

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Optical fibres –
Part 1-33: Measurement methods and test procedures – Stress corrosion
susceptibility**

**Fibres optiques –
Partie 1-33: Méthodes de mesures et procédures d'essai – Résistance à la
corrosion sous contrainte**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
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 corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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: csc@iec.ch.

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.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

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 aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Optical fibres –
Part 1-33: Measurement methods and test procedures – Stress corrosion
susceptibility**

**Fibres optiques –
Partie 1-33: Méthodes de mesures et procédures d'essai – Résistance à la
corrosion sous contrainte**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.180.10

ISBN 978-2-8322-4736-5

**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.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
4 Overview of test methods	9
5 Reference test methods.....	9
6 Apparatus.....	9
7 Sampling and specimens.....	9
7.1 General.....	9
7.2 Specimen length	9
7.3 Specimen preparation and conditioning.....	9
8 Procedure.....	10
9 Calculations.....	10
10 Results	10
11 Specification information	11
Annex A (normative) Dynamic n value, n_D , by axial tension.....	12
A.1 General.....	12
A.2 Apparatus	12
A.2.1 General	12
A.2.2 Support of the specimen	13
A.2.3 Stressing application	14
A.2.4 Fracture force measurement.....	14
A.2.5 Strain rate control	14
A.2.6 Stress rate characterization	15
A.3 Test sample	15
A.3.1 Sample size.....	15
A.3.2 Sample size (optional)	15
A.4 Procedure	15
A.5 Calculations	16
A.5.1 Fracture stress	16
A.5.2 Fracture stress at a given strain rate	16
A.5.3 Dynamic (tension) stress corrosion susceptibility parameter, n_D	17
A.6 Results	17
Annex B (normative) Dynamic n value, n_D , by two-point bending.....	19
B.1 General.....	19
B.2 Apparatus	19
B.2.1 General	19
B.2.2 Stepper motor control	19
B.2.3 Stepper motor-driven movable platen	19
B.2.4 Stationary platen	19
B.2.5 Platen velocity.....	19
B.2.6 Fibre fracture detecting system.....	19
B.3 Test sample	20
B.4 Procedure	20

B.5	Calculations	21
B.5.1	Fracture stress	21
B.5.2	Dynamic (two-point bending) stress corrosion susceptibility parameter, n_d	21
B.5.3	Results	22
Annex C (normative)	Static n value, n_S , by axial tension	24
C.1	General.....	24
C.2	Apparatus	24
C.2.1	General	24
C.2.2	Gripping the fibre at both ends.....	24
C.2.3	Stressing the fibre	24
C.2.4	Measuring time to fracture	24
C.3	Test sample	24
C.4	Procedure	24
C.5	Calculations	25
C.5.1	Fracture stress	25
C.5.2	Static (tension) stress corrosion susceptibility parameter, n_S	25
C.5.3	Simple median.....	25
C.6	Results	25
Annex D (normative)	Static n value, n_S , by two-point bending	27
D.1	General.....	27
D.2	Apparatus	27
D.2.1	Test equipment.....	27
D.2.2	Fibre fracture detection.....	27
D.3	Test sample	27
D.4	Procedure	27
D.5	Calculations	27
D.5.1	Fracture stress	27
D.5.2	Static (two-point bending) stress corrosion susceptibility parameter, n_S	28
D.6	Results	28
Annex E (normative)	Static n value, n_S , by uniform bending	29
E.1	General.....	29
E.2	Apparatus	29
E.2.1	General	29
E.2.2	Support of the sample.....	29
E.2.3	Stressing the fibre	29
E.2.4	Measuring time to fracture	29
E.3	Test sample	29
E.4	Procedure	29
E.5	Calculations	30
E.5.1	Fracture stress	30
E.5.2	Static (uniform bending) stress corrosion susceptibility parameter, n_S	30
E.6	Results	30
Annex F (informative)	Considerations for dynamic stress corrosion susceptibility parameter calculations.....	31
F.1	Specimen size and sample size	31
F.1.1	Specimen size	31
F.1.2	Sample size.....	31

F.2	Numeric algorithm for calculation of dynamic stress corrosion susceptibility parameter, n_D	32
F.3	Complete method to calculate fracture stress.....	33
Annex G (informative)	Considerations for static stress corrosion susceptibility parameter calculations.....	35
G.1	Homologous method	35
G.2	Maximum likelihood estimate	35
Annex H (informative)	Considerations on stress corrosion susceptibility parameter test methods.....	36
H.1	General.....	36
H.2	Crack growth	36
H.3	Types of stress corrosion susceptibility test methods	37
H.4	Comparison of n value obtained with different methods.....	37
H.5	Conclusion.....	38
Bibliography.....		40
Figure A.1 – Schematic of translation test apparatus		12
Figure A.2 – Schematic of rotational test apparatus		13
Figure A.3 – Schematic of rotational test apparatus with load cell		13
Figure A.4 – Representation of dynamic fatigue graph		18
Figure B.1 – Schematic of two-point bending unit.....		22
Figure B.2 – Schematic of possible dynamic fatigue (two-point bending) apparatus		23
Figure B.3 – Schematic of dynamic fatigue data.....		23
Figure C.1 – Schematic of possible static fatigue (tension) apparatus		26
Figure D.1 – Possible test equipment schematic		28
Figure E.1 – Schematic of possible static fatigue (uniform bending) apparatus		30
Figure H.1 – COST 218 round robin results of fracture strength versus "effective" time-to-fracture for dynamic and static axial tension, dynamic and static two-point bending and static mandrel test methods		38
Figure H.2 – COST 218 round robin results of fracture strength versus "effective" time-to-fracture for dynamic and static axial tension, dynamic and static two-point bending and static mandrel test methods		39
Table F.1 – 95 % confidence interval for n_D		32

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL FIBRES –

**Part 1-33: Measurement methods and test procedures –
Stress corrosion susceptibility**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60793-1-33 has been prepared by subcommittee 86A: Fibres and cables, of IEC technical committee 86: Fibre optics.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2001. It constitutes a technical revision.

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

- a) removal of RTM;
- b) changes to scope.

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

FDIS	Report on voting
86A/1803/FDIS	86A/1824/RVD

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

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

A list of all parts of the IEC 60793 series, published under the general title *Optical fibres*, can be found on the IEC website.

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

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

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

INTRODUCTION

Annexes A, B, C, D, and E form an integral part of this document.

Annexes F, G, and H are for information only.

OPTICAL FIBRES –

Part 1-33: Measurement methods and test procedures – Stress corrosion susceptibility

1 Scope

This part of IEC 60793 contains descriptions of the five main test methods for the determination of stress corrosion susceptibility parameters.

The object of this document is to establish uniform requirements for the mechanical characteristic of stress corrosion susceptibility for silica-based fibres. Dynamic fatigue and static fatigue tests are used to determine the (dynamic) n_d value and (static) n_s value of stress corrosion susceptibility parameters. Currently, only the n_d -value is assessed against specification. Measured values greater than 18 per this procedure reflect the n_d -value of silica, which is approximately 20. Higher values will not translate to demonstrable enhanced fatigue resistance.

Silica fibre mechanical tests determine the fracture stress and fatigue properties under conditions that model the practical applications as closely as possible. The following test methods are used for determining stress corrosion susceptibility:

- A: Dynamic n_d value by axial tension;
- B: Dynamic n_d value by two-point bending;
- C: Static n_s value by axial tension;
- D: Static n_s value by two-point bending;
- E: Static n_s value by uniform bending.

These methods are appropriate for category A1, A2 and A3 multimode, class B single-mode fibres and class C intraconnecting single-mode fibres.

These tests provide values of the stress corrosion parameter, n , that can be used for reliability calculations according to IEC TR 62048 [18]¹.

Information common to all methods is contained in Clauses 1 to 10, and information pertaining to each individual test method appears in Annexes A, B, C, D, and E.

Annexes F and G offer considerations for dynamic and static stress corrosion susceptibility parameter calculations, respectively; Annex H offers considerations on the different stress corrosion susceptibility parameter test methods.

2 Normative references

There are no normative references in this document.

