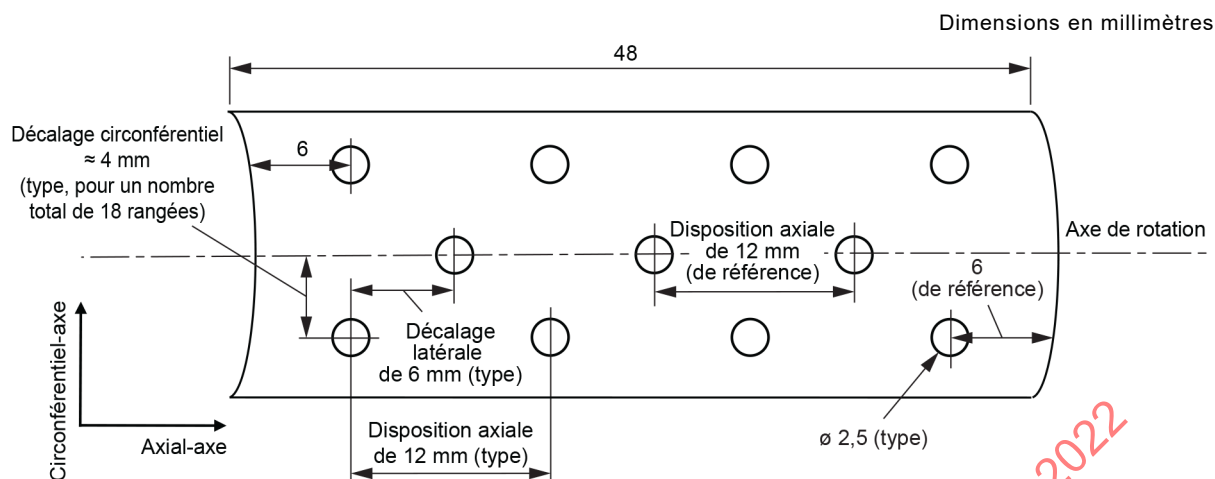


Figure 1 – Schéma de présentation de la disposition des touffes de soie sur la brosse rotative

L'emplacement nominal de la brosse dans l'appareillage d'abrasion par machine doit prévoir une séparation de 45 mm entre la surface de l'éprouvette et le centre de l'axe de rotation de la brosse. Il n'est pas nécessaire d'ajuster la distance de séparation pendant la durée de vie utile de la brosse rotative.

NOTE Pour la brosse rotative, la distance de séparation établit la force de contact pendant l'essai.

5.2.3 Milieu abrasif (sec)

Le milieu abrasif sec doit satisfaire aux exigences de 4.2.3.

5.2.4 Milieu abrasif (boues humides)

Le milieu abrasif humide doit satisfaire aux exigences de 4.2.4.

5.3 Éprouvettes d'essai

Les éprouvettes doivent satisfaire aux exigences de 4.3 et des paragraphes 4.3.1, 4.3.2 et 4.3.3 correspondants.

5.4 Procédure d'essai

Réaliser l'essai selon 4.4 au moyen de l'appareillage d'abrasion rotative.

5.5 Préparation des éprouvettes pour examen après essai

Avant l'examen, préparer les éprouvettes selon 4.5.

6 Essai d'abrasion au sable (SAT03)

6.1 Principe

La méthode d'abrasion au sable peut être utilisée pour traiter de la durabilité à l'abrasion par rapport à tout dommage dû à une utilisation ordinaire dans l'environnement d'application, c'est-à-dire les phénomènes météorologiques, en général. L'essai d'abrasion au sable est destiné à simuler l'érosion naturelle sous l'effet du sable éolien ou de la poussière éolienne, c'est-à-dire l'usure provoquée par des conditions météorologiques types. L'essai peut être appliqué aux surfaces ou aux matériaux soumis à un éclaircissement sur la face arrière d'un module photovoltaïque.