IEC 62788-1-6

Edition 1.1 2020-05
CONSOLIDATED VERSION

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 1-6: Encapsulants – Test methods for determining the degree of cure in Ethylene-Vinyl Acetate

Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 1-6: Encapsulants – Méthodes d'essai pour déterminer le degré de durcissement dans l'éthylène-acétate de vinyle

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.160

ISBN 978-2-8322-8421-6

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

IEC 62788-1-6

Edition 1.1 2020-05

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE

colour inside

Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 1-6: Encapsulants – Test methods for determining the degree of cure in Ethylene-Vinyl Acetate

Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 1-6: Encapsulants – Méthodes d'essai pour déterminer le degré de durcissement dans l'éthylène-acétate de vinyle



IEC 62788-1-6:2017-01+AMD1:2020-05 CSV(en-fr)

CONTENTS

FOREWORD 4
1 Scope 6
2 Normative references 6
3 Terms and definitions 7
4 Principle 8
5 DSC secondary method 8
5.1 Instrument and equipment for the secondary method 8
5.1.1 General 8
5.1.2 Electronic balance 8
5.1.3 Differential scanning calorimeter 8
5.1.4 Instrument calibration 9
5.2 Specimen preparation for the secondary method 9
5.2.1 Sampling and storage 9
5.2.2 Preparation procedures 9
5.3 Test requirements for the secondary method 10
5.3.1 Environment requirements 10
5.3.2 Parameter settings (residual enthalpy method) 10
5.3.3 Parameter settings (melt/freeze method) 10
5.3.4 Parameter settings (combined enthalpy and melt/freeze method) 10
5.4 Test procedure for the secondary method 11
5.5 Calculation and expression of the results for the secondary method 11
5.5.1 Enthalpy method 11
5.5.2 Melt/freeze method 12
5.6 Uncertainty of measurements for the secondary method 16
6 The primary method 16
6.1 Principle for the primary method 16
6.2 Instrument and equipment for the primary method 17
6.2.1 Electronic balance 17
6.2.2 Soxhlet extractor 17
6.2.3 Thimble 17
6.2.4 Heating apparatus 17
6.2.5 Handling apparatus 18
6.2.6 Solvent 18
6.3 Specimen preparation for the primary method 18
6.3.1 Sampling and storage 18
6.3.2 Preparation procedures 18
6.4 Test requirements for the primary method – Environment requirements 19
6.5 Test procedure for the primary method 19
6.6 Calculation and expression of the results for the primary method 19
7 Test report 19
8 Indentation secondary method 20
8.1 General 20
8.2 Principle 21
8.3 Instrument and equipment for the indentation method 21
8.4 Instrument calibration 22

8.5 Correlation of the degree of cure 22
8.6 Specimen preparation for the indentation method 22
8.7 Test procedure for the indentation method 23
Annex A (informative) Limitations of the primary and secondary measurement methods 24
Bibliography 26

Figure 1 – Example result for the DSC residual enthalpy method 12
Figure 2 – Location of temperatures and temperature ranges used in the melt/freeze DSC method 13
Figure 3 – Example of the temperature bounds applied for an automated software integration algorithm 15
Figure 4 – Representation of the measurement profile for an EVA test specimen 16
Figure 5 – Example of the correlation applied between G_i (indentation) and $G_{\%}$ (gel content) 22

Table 1 – Summary of the results for the example measurements shown in Figure 2 14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –

Part 1-6: Encapsulants – Test methods for determining the degree of cure in Ethylene-Vinyl Acetate

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.

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

IEC 62788-1-6 edition 1.1 contains the first edition (2017-01) [documents 82/1197/FDIS and 82/1231/RVD] and its amendment 1 (2020-05) [documents 82/1691/FDIS and 82/1720/RVD].