3 Terms and definitions

No terms and definitions are listed in this document.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

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>

4 Overview of test methods

The following test methods are available:

- Dynamic n_d value by axial tension, see Annex A.
- Dynamic n_d value by two-point bending, see Annex B.
- Static n_s value by axial tension, see Annex C.
- Static n_s value by two-point bending, see Annex D.
- Static n_s value by uniform bending, see Annex E.

5 Reference test methods

At the time of this revision, no agreement could be reached in maintaining method A only as RTM in using it with some fibres equipped with modern coatings. Method A or B should be used to resolve disputes because they may be completed in a duration practical for dispute resolution.

6 Apparatus

See Annexes A, B, C, D, and E for each of the layout drawings and other equipment requirements for each of the methods.

7 Sampling and specimens

7.1 General

These measurements are statistical in nature. A number of specimens or samples from a common population are tested, each under several conditions.

Failure stress or time statistics for various sampling groups are used to calculate the stress corrosion susceptibility parameters.

7.2 Specimen length

Specimen length is contingent on the test procedure used. See Annexes A, B, C, D, and E for the length required for each test method. For tensile tests, the length ranges from 0,5 m to at most 5 m. For two-point bending tests, the actual length tested is less than 1 cm and for uniform bending tests, about 1 m.

7.3 Specimen preparation and conditioning

All of the test methods shall be performed under constant environmental conditions. Unless otherwise specified in the detail specification, the nominal temperature shall be in the range of 20 °C to 23 °C with a tolerance of ± 2 °C for the duration of the test. Unless otherwise specified in the detail specification, the nominal relative humidity (RH) shall be in the range of 40 % to 60 % with a tolerance of ± 5 % for the duration of the test.

Unless otherwise specified, all specimens shall be pre-conditioned in the test environment for a minimum period of 12 h.

A method for extrapolating such stress corrosion susceptibility parameters to service environments different from the default environment specified above has not been developed.

It has been observed that the value of n produced by these tests can change after even brief exposure of the fibre to elevated temperature and humidity. A guide for the use of these methods is documented in IEC TR 62048 [18].

The observed value of stress corrosion susceptibility parameter, n , may differ between fatigue test methods, if not performed in the same effective measuring time and effective glass area under test (see Annex H). Care should be taken in the choice of test method. This should be agreed between the customer and supplier.

8 Procedure

See Annexes A, B, C, D, and E for the individual test methods.

Each of several samples (consisting of a number of specimens) is exposed to one of a number of stress conditions. For static fatigue tests, a constant stress is applied from sample to sample and time to failure is measured. For dynamic fatigue tests, the stress rate is varied from sample to sample, and the failure stress is measured.

The following is an overview of the procedures common to all methods:

- complete pre-conditioning;
- divide the specimens into sample groups;
- apply the specified stress conditions to each sample group;
- measure time or stress at failure;
- complete calculations.

9 Calculations

The calculations for each individual test method are found in Annexes A, B, C, D, and E.

10 Results

The following information shall be reported with each test:

- fibre identification;
- test date;
- stress corrosion susceptibility parameter;
- test method.

The following information shall be provided upon request:

- specific information as required by the test method;
- relative humidity and ambient temperature;
- any special pre-conditioning.

Clauses A.5, B.5, C.5, D.5, and E.5 have results that apply to each specific method.

11 Specification information

The detail specification shall specify the following information:

- information to be reported;
- any deviations to the procedure that apply;
- failure or acceptance criteria.

Annex A (normative)

Dynamic n value, n_d , by axial tension

A.1 General

This method is designed for determining the dynamic stress corrosion susceptibility parameter (dynamic n value, n_d) of optical silica-based fibre at specified constant strain rates.

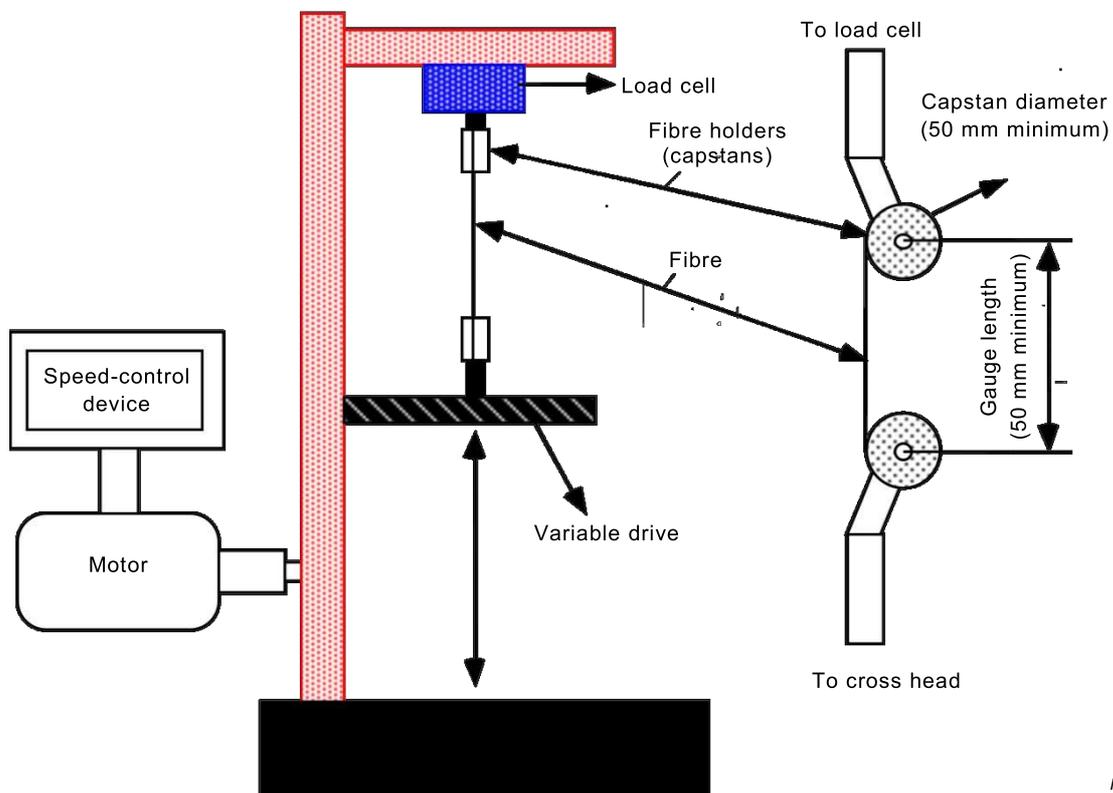
This method is intended only to be used for those optical fibres of which the median fracture stress is greater than 3 GPa at the highest specified strain rate. For fibres with median fracture stress less than 3 GPa, the conditions herein have not demonstrated sufficient precision.

This method is intended to test fatigue behaviour of fibres by varying the strain rate. The test is applicable to fibres and strain rates for which the logarithm of fracture stress versus the logarithm of strain rate behaviour is linear.

A.2 Apparatus

A.2.1 General

Clause A.2 describes the fundamental requirements of the equipment used for dynamic fracture stress testing. There are several configurations that meet these requirements. Examples are presented in Figures A.1 to A.3. Unless otherwise specified in the detail specification, use a gauge length of 500 mm for tensile test specimens.



IEC

Figure A.1 – Schematic of translation test apparatus

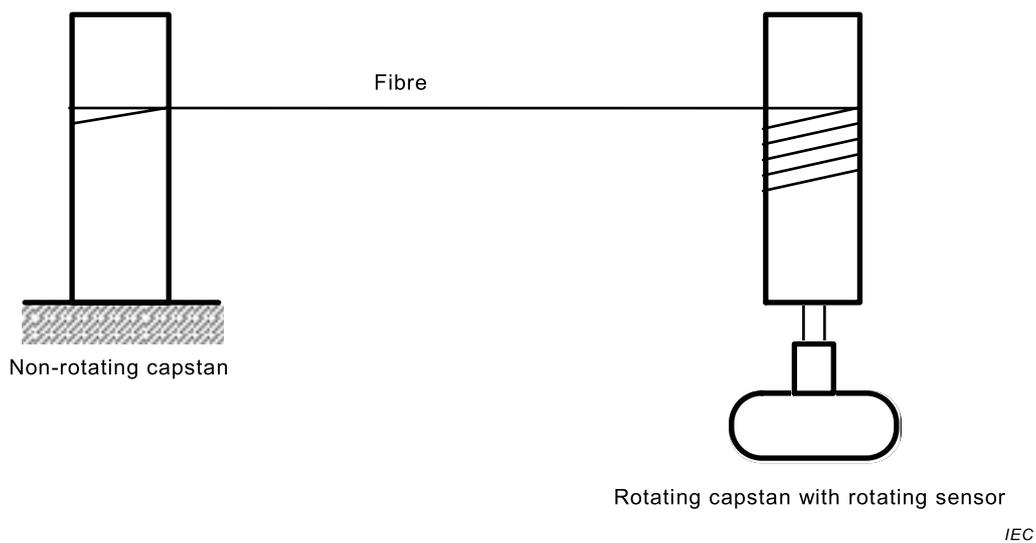


Figure A.2 – Schematic of rotational test apparatus

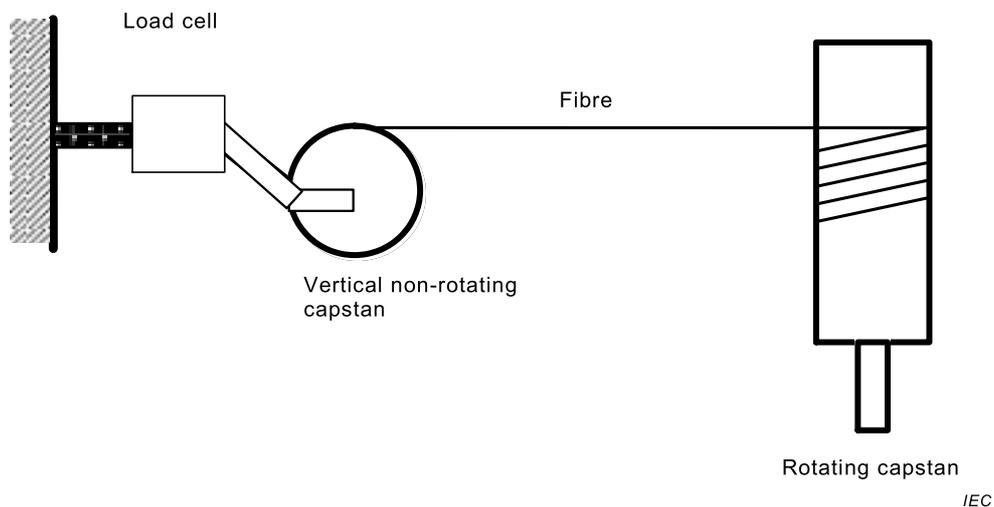


Figure A.3 – Schematic of rotational test apparatus with load cell

A.2.2 Support of the specimen

Grip the fibre length to be tested at both ends and subject the fibre to tension until fracture occurs in the gauge length section of the fibre. Minimize the fibre fracture at the grip – a sensitive aspect of this method – by providing a surface friction that prevents excessive slippage.

Do not include breaks that occur at the grip in the sample or use them in the calculations.

Use a capstan, optionally covered with an elastomeric sheath, to grip the fibre. Wrap a section of the fibre that will not be tested around the capstan several times and secure it at the end with, for example, an elastic band or masking tape. Apply sufficient fibre length at the grip in order to avoid slippage inside the coating (coating type depending aspect [19]). Wrap the fibre with no crossovers. The gauge length is the length of fibre between the axes of the gripping capstans before it is stretched.

Use a capstan and pulley diameter so that the fibre is not subjected to a bending stress that causes the fibre to break on the capstan. For typical silica-based fibres, the bending stresses shall not exceed 175 MPa when the fibre is wrapped as shown in Figures A.1 to A.3 or traverses a pulley. For example in case of 125 µm cladding diameter silica fibre (200 µm and 250 µm coating diameter), the minimum capstan diameter is then 50 mm. Provide a capstan surface tough enough that the fibre does not cut into it when fully loaded. This condition can be determined by pre-testing.

A.2.3 Stressing application

Elongate the fibre at a fixed strain rate until it breaks. The rate of elongation is expressed as percentage per minute, relative to the gauge length. Two examples are given:

- a) increase the separation between the gripping capstans by moving one or both of the capstans at a fixed rate of speed, with the starting separation equal to the gauge length (Figure A.1); or
- b) rotate one or both of the gripping capstans, to take up the fibre under test (see Figures A.2 and A.3).

The strain rate is the change in length between the two locations, in per cent, divided by the time.

If method b) is used, ensure that the fibre on the capstan does not cross over itself as it is wrapped.

If fibres are tested simultaneously, protect each fibre from adjacent fibres so that whiplash at fracture does not damage other fibres under test.

A.2.4 Fracture force measurement

Measure the tensile stress during the test and at fracture for each test fibre by a load cell, calibrated to within 0,5 % (0,005) of the fracture or maximum load, for each range of fracture stress. Calibrate the load cell while oriented in the same manner as when testing the fibre under load. For method b), use a light, low-friction pulley (or pulleys) in place of the non-rotating capstan (see Figure A.2), or the rotating capstan (see Figure A.3), when calibrating load cells with a string and calibration weight.

Use a string, attached at one end to the load-measuring device (or its capstan), to duplicate the direction of an actual test fibre with a thickness or diameter comparable to that of a test fibre. A minimum of three calibration weights are recommended for load cell calibration which bracket the typical fracture or maximum load (50 % below maximum, maximum and 50 % above maximum).

The response time of the load-measuring system shall be sufficient to report the fracture stress within 1 % of the actual value.

NOTE Frictional effects from the pulleys can lead to substantial errors in the load cell calibration of rotating capstan testers for horizontally mounted fibre.

A.2.5 Strain rate control

Determine the setting for the speed control unit by trial in order to meet the specified strain rates. Express the strain rate as a percentage of gauge length per unit time. Unless otherwise specified in the detail specification, the maximum strain rate shall be equal to or less than 100 %/min. Select the actual maximum strain rate by taking into account aspects of the test method such as equipment considerations and material properties of the samples. In addition to the maximum rate, use three additional strain rates, each reduced sequentially by roughly a power of 10 from the maximum.

It is possible to minimize test duration by using a faster strain rate in conjunction with a reduced load. For example, if a strain rate of 0,025 %/min is specified, test some specimens at the next fastest rate (0,25 %/min) to establish a range of fracture stress. Then pre-load to a level equal to or less than 80 % of the lowest fracture stress found for the initial trial specimens at the next fastest rate.

A.2.6 Stress rate characterization

The stress rate may vary with fibre type, equipment, breaking stress, fibre slippage, and strain rate. Characterize the stress rate, $\dot{\sigma}_a$, at each strain rate used in the fatigue calculation according to:

$$\sigma_a = \frac{0,2 \times \sigma_f}{t(\sigma_f) - t(0,8 \times \sigma_f)} \quad (\text{A.1})$$

where

- σ_f is the fracture stress;
- $t(\sigma_f)$ is the time to fracture;
- $t(0,8 \times \sigma_f)$ is the time at 80 % of the fracture stress.

A.3 Test sample

A.3.1 Sample size

Because of the variability of test results, test a minimum of 15 specimens for each strain rate, and drop the lowest breaking fracture stress data point for each strain rate. Alternatively, if the standard error of estimate of slope σ_f vs. $\dot{\sigma}_a$ is 0,0017 or greater (as explained in Clause F.2), test a minimum of 30 specimens for each strain rate and drop the lowest two breaking fracture stress data points for each strain rate.

A.3.2 Sample size (optional)

As explained in A.3.1, additional specimens may be required for some applications in which the confidence interval on the estimate of the dynamic (tension) stress corrosion susceptibility parameter, n_d , needs to be known. Refer to Table F.1 for various sample sizes, depending upon the expected dynamic Weibull slope, m_d . Appropriate use of the algorithm in Clause F.2 is restricted to tests in which the same sample size is specified for each strain rate.

A.4 Procedure

This procedure describes how to obtain fibre fracture stress on a given sample set tested at a given strain rate. Calculations of population statistics are presented in Clause F.2.

- 1) Set and record the gauge length (see A.2.3).
- 2) Set and record the strain rate (see A.2.5).
- 3) If method a) of A.2.3 is used, return the gripping capstans to the gauge length separation.
- 4) Load the test specimen in the grips, one end at a time. The tangent point of the fibre shall be in the same location as that for the load calibrations. Guide each specimen so that the fibre makes at least the required number of turns around the capstan without crossing over itself.
- 5) If necessary, re-set the load-measuring system.
- 6) Start the motor to stress the fibre. Record the stress vs. time until the fibre breaks. Stop the motor.
- 7) Repeat steps 3) through 6) for all fibres in the sample set.

- 8) Calculate the fibre fracture stress, σ_f , for each break. Use Equation (A.2).
- 9) Calculate the stress rate, $\dot{\sigma}_a$. Use Equation (A.1).
- 10) Complete the required population statistic calculations. Use Equations (A.3) to (A.6).

A.5 Calculations

A.5.1 Fracture stress

The following method can be used to calculate the fracture stress, σ_f , when the coating contribution is negligible (less than 5 %), such as on common 125 μm diameter fibre with a coated diameter of 250 μm (polymer coating):

$$\sigma_f = T / A_g \quad (\text{A.2})$$

where

T is the force (tension) experienced by the composite specimen at fracture;

A_g is the nominal cross-sectional area of the glass fibre.

A more complete method is given in Clause F.3 for use when the coating contribution is important.

A.5.2 Fracture stress at a given strain rate

The following steps are required to form a Weibull plot characterizing the population.

- a) Sort the fracture stresses from minimum to maximum. Assign a rank, k , to each. Rank is the order, for example first is the weakest, second is the next weakest, etc. Assign a different rank to each break, even if several breaks have the same fracture stress.
- b) Calculate the cumulative probability of failure, F_k , for each break:

$$F_k = (k - 0,5)/N, \quad k = 1, 2, \dots N \quad (\text{A.3})$$

where

N is the sample size.

- c) Graph $\ln [-\ln (1 - F_k)]$ vs $\ln (\sigma_f)$ to form the Weibull plot.
- d) Label the plot with the required information.
- e) For a given gauge length and diameter, the dynamic fatigue Weibull plot is associated with the following cumulative probability function:

$$F_k = 1 - \exp [-(\sigma_f/\sigma_0)^{m_d}] \quad (\text{A.4})$$

Let $k(P) = P \times N + 0,5$ define a rank associated with a given probability, P .

If $k(P)$ is an integer, let $\sigma_f(P) = \sigma_{fk}(P)$, the fracture stress of the $k(P)$ th rank. If $k(P)$ is not an integer, let k_1 be the integer just below $k(P)$ and $k_2 = k_1 + 1$.

Then, let $\sigma_f(P) = (\sigma_{fk1} \times \sigma_{fk2})^{1/2}$.

The median fracture stress is $\sigma_f(0,5)$. The Weibull slope is:

$$m_d = \frac{2,46}{\ln [\sigma_f(0,85)] - \ln [\sigma_f(0,15)]} \quad (\text{A.5})$$

The Weibull parameter is:

$$\sigma_0 = \exp \left[\frac{0,3665}{m_d} + \ln[\sigma_f(0,5)] \right] \quad (\text{A.6})$$

Graph the Weibull plot for each stress rate, and determine the median fracture stress $\sigma_f(0,5)$ for each stress rate.

A.5.3 Dynamic (tension) stress corrosion susceptibility parameter, n_d

The median fracture stress $\sigma_f(0,5)$ as defined in A.5.2, will generally vary with constant stress rate, as follows:

$$\ln \sigma_f(0,5) = \frac{\ln \sigma_a}{1 + n_d} + C \quad (\text{A.7})$$

where

C is the natural logarithm of fracture stress at a stress rate of unity as shown in Figure A.4 (intercept).

Intercept can be calculated from the following:

$$C = \bar{Y} - (S) \times \bar{X} \quad (\text{A.8})$$

where

S is the slope.

Unless otherwise specified, use the algorithm in Clause F.2 to calculate \bar{X} , \bar{Y} , the estimate of n_d , and the 95 % confidence interval for the test. Unless otherwise specified, the standard error of estimate of slope $\ln \sigma_f$ vs. $\ln \dot{\sigma}_a$ shall be less than 0,0017. Refer to Clause F.2 to determine the standard error of estimate of slope.

A.6 Results

The following data shall be provided upon request:

- strain rates;
- sample size per strain rate;
- standard error of estimate;
- \bar{X} and \bar{Y} ;
- gauge length;
- test environment;
- environmental pre-conditioning time;
- fracture stress calculation method;
- Young's modulus of fibre (if taken into account);
- Young's modulus of coating(s) (if taken into account);
- Weibull plots for all strain rates (if used);
- method of calculating the stress rate.

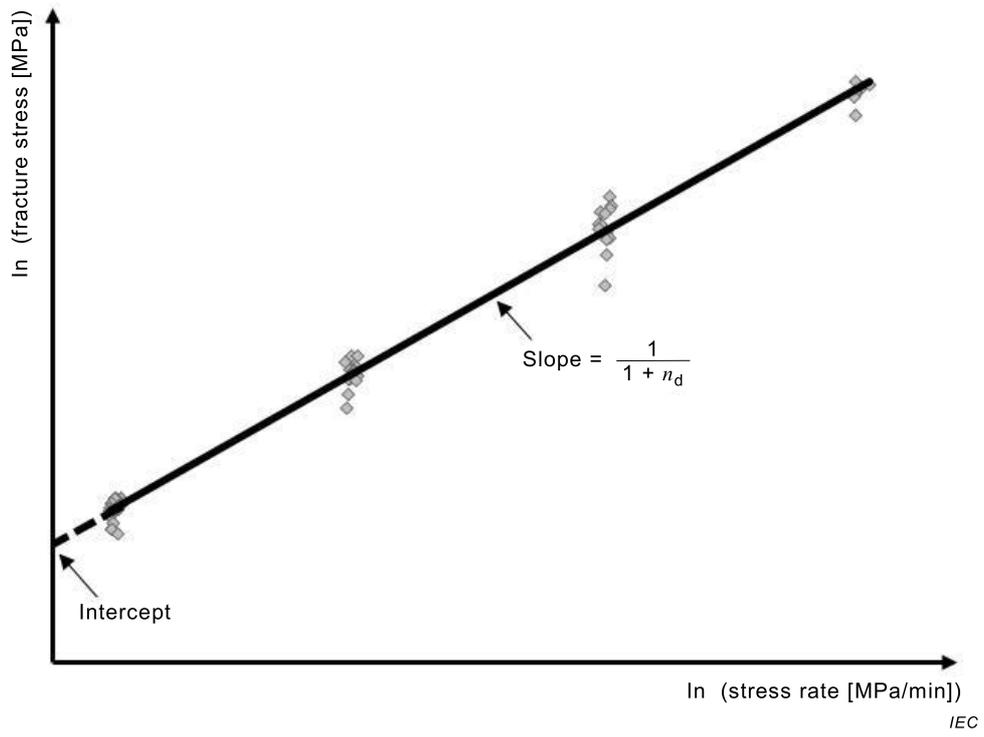


Figure A.4 – Representation of dynamic fatigue graph

Annex B (normative)

Dynamic n value, n_d , by two-point bending

B.1 General

This procedure provides a method for measuring the dynamic fatigue parameters (dynamic n value, n_d) of optical fibre in two-point bending at a constant platen velocity. This method is intended to test fatigue behaviour of fibres by varying the platen velocity. The test is applicable to fibres and platen velocities for which the logarithm of fracture stress versus the logarithm of platen velocity behaviour is linear.

B.2 Apparatus

B.2.1 General

A possible test apparatus is schematically shown in Figure B.1. This equipment is designed to measure the strain/stress required to break an optical fibre in a two-point bending geometry by measuring platen separation at fracture. This technique is readily amenable to various test environments.

B.2.2 Stepper motor control

This device allows accurate, reliable, repeatable motorized control of the linear table. A maximum step length of 1 μm shall be used. A step length of 0,1 μm could be used for higher accuracy.

B.2.3 Stepper motor-driven movable platen

The movable platen converts the stepper motor rotation to linear translation by means of a lead screw.

B.2.4 Stationary platen

This device holds the fibre against the movable platen.

B.2.5 Platen velocity

Place the fibre between two platens that are brought together by a computer controlled stepper motor at a specified constant platen velocity ($V = \text{constant}$) until the fibre breaks. Unless otherwise specified in the detail specification, use velocities 1 $\mu\text{m/s}$, 10 $\mu\text{m/s}$, 100 $\mu\text{m/s}$, 1 000 $\mu\text{m/s}$, each accurate to $\pm 10\%$.

B.2.6 Fibre fracture detecting system

One of the following techniques may be used to detect fibre fracture.

1) Method 1

Use an acoustic emission detector or transducer and computer to sense the fibre break and platen position at time of break. The computer then stops the platen and displays the platen separation at the time of the break.

2) Method 2

Incorporate a force (pressure) transducer into the stationary platen and connect it to a suitable signal conditioning equipment to measure force exerted on the fibre during the test. When the fibre breaks, the force drops to zero, providing a means of detecting the break.

3) Method 3

Launching light through a fibre during the test and monitoring the output signal is another technique for detecting fibre fracture. When the fibre breaks, the transmission is lost.

With all of the techniques above, calculate the platen separation at fracture d as:

$$d = a - b \quad (\text{B.1})$$

where

a is the platen starting position;

b is the platen travel.

B.3 Test sample

The test sample is a length of coated optical fibre approximately 30 mm to 120 mm long. The glass diameter shall be known to $\pm 1 \mu\text{m}$ and coating diameter shall be known to $\pm 5 \mu\text{m}$. Unless otherwise specified in the detail specification, the sample size for each velocity shall be at least 15 specimens.

B.4 Procedure

The following is one example of a calibration procedure.

- 1) Set the distance between the platen to zero when the faces of the platen are completely touching. When contact is made, the readout on the stepper motor controller should be zero. The platen separation value d when the fibre breaks may be verified by checking the distance with a gauge block. The zero position should be repeatable to $\pm 5 \mu\text{m}$. It is recommended the surfaces of the platen be carefully cleaned before they are run together for touching.
- 2) Unless otherwise specified in the detail specification, set the initial fibre platen opening gap to 12,00 mm including groove depths.
- 3) Before a population of fibres for a given platen velocity is tested, break an identical fibre from the same group to determine the platen separation at fibre fracture. This platen separation d is used to calculate the breaking stress (Equations (B.2), (B.3), and B.4)). An initial (starting) platen separation can be determined from Equations (B.2), (B.3), (B.4), and (B.5) using a value of stress equal to 50 % of the breaking stress. This will allow the duration of the test to be reduced and the highest platen velocities to be achieved, since the maximum stepper motor speed may limit the maximum obtainable platen velocities.

It is possible to minimize test duration by using a faster platen velocity in conjunction with a reduced velocity. For example, if a platen velocity of $1 \mu\text{m/s}$ is specified, test some specimens at the next fastest rate ($10 \mu\text{m/s}$) to establish a range of fracture stresses. Then preload to a level equal to or less than 80 % of the lowest fracture stress found for the initial trial specimens at the next fastest rate.

- 4) Carefully grasp both ends of the test specimen, bend it carefully, and insert it between the platen, then pull it upwards to position it as shown in Figure B.2. Do not touch the bent fibre (gauge length) with fingers when handling or loading fibres. The apex of the fibre should always be at the same position in the fixture. This minimizes the effect of a non-parallel platen. Fibre orientation, whether up or down, does not matter.
- 5) After the specimen has broken, brake the stepper motor to a stop and record the platen separation at the break.

- 6) Repeat steps 1) to 5) for each fibre sample at the specified load rate, and for all samples at the other specified load rates.
- 7) Calculate the fibre fracture stress, σ_f , for each break, using Equations (B.2) to (B.4).
- 8) Complete the required population statistic calculations, using Equations (B.5) and (B.6).

B.5 Calculations

B.5.1 Fracture stress

Calculate the fracture stress of each fibre by:

$$\sigma_f = E_0 \times \varepsilon_f (1 + 0,5 \times \alpha' \times \varepsilon_f) \quad (\text{B.2})$$

$$\varepsilon_f = 1,198 \frac{d_f}{d - d_c + 2d_g} \quad (\text{B.3})$$

$$\alpha' = 0,75 \times \alpha - 0,25 \quad (\text{B.4})$$

where

- σ_f is the fracture stress in GPa;
- E_0 is the Young's modulus of silica glass (72 GPa);
- ε_f is the fracture strain at the apex of the fibre;
- α is the correction parameter for non-linear stress/strain behaviour (typical value for α is 6);
- d_f is the glass fibre diameter in μm ;
- d is the distance between platen at fibre fracture in μm ;
- d_c is the overall fibre diameter including any coating in μm ;
- $2d_g$ is the total depth of both grooves in μm (see Figure B.2).

B.5.2 Dynamic (two-point bending) stress corrosion susceptibility parameter, n_d

The median fracture stress, $\sigma_f(0,5)$, will generally vary with constant platen velocity, V , according to:

$$\ln \sigma_f(0,5) = \frac{1}{n_d - 1} \times \ln \frac{V}{r} + C \quad (\text{B.5})$$

where

- r is the radius of glass fibre;
- C is the natural logarithm of fracture stress at a constant platen velocity of unity as shown in Figure B.3 (intercept).

C can be calculated from:

$$C = \bar{Y} - (S) \times \bar{X} \quad (\text{B.6})$$

where

- S is the slope.

Unless otherwise specified, use the algorithm in Clause F.2 to calculate \bar{X} , \bar{Y} , the estimate of n_d , and the 95 % confidence interval for the test. Unless otherwise specified, the standard error of estimate of slope $\log(\sigma_f)$ vs. $\log(V)$ shall be less than 0,001 7. Refer to Clause F.2 to determine the standard error of estimate.

B.5.3 Results

The following data shall be provided upon request:

- platen velocities;
- sample size for each platen velocity;
- the standard error of estimate;
- test environment;
- environmental pre-conditioning time;
- Young's modulus of fibre glass (if assumed other than what is given in B.5.1);
- Weibull plots for all platen velocities (if used);
- \bar{X} and \bar{Y} ;
- fibre (glass and coating) diameter.

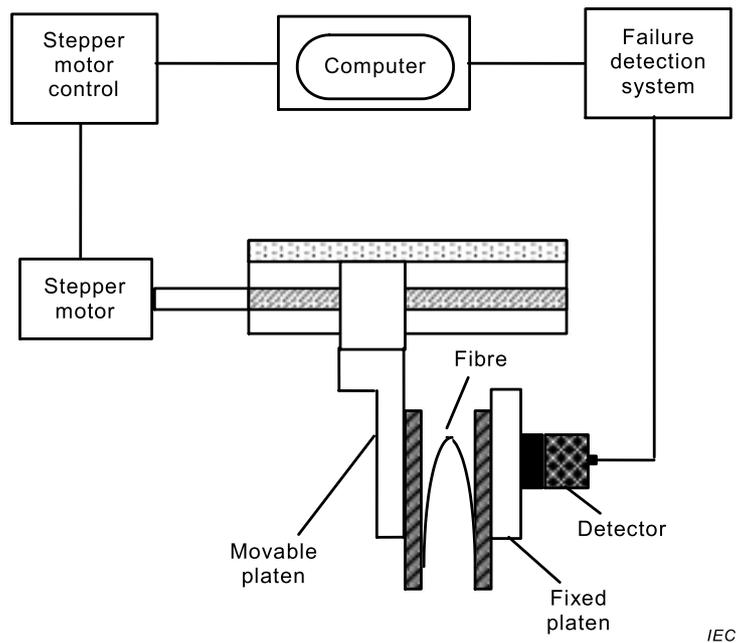


Figure B.1 – Schematic of two-point bending unit

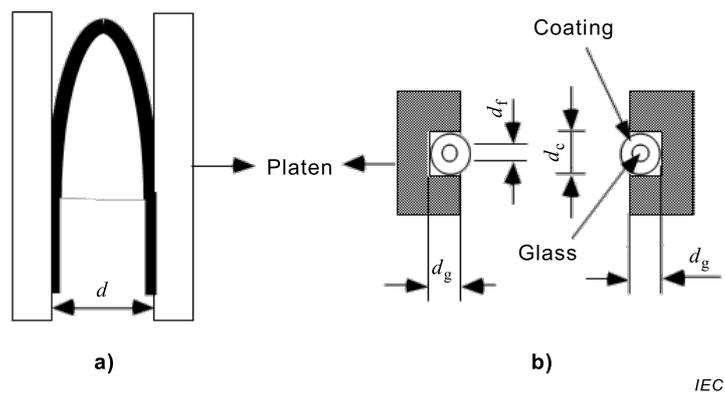


Figure B.2 – Schematic of possible dynamic fatigue (two-point bending) apparatus

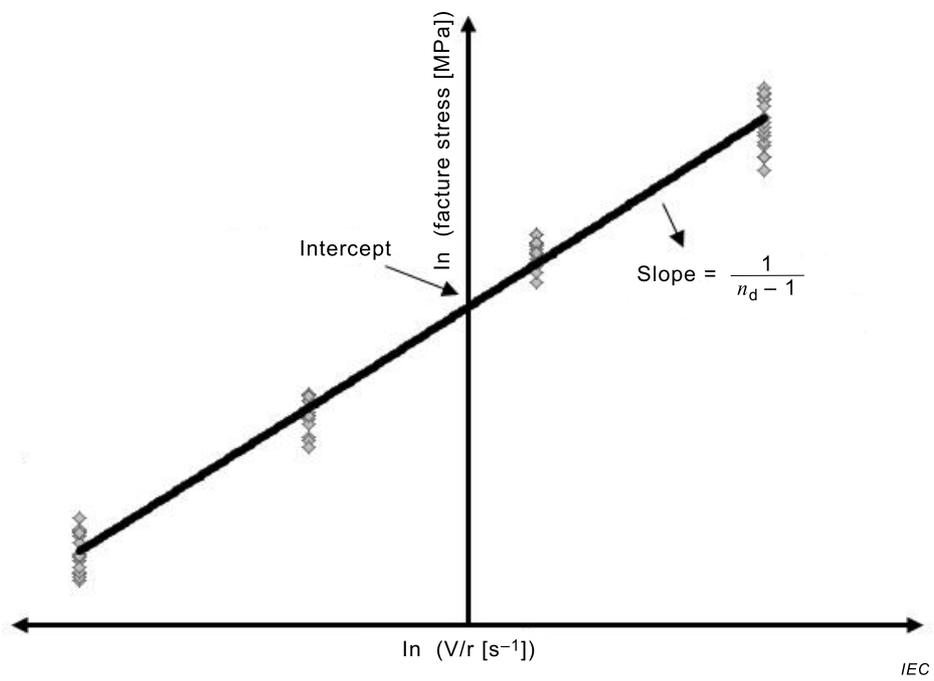


Figure B.3 – Schematic of dynamic fatigue data

Annex C (normative)

Static n value, n_s , by axial tension

C.1 General

This method is designed for determining the static fatigue parameters (static n value, n_s) of individual optical fibre lengths under tension. This method is intended to test static fatigue behaviour of fibres by varying the applied stress levels.

C.2 Apparatus

C.2.1 General

Possible arrangements of test equipment are schematically shown in Figure C.1. Each arrangement consists of a means of applying stress to a fibre and monitoring time to fracture. Unless otherwise specified in the detail specification, the gauge length, i.e. the distance between the capstans, shall be 500 mm.

C.2.2 Gripping the fibre at both ends

See A.2.2.

C.2.3 Stressing the fibre

The stress is applied on the fibre by hanging a known weight on one capstan (see Figure C.1). Several specimens are tested at a given nominal stress level. The range of actual stress levels for a given nominal level can influence the quality of the measurement. For the simple median computation method, the range of stress levels for a given nominal shall be within $\pm 0,5\%$ of the nominal. For the homologous method and the maximum likelihood estimate method, the individual stress levels for each specimen shall be recorded for use in the computation (see C.5.2).

C.2.4 Measuring time to fracture

There are many techniques to monitor time to fracture which can meet the requirements of this test method. One way to monitor the time to fracture is to set up timers underneath the hanging weights used to apply the stress on the fibre.

C.3 Test sample

Unless otherwise specified in the detail specifications, use the sample size for each nominal stress level of at least 15.

C.4 Procedure

Test a minimum of five different nominal applied stress levels, σ_a . Choose the nominal stresses such that the median times to fracture range from about 1 h to about 30 days in roughly equal distance on the logarithmic scale. The loads necessary to achieve this for standard silica-based fibres are in the range of 30 N to 50 N.

Since the time to fracture is dependent on both the fracture stress of the fibre and the fatigue parameter, the actual nominal stress levels applied and the number that are applied can be determined iteratively. Alternatively, a broad range of levels may be applied at the beginning of a measurement. Data from test sets that break too soon or take too long to break may be discarded.

Upon completion of pre-conditioning, load the fibres into the unit. Monitor and record the time to fracture for each fibre fracture. When testing a sample set for a given nominal stress level, as soon as the median specimen has broken the test may be terminated early. That is, if more than half of the samples have broken, the computation can be carried out and a median time to fracture determined before all the remaining samples fail. The standard error of the estimate shall be computed and reported for each measurement. Unless otherwise specified in the detail specification, the standard error of the estimate shall be less than 1.

C.5 Calculations

C.5.1 Fracture stress

See A.5.1.

C.5.2 Static (tension) stress corrosion susceptibility parameter, n_s

Unless otherwise specified, the following method shall be used to determine n_s . Alternatively, other methods, for example homologous or maximum likelihood estimate, can be used to determine n_s (see Clause A.5).

C.5.3 Simple median

This method does not require an assumption of linearity of the Weibull slope. Since all the data are not used, it can produce a larger standard error of the estimate than others. For each nominal stress level, σ_i , the median time to fracture, t_i , is determined. Fit the data to the following linear regression model by minimizing the sum of squared errors:

$$-n_s \ln(\sigma_i) + C = \ln(t_i) \quad (\text{C.1})$$

where

C is the intercept.

The standard error of the estimate for n_s is reported by most statistical packages. The median of $\ln(\sigma_i)$ and the median of $\ln(t_i)$ are also reported. The value of intercept in the above equation is as follows:

$$C = M[\ln(t_i)] + n_s M[\ln(\sigma_i)] \quad (\text{C.2})$$

where

M is the median value.

C.6 Results

The following data shall be provided upon request:

- fibre diameter;
- coating diameter (if it is taken into account);
- test environment;
- gauge length;

- initial sample size for each nominal stress level and the number of nominal stress levels;
- environmental pre-conditioning time, where applicable;
- fracture stress calculation method – if the method of Clause F.3 is used, Young’s modulus of the coating and the glass shall be reported;
- nominal stress levels.

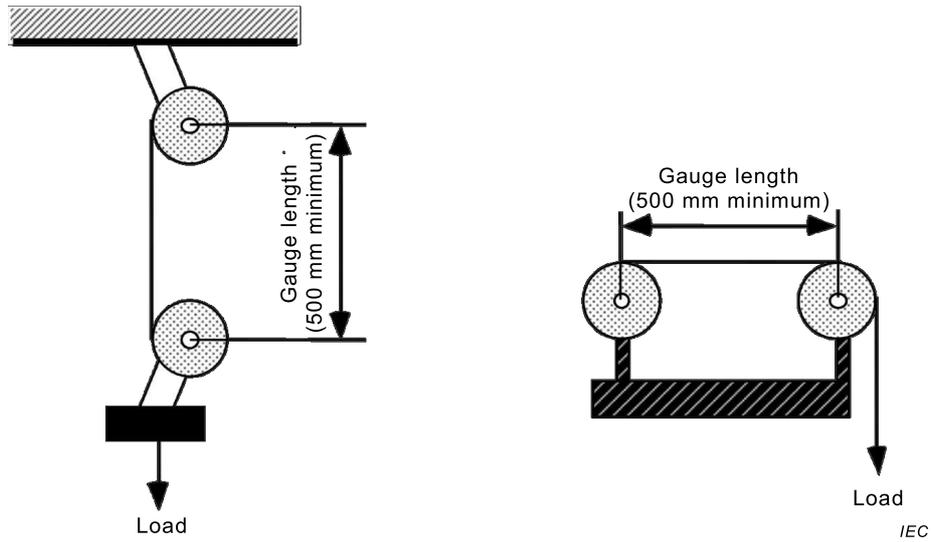


Figure C.1 – Schematic of possible static fatigue (tension) apparatus

Annex D (normative)

Static n value, n_s , by two-point bending

D.1 General

This procedure provides a method for determining the static fatigue parameters (static n value, n_s) of optical fibres in two-point bending.

D.2 Apparatus

D.2.1 Test equipment

A possible test equipment schematic is shown in Figure D.1 a). The grooved, parallel plates and the spacers shall be made of thermally stable materials (e.g. stainless steel). The spacers are used to create a required gap between platen – see Figure D.1 b). Precision-bore glass tubes or precision-reamed metal plates may be used in place of the parallel plates shown in Figure D.1 b). In this case, the walls of the tubes serve the same function as the parallel plates.

D.2.2 Fibre fracture detection

An acoustic sensor, and an appropriate monitor for output voltage, may be used for fibre fracture detection. Other methods of sensing breaks, such as launching light down the optical fibre, may also be used (see B.2.6). The sensing equipment shall be capable of measuring the time to break with a precision equal to or better than 1 % of the elapsed time.

D.3 Test sample

The test sample is a length of coated optical fibre approximately 30 mm to 120 mm long. The glass diameter shall be known to $\pm 1 \mu\text{m}$ and coating diameter must be known to $\pm 5 \mu\text{m}$. Unless otherwise specified in the detail specification, use a sample size for each nominal stress level of at least 15.

D.4 Procedure

Test a minimum of five different nominal stress levels. Choose the nominal stresses so that the median times to fracture range from about 1 h to about 30 days.

Assemble the two-point bending fixture, using spacers of appropriate height to produce the desired maximum stress at the apex of the fibre bend. To calculate the spacer height which will produce the desired value of applied stress, use Equations (B.2), (B.3), and (B.4). If precision-bore tubing or precision-reamed metal is used, d_g in Equation (B.3) is equal to zero (0). Upon completion of pre-conditioning, load the fibres into the fixture. Record the time to fracture for each break using a detector. Ensure that the detector did not register false breaks or fail to register true breaks.

D.5 Calculations

D.5.1 Fracture stress

See B.5.1.

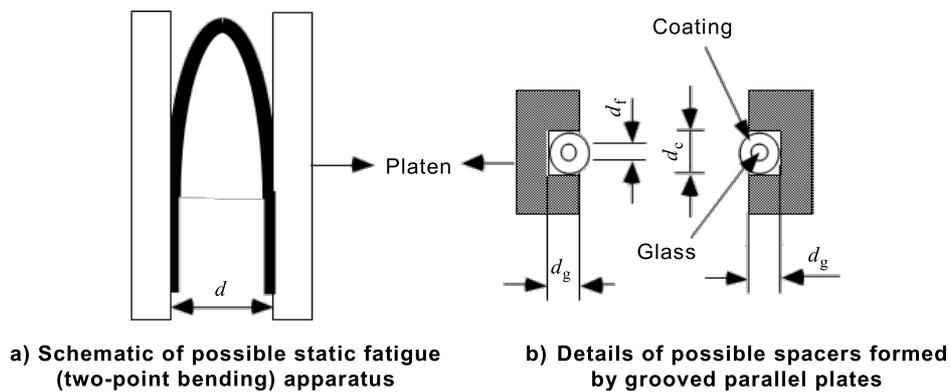
D.5.2 Static (two-point bending) stress corrosion susceptibility parameter, n_s

See C.5.2.

D.6 Results

The following data shall be provided upon request:

- fibre (glass) diameter;
- coating diameter;
- test environment;
- modulus of elasticity of the fibre;
- initial sample size for each nominal stress level and the number of nominal stress levels;
- method of computation of n_s ;
- the Weibull shape parameter, m_s , from Clause G.2. for each strain value tested;
- the standard error of the estimate of n_s ;
- nominal stress levels.



IEC

Figure D.1 – Possible test equipment schematic

Annex E (normative)

Static n value, n_s , by uniform bending

E.1 General

This procedure describes a method for determining the static fatigue parameters (static n value, n_s) of individual optical fibre lengths in uniform bending.

E.2 Apparatus

E.2.1 General

The test equipment for bending stress consists of precision mandrels of different diameters. Fibres are subjected to bending stresses by winding around a mandrel (see Figure E.1).

E.2.2 Support of the sample

Grip the fibre length to be tested at both ends. The fibres can be fixed using, for example, rubber rings or glue or tape at the ends of the mandrel. Use a grip that does not allow the fibre to slip prior to fracture, and minimizes fibre fracture at the grip. Record breaks that occur at the grip, but do not consider it as part of the sample or use it in subsequent calculations.

A winding mechanism is needed to wind the test fibre on the mandrel. Wind the fibre with minimum pitch and without crossovers. Take care to avoid introducing unwanted tensile stress during winding. Sufficient winding force is needed to ensure that the fibre touches the mandrel throughout its entire length, for example 0,25 N.

E.2.3 Stressing the fibre

The stress level can be varied by the proper choice of the mandrel size. Several specimens are tested at a given nominal stress level. For the simple median computation method, use a range of mandrel diameters for a given stress level within $\pm 0,5$ % of the nominal. For the homologous method and the maximum likelihood estimate method, record the individual stress levels for each specimen for use in the computation.

E.2.4 Measuring time to fracture

There are many techniques to monitor time to fracture which meet these requirements. One way is to use an acoustic emission detector or transducer to sense the fibre break and signal the computer at the time of fracture. Another method is optical detection of the presence of the mandrel in a special holder. When the fibre breaks, the mandrel is pushed out of the holder. Optical detection of transmitted light through the fibre is yet another technique.

E.3 Test sample

Unless otherwise specified in the detail specification, use a sample size for each nominal stress level of at least 15 and a fibre length of 1 m for each test. The glass diameter shall be known to ± 1 μm and coating diameter shall be known to ± 5 μm .

E.4 Procedure

Test a minimum of five different nominal stress levels. Choose nominal stresses such that the median times to fracture range from about 1 h to about 30 days.

E.5 Calculations

E.5.1 Fracture stress

Calculate the fracture stress of each fibre using the following equation:

$$\sigma_f = E_o \times \mathcal{E}_f (1 + 0,5 \times \alpha'' \times \mathcal{E}_f) \quad (\text{E.1})$$

$$\mathcal{E}_f = \frac{d_f}{D + d_c} \quad (\text{E.2})$$

$$\alpha'' = 0,75 \alpha \quad (\text{E.3})$$

where

σ_f is the fracture stress in GPa;

E_o is the Young's modulus (72 GPa);

\mathcal{E}_f is the fracture strain;

α is the correction parameter for non-linear stress/strain behaviour (typical value for α is 6);

d_f is the glass fibre diameter in μm ;

D is the mandrel diameter in μm ;

d_c is the overall fibre diameter including any coating in μm .

E.5.2 Static (uniform bending) stress corrosion susceptibility parameter, n_s

See C.5.2.

E.6 Results

The following data shall be provided upon request:

- fibre (glass) diameter;
- coating diameter;
- mandrel diameters;
- test environment;
- the standard error of the estimate of n_s ;
- length of fibre wound on mandrels;
- winding force;
- initial sample size for each mandrel diameter and the number of mandrel diameters;
- number of mandrels in each batch of mandrel diameters.

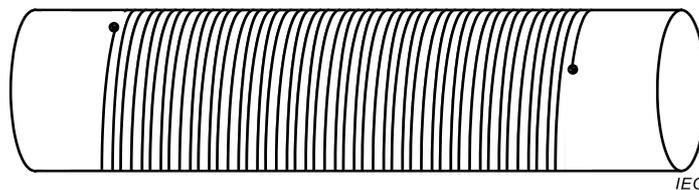


Figure E.1 – Schematic of possible static fatigue (uniform bending) apparatus

Annex F (informative)

Considerations for dynamic stress corrosion susceptibility parameter calculations

F.1 Specimen size and sample size

F.1.1 Specimen size

Fracture stress testing, used for stress corrosion parameter determination, is statistical in nature. Many individual fibres, each of which is representative of a given population, shall be tested for fracture stress. The fracture stress results are reported for the population as a whole, as a probability distribution.

The product sample size and gauge length determines the extent to which the fracture stress population is represented and the range of measured fracture stress probability. The gauge length also affects the fracture stress result since, in general, the measured fracture stress decreases as the gauge length increases. However, this gauge length is not influencing the stress corrosion susceptibility parameter determination.

F.1.2 Sample size

In practice, identical flaws cannot be pre-selected for testing at each of the strain rates. Instead, sampling is required to estimate the behaviour of the mean flaw. The confidence interval width of the test is governed by the lack of similarity of flaws tested at different strain rates. That is, the confidence interval is a measure of the fatigue test precision, not a direct measure of a fibre attribute.

Table F.1 gives a typical confidence interval for various combinations of dynamic stress corrosion susceptibility parameter, n_d , the Weibull slope, m_d and the sample size per strain rate. These results are from Monte Carlo simulation of an ideal Weibull distribution in conjunction with fatigue behaviour defined by Equation (A.1). Four strain rates, each separated by an order of magnitude, are used in the simulation.

Table F.1 – 95 % confidence interval for n_d

Actual n_d	m_d	Sample size per strain rate			
		15	30	45	60
10	15	8,7 to 11,0	9,3 to 10,8	9,5 to 10,5	9,5 to 10,5
"	30	9,5 to 10,5	9,6 to 10,4	9,7 to 10,3	9,8 to 10,3
"	60	9,7 to 10,3	9,8 to 10,2	9,9 to 10,2	9,9 to 10,1
"	90	9,8 to 10,2	9,9 to 10,1	9,9 to 10,1	9,9 to 10,1
20	15	16,7 to 24,0	17,6 to 23,2	18,3 to 22,6	18,4 to 22,0
"	30	18,2 to 22,0	18,9 to 21,6	19,5 to 22,6	19,2 to 21,0
"	60	19,1 to 21,1	19,5 to 20,9	19,8 to 20,5	19,6 to 20,5
"	90	19,5 to 20,8	19,6 to 20,7	19,8 to 20,5	19,8 to 20,4
30	15	22,8 to 39,2	24,9 to 37,1	26,2 to 35,5	26,6 to 34,4
"	30	26,0 to 34,1	27,3 to 33,3	28,0 to 32,7	28,3 to 32,3
"	60	28,0 to 32,0	29,2 to 31,2	29,4 to 31,0	29,2 to 31,2
"	90	28,7 to 31,4	29,2 to 31,2	29,4 to 31,0	29,3 to 30,8
50	15	33,2 to 80,6	37,5 to 72,3	40,5 to 67,3	41,5 to 63,7
"	30	40,0 to 62,2	43,0 to 59,8	45,0 to 57,7	45,6 to 56,4
"	60	44,6 to 55,8	46,5 to 54,7	48,1 to 53,8	47,9 to 53,3
"	90	46,4 to 53,9	47,8 to 53,3	49,1 to 52,7	49,0 to 52,3
100	15	49,8 to 380,0	60,8 to 258,7	68,5 to 198,0	71,2 to 170,7
"	30	67,1 to 162,3	76,1 to 147,7	81,5 to 135,1	83,9 to 129,7
"	60	81,5 to 125,8	87,2 to 120,7	90,4 to 116,2	92,2 to 114,4
"	90	87,4 to 123,2	91,7 to 113,8	93,9 to 110,8	95,2 to 110,0

F.2 Numeric algorithm for calculation of dynamic stress corrosion susceptibility parameter, n_d

This algorithm calculates the estimate of n_d and the 95 % confidence interval of the estimate with the homologous least squares method. Appropriate use of the algorithm is restricted to tests in which the same sample size is specified for each strain rate.

σ_{ij} is the fracture stress of j^{th} break on the i^{th} strain rate, and
 $\dot{\sigma}_a$ is the stress rate for the i^{th} strain rate.

Let $y_{ij} = \ln(\sigma_{ij})$ for $i = 1$ to L , the number of strain rates, and
 for $j = 1$ to N_j , the number of specimens for each rate.

Let $x_i = \ln \dot{\sigma}_a$

$$\text{Let } N = \sum_{i=1}^L N_i$$

$$\text{Let } \bar{Y} = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{N_j} \frac{y_{ij}}{N}$$

$$\text{Let } \bar{X} = \sum_{i=1}^L \frac{(N_i x_i)}{N}$$

$$\text{Let } XX = \left(\sum_{i=1}^L N_i x_i^2 \right) - N\bar{X}^2 \quad \text{Let } YY = \left(\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{N_j} y_{ij}^2 \right) - N\bar{Y}^2$$

$$\text{Let } XY = \left(\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{N_j} X_i Y_{ij} \right) - N\bar{X}\bar{Y}$$

$$S = \frac{XY}{XX}$$

$$\text{Let } \text{SEE} = \sqrt{\frac{(YY - S \times XY)}{(XX \times (N - 2))}}$$

where

S is the slope;

SEE is the standard error of estimate S .

$$\text{Let } S_U = S - 1,96 \times \text{SEE} \quad \text{Let } S_L = S + 1,96 \times \text{SEE}$$

$$\text{Then} \quad n_d = \frac{1}{S} - 1, \quad n_{dU} = \frac{1}{S_U} - 1, \quad n_{dL} = \frac{1}{S_L} - 1$$

where

n_{dU} and n_{dL} form the 95 % confidence interval on estimate, n_d .

Calculate intercept as follows:

$$C = \bar{Y} - (S \times \bar{X})$$

where

C is the intercept.

Slope (S) is:

$$S = \frac{1}{n_d + 1}$$

F.3 Complete method to calculate fracture stress

Compensation for load sharing by coating:

Calculate the fraction, F , of the tension carried by the protective coating to be

$$F = \frac{E_2(D_2^2 - D_1^2) + E_1(D_1^2 - D_g^2)}{[E_2(D_2^2 - D_1^2) + E_1(D_1^2 - D_g^2)] + E_g D_g^2}$$

where

E_g is Young's modulus of the glass fibre, in Pa;

E_2 is Young's modulus of the second coating layer, in Pa;

E_1 is Young's modulus of the first coating layer, in Pa;

D_g is the nominal diameter of the glass fibre, in μm ;

D_2 is the nominal diameter of the second coating layer, in μm ;

D_1 is the nominal diameter of the first coating layer, in μm .

Use values for E_2 and E_1 that are consistent with the operating temperature, humidity and strain rate. A worst case overestimate of the coating contribution can be made by replacing the modulus of the inner primary coating by the larger modulus of the outer primary coating. In this way, the diameter and modulus of the inner primary coating need not be known.

Calculate the corrected fracture tension, T_a (N), to be applied to the coated fibre as follows:

$$T_a = \frac{(0,0008)D_g^2 \sigma_f}{(1-F)}$$

where

D_g is the nominal diameter of the glass fibre, in μm ;

σ_f is the fracture stress, in GPa;

F is the fraction of the load carried by the coating.

Annex G (informative)

Considerations for static stress corrosion susceptibility parameter