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

International Standard IEC 62788-1-6 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

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

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

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

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

MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –

Part 1-6: Encapsulants – Test methods for determining the degree of cure in Ethylene-Vinyl Acetate

1 Scope

This part of IEC 62788 defines the terminology, test equipment, test environment, specimen preparation, test procedures, and test report for measuring the degree of cure of Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) encapsulation sheet used in photovoltaic (PV) modules. The differential scanning calorimetry (both residual enthalpy and melt/freeze protocols) and gel content methods are included herein. This procedure can be used by material- or module-manufacturers to verify that the cross-linking additive is present and is active. The procedure can also be used to verify the module manufacturing (lamination) process for the purposes of quality- and process-control. The procedure can also be used to assess the uniformity of the EVA formulation within a roll as well as to compare variation of the EVA formulation from roll to roll. This procedure can be applied to uncured or recently cured EVA sheet as well as uncured or recently cured EVA from PV modules.

This test procedure can also be applied to cross-linking ethylenic co-polymers other than EVA. The temperatures identified for the calorimetry measurements in this procedure have been optimized for EVA. Therefore, if the test procedure is applied to other encapsulation materials, the range of the test temperatures can have to be adjusted based on the active temperature of the curing agent and/or the melt/freeze temperature of the base material.

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 61215-1, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1: Test requirements*

ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

ISO 291:2008, *Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing*

ISO 6427:2013, *Plastics – Determination of matter extractable by organic solvents (conventional methods)*

ISO 6721-1, *Plastics – Determination of dynamic mechanical properties – Part 1: General principles*

ISO 11357-1:2009, *Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) – Part 1: General principles*

ISO 10147:2011, *Pipes and fittings made of crosslinked polyethylene (PE-X) – Estimation of the degree of cross-linking by determination of the gel content*

ISO 14577-1, *Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters – Part 1: Test method*

ASTM D2765-11, *Standard test methods for determination of gel content and swell ratio of crosslinked ethylene plastics*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 32
1 Domaine d'application 34
2 Références normatives 34
3 Termes et définitions 35
4 Principe 36
5 Méthode secondaire DSC 36
5.1 Appareil et équipement pour la méthode secondaire 36
5.1.1 Généralités 36
5.1.2 Balance électronique 36
5.1.3 Calorimètre différentiel à balayage 36
5.1.4 Étalonnage de l'appareil 37
5.2 Préparation des éprouvettes pour la méthode secondaire 37
5.2.1 Échantillonnage et stockage 37
5.2.2 Procédures de préparation 38
5.3 Exigences d'essai pour la méthode secondaire 38
5.3.1 Exigences d'environnement 38
5.3.2 Réglages des paramètres (méthode de l'enthalpie résiduelle) 38
5.3.3 Réglages des paramètres (méthode de fusion/gel) 39
5.3.4 Réglages des paramètres (méthode combinée d'enthalpie et de fusion/gel) 39
5.4 Procédure d'essai pour la méthode secondaire 39
5.5 Calcul et expression des résultats pour la méthode secondaire 40
5.5.1 Méthode d'enthalpie 40
5.5.2 Méthode de fusion/gel 41
5.6 Incertitude de mesure pour la méthode secondaire 45
6 Méthode principale 45
6.1 Principe de la méthode principale 45
6.2 Appareil et équipement pour la méthode principale 46
6.2.1 Balance électronique 46
6.2.2 Extracteur Soxhlet 46
6.2.3 Dé 46
6.2.4 Appareil de chauffage 46
6.2.5 Dispositif de manipulation 47
6.2.6 Solvant 47
6.3 Préparation des éprouvettes pour la méthode principale 47
6.3.1 Échantillonnage et stockage 47
6.3.2 Procédures de préparation 48
6.4 Exigences d'essai pour la méthode principale – Exigences d'environnement 48
6.5 Procédure d'essai pour la méthode principale 48
6.6 Calcul et expression des résultats pour la méthode principale 48
7 Rapport d'essai 49
8 Méthode secondaire: indentation 49
8.1 Généralités 49
8.2 Principe 50
8.3 Appareil et équipement pour la méthode d'indentation 51
8.4 Étalonnage de l'appareil 51

8.5 Corrélation du degré de durcissement 51
8.6 Préparation des éprouvettes pour la méthode d'indentation 52
8.7 Procédure d'essai pour la méthode d'indentation 52
Annexe A (informative) Limites des méthodes de mesure principale et secondaire 54
Bibliographie 56

Figure 1 – Exemple de résultat pour la méthode DSC d'enthalpie résiduelle 41
Figure 2 – Emplacement des températures et des plages de températures utilisées dans la méthode DSC de fusion/gel 42
Figure 3 – Exemple de limites de température appliquées pour un algorithme d'intégration de logiciel automatisé 44
Figure 4 – Représentation du profil de mesure d'une éprouvette d'essai d'EVA 45
Figure 5 – Exemple de corrélation appliquée entre G_i (indentation) et $G_{\%}$ (taux de gel) 52

Tableau 1 – Résumé des résultats pour les exemples de mesurage représentés à la Figure 2 43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1-6: Encapsulants – Méthodes d'essai pour déterminer le degré de durcissement dans l'éthylène-acétate de vinyle

AVANT-PROPOS

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

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

IEC 62788-1-6 édition 1.1 contient la première édition (2017-01) [documents 82/1197/FDIS et 82/1231/RVD] et son amendement 1 (2020-05) [documents 82/1691/FDIS et 82/1720/RVD].

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 62788-1-6 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

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

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

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

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

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

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1-6: Encapsulants – Méthodes d'essai pour déterminer le degré de durcissement dans l'éthylène-acétate de vinyle

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62788 définit la terminologie, l'équipement d'essai, l'environnement d'essai, la préparation des éprouvettes, les procédures d'essai et le rapport d'essai pour le mesurage du degré de durcissement de la couche d'encapsulation en éthylène-acétate de vinyle (EVA) utilisée dans les modules photovoltaïques (PV). Les méthodes de l'analyse calorimétrique différentielle à balayage (protocoles d'enthalpie résiduelle et de fusion/gel) et du taux de gel sont incluses dans le présent document. Cette procédure peut être utilisée par les fabricants de matériaux ou de modules pour s'assurer que l'additif de réticulation est présent et actif. La procédure peut également être utilisée pour vérifier le procédé de fabrication (stratification) du module à des fins de contrôle de la qualité et des processus. Elle peut en outre être utilisée pour évaluer l'uniformité de la formulation d'EVA dans un rouleau et comparer les différences de formulation d'EVA d'un rouleau à l'autre. Cette procédure peut être appliquée à une couche d'EVA non durcie ou récemment durcie ainsi qu'à l'EVA non durci ou récemment durci contenu dans les modules PV.

Cette procédure d'essai peut également être appliquée aux copolymères éthyléniques réticulés autres que l'EVA. Les températures identifiées pour les mesurages de la calorimétrie dans cette procédure ont été optimisées pour l'EVA. Par conséquent, si la procédure d'essai est appliquée à d'autres matériaux d'encapsulation, la plage des températures d'essai peut devoir être ajustée en fonction de la température active de l'agent de durcissement et/ou de la température de fusion/gel du matériau de base.

2 Références normatives

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

IEC 61215-1, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1: Exigences d'essai*

ISO/IEC 17025:2005, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

ISO 291:2008, *Plastiques – Atmosphères normales de conditionnement et d'essai*

ISO 6427:2013, *Plastiques – Détermination des matières extractibles par des solvants organiques (Méthodes conventionnelles)*

ISO 6721-1, *Plastiques – Détermination des propriétés mécaniques dynamiques – Partie 1: Principes généraux*

ISO 11357-1:2009, *Plastiques – Analyse calorimétrique différentielle (DSC) – Partie 1: Principes généraux*

ISO 10147:2011, *Tubes et raccords en polyéthylène réticulé (PE-X) – Estimation du degré de réticulation par le mesurage du taux de gel*

ISO 14577-1, *Matériaux métalliques – Essai de pénétration instrumenté pour la détermination de la dureté et de paramètres des matériaux – Partie 1: Méthode d'essai*

ASTM D2765–11, *Méthodes d'essai pour déterminer la teneur en gel et le rapport de renflement des plastiques d'éthylène réticulé*

IEC 62788-1-6

Edition 1.1 2020-05

FINAL VERSION

VERSION FINALE

colour inside

Measurement procedures for materials used in photovoltaic modules – Part 1-6: Encapsulants – Test methods for determining the degree of cure in Ethylene-Vinyl Acetate

Procédures de mesure des matériaux utilisés dans les modules photovoltaïques – Partie 1-6: Encapsulants – Méthodes d'essai pour déterminer le degré de durcissement dans l'éthylène-acétate de vinyle



IEC 62788-1-6:2017-01+AMD1:2020-05 CSV(en-fr)

CONTENTS

FOREWORD 4
1 Scope 6
2 Normative references 6
3 Terms and definitions 7
4 Principle 8
5 DSC secondary method 8
5.1 Instrument and equipment for the secondary method 8
5.1.1 General 8
5.1.2 Electronic balance 8
5.1.3 Differential scanning calorimeter 8
5.1.4 Instrument calibration 9
5.2 Specimen preparation for the secondary method 9
5.2.1 Sampling and storage 9
5.2.2 Preparation procedures 9
5.3 Test requirements for the secondary method 10
5.3.1 Environment requirements 10
5.3.2 Parameter settings (residual enthalpy method) 10
5.3.3 Parameter settings (melt/freeze method) 10
5.3.4 Parameter settings (combined enthalpy and melt/freeze method) 10
5.4 Test procedure for the secondary method 11
5.5 Calculation and expression of the results for the secondary method 11
5.5.1 Enthalpy method 11
5.5.2 Melt/freeze method 12
5.6 Uncertainty of measurements for the secondary method 16
6 The primary method 16
6.1 Principle for the primary method 16
6.2 Instrument and equipment for the primary method 17
6.2.1 Electronic balance 17
6.2.2 Soxhlet extractor 17
6.2.3 Thimble 17
6.2.4 Heating apparatus 17
6.2.5 Handling apparatus 18
6.2.6 Solvent 18
6.3 Specimen preparation for the primary method 18
6.3.1 Sampling and storage 18
6.3.2 Preparation procedures 18
6.4 Test requirements for the primary method – Environment requirements 19
6.5 Test procedure for the primary method 19
6.6 Calculation and expression of the results for the primary method 19
7 Test report 19
8 Indentation secondary method 20
8.1 General 20
8.2 Principle 21
8.3 Instrument and equipment for the indentation method 21
8.4 Instrument calibration 22

8.5 Correlation of the degree of cure 22
8.6 Specimen preparation for the indentation method 22
8.7 Test procedure for the indentation method 23
Annex A (informative) Limitations of the primary and secondary measurement methods 24
Bibliography 26

Figure 1 – Example result for the DSC residual enthalpy method 12
Figure 2 – Location of temperatures and temperature ranges used in the melt/freeze DSC method 13
Figure 3 – Example of the temperature bounds applied for an automated software integration algorithm 15
Figure 4 – Representation of the measurement profile for an EVA test specimen 16
Figure 5 – Example of the correlation applied between G_i (indentation) and $G_{\%}$ (gel content) 22

Table 1 – Summary of the results for the example measurements shown in Figure 2 14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –

Part 1-6: Encapsulants – Test methods for determining the degree of cure in Ethylene-Vinyl Acetate

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.

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

IEC 62788-1-6 edition 1.1 contains the first edition (2017-01) [documents 82/1197/FDIS and 82/1231/RVD] and its amendment 1 (2020-05) [documents 82/1691/FDIS and 82/1720/RVD].

This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

International Standard IEC 62788-1-6 has been prepared by IEC technical committee 82: Solar photovoltaic energy systems.

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

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

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

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

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

MEASUREMENT PROCEDURES FOR MATERIALS USED IN PHOTOVOLTAIC MODULES –

Part 1-6: Encapsulants – Test methods for determining the degree of cure in Ethylene-Vinyl Acetate

1 Scope

This part of IEC 62788 defines the terminology, test equipment, test environment, specimen preparation, test procedures, and test report for measuring the degree of cure of Ethylene-Vinyl Acetate (EVA) encapsulation sheet used in photovoltaic (PV) modules. The differential scanning calorimetry (both residual enthalpy and melt/freeze protocols) and gel content methods are included herein. This procedure can be used by material- or module-manufacturers to verify that the cross-linking additive is present and is active. The procedure can also be used to verify the module manufacturing (lamination) process for the purposes of quality- and process-control. The procedure can also be used to assess the uniformity of the EVA formulation within a roll as well as to compare variation of the EVA formulation from roll to roll. This procedure can be applied to uncured or recently cured EVA sheet as well as uncured or recently cured EVA from PV modules.

This test procedure can also be applied to cross-linking ethylenic co-polymers other than EVA. The temperatures identified for the calorimetry measurements in this procedure have been optimized for EVA. Therefore, if the test procedure is applied to other encapsulation materials, the range of the test temperatures can have to be adjusted based on the active temperature of the curing agent and/or the melt/freeze temperature of the base material.

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 61215-1, *Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval – Part 1: Test requirements*

ISO/IEC 17025:2005, *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories*

ISO 291:2008, *Plastics – Standard atmospheres for conditioning and testing*

ISO 6427:2013, *Plastics – Determination of matter extractable by organic solvents (conventional methods)*

ISO 6721-1, *Plastics – Determination of dynamic mechanical properties – Part 1: General principles*

ISO 11357-1:2009, *Plastics – Differential scanning calorimetry (DSC) – Part 1: General principles*

ISO 10147:2011, *Pipes and fittings made of crosslinked polyethylene (PE-X) – Estimation of the degree of cross-linking by determination of the gel content*

ISO 14577-1, *Metallic materials – Instrumented indentation test for hardness and materials parameters – Part 1: Test method*

ASTM D2765-11, *Standard test methods for determination of gel content and swell ratio of crosslinked ethylene plastics*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 32
1 Domaine d’application 34
2 Références normatives 34
3 Termes et définitions 35
4 Principe 36
5 Méthode secondaire DSC 36
5.1 Appareil et équipement pour la méthode secondaire 36
5.1.1 Généralités 36
5.1.2 Balance électronique 36
5.1.3 Calorimètre différentiel à balayage 36
5.1.4 Étalonnage de l'appareil 37
5.2 Préparation des éprouvettes pour la méthode secondaire 37
5.2.1 Échantillonnage et stockage 37
5.2.2 Procédures de préparation 38
5.3 Exigences d'essai pour la méthode secondaire 38
5.3.1 Exigences d'environnement 38
5.3.2 Réglages des paramètres (méthode de l'enthalpie résiduelle) 38
5.3.3 Réglages des paramètres (méthode de fusion/gel) 39
5.3.4 Réglages des paramètres (méthode combinée d'enthalpie et de fusion/gel) 39
5.4 Procédure d'essai pour la méthode secondaire 39
5.5 Calcul et expression des résultats pour la méthode secondaire 40
5.5.1 Méthode d'enthalpie 40
5.5.2 Méthode de fusion/gel 41
5.6 Incertitude de mesure pour la méthode secondaire 45
6 Méthode principale 45
6.1 Principe de la méthode principale 45
6.2 Appareil et équipement pour la méthode principale 46
6.2.1 Balance électronique 46
6.2.2 Extracteur Soxhlet 46
6.2.3 Dé 46
6.2.4 Appareil de chauffage 46
6.2.5 Dispositif de manipulation 47
6.2.6 Solvant 47
6.3 Préparation des éprouvettes pour la méthode principale 47
6.3.1 Échantillonnage et stockage 47
6.3.2 Procédures de préparation 48
6.4 Exigences d'essai pour la méthode principale – Exigences d'environnement 48
6.5 Procédure d'essai pour la méthode principale 48
6.6 Calcul et expression des résultats pour la méthode principale 48
7 Rapport d’essai 49
8 Méthode secondaire: indentation 49
8.1 Généralités 49
8.2 Principe 50
8.3 Appareil et équipement pour la méthode d’indentation 51
8.4 Étalonnage de l’appareil 51

8.5 Corrélation du degré de durcissement 51
8.6 Préparation des éprouvettes pour la méthode d'indentation 52
8.7 Procédure d'essai pour la méthode d'indentation 52
Annexe A (informative) Limites des méthodes de mesure principale et secondaire 54
Bibliographie 56

Figure 1 – Exemple de résultat pour la méthode DSC d'enthalpie résiduelle 41
Figure 2 – Emplacement des températures et des plages de températures utilisées dans la méthode DSC de fusion/gel 42
Figure 3 – Exemple de limites de température appliquées pour un algorithme d'intégration de logiciel automatisé 44
Figure 4 – Représentation du profil de mesure d'une éprouvette d'essai d'EVA 45
Figure 5 – Exemple de corrélation appliquée entre G_i (indentation) et $G\%$ (taux de gel) 52

Tableau 1 – Résumé des résultats pour les exemples de mesurage représentés à la Figure 2 43

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1-6: Encapsulants – Méthodes d'essai pour déterminer le degré de durcissement dans l'éthylène-acétate de vinyle

AVANT-PROPOS

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

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

IEC 62788-1-6 édition 1.1 contient la première édition (2017-01) [documents 82/1197/FDIS et 82/1231/RVD] et son amendement 1 (2020-05) [documents 82/1691/FDIS et 82/1720/RVD].

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

La Norme internationale IEC 62788-1-6 a été établie par le comité d'études 82 de l'IEC: Systèmes de conversion photovoltaïque de l'énergie solaire.

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

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

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

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

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

PROCÉDURES DE MESURE DES MATÉRIAUX UTILISÉS DANS LES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES –

Partie 1-6: Encapsulants – Méthodes d'essai pour déterminer le degré de durcissement dans l'éthylène-acétate de vinyle

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62788 définit la terminologie, l'équipement d'essai, l'environnement d'essai, la préparation des éprouvettes, les procédures d'essai et le rapport d'essai pour le mesurage du degré de durcissement de la couche d'encapsulation en éthylène-acétate de vinyle (EVA) utilisée dans les modules photovoltaïques (PV). Les méthodes de l'analyse calorimétrique différentielle à balayage (protocoles d'enthalpie résiduelle et de fusion/gel) et du taux de gel sont incluses dans le présent document. Cette procédure peut être utilisée par les fabricants de matériaux ou de modules pour s'assurer que l'additif de réticulation est présent et actif. La procédure peut également être utilisée pour vérifier le procédé de fabrication (stratification) du module à des fins de contrôle de la qualité et des processus. Elle peut en outre être utilisée pour évaluer l'uniformité de la formulation d'EVA dans un rouleau et comparer les différences de formulation d'EVA d'un rouleau à l'autre. Cette procédure peut être appliquée à une couche d'EVA non durcie ou récemment durcie ainsi qu'à l'EVA non durci ou récemment durci contenu dans les modules PV.

Cette procédure d'essai peut également être appliquée aux copolymères éthyléniques réticulés autres que l'EVA. Les températures identifiées pour les mesurages de la calorimétrie dans cette procédure ont été optimisées pour l'EVA. Par conséquent, si la procédure d'essai est appliquée à d'autres matériaux d'encapsulation, la plage des températures d'essai peut devoir être ajustée en fonction de la température active de l'agent de durcissement et/ou de la température de fusion/gel du matériau de base.

2 Références normatives

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

IEC 61215-1, *Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres – Qualification de la conception et homologation – Partie 1: Exigences d'essai*

ISO/IEC 17025:2005, *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*

ISO 291:2008, *Plastiques – Atmosphères normales de conditionnement et d'essai*

ISO 6427:2013, *Plastiques – Détermination des matières extractibles par des solvants organiques (Méthodes conventionnelles)*

ISO 6721-1, *Plastiques – Détermination des propriétés mécaniques dynamiques – Partie 1: Principes généraux*

ISO 11357-1:2009, *Plastiques – Analyse calorimétrique différentielle (DSC) – Partie 1: Principes généraux*

ISO 10147:2011, *Tubes et raccords en polyéthylène réticulé (PE-X) – Estimation du degré de réticulation par le mesurage du taux de gel*

ISO 14577-1, *Matériaux métalliques – Essai de pénétration instrumenté pour la détermination de la dureté et de paramètres des matériaux – Partie 1: Méthode d'essai*

ASTM D2765–11, *Méthodes d'essai pour déterminer la teneur en gel et le rapport de renflement des plastiques d'éthylène réticulé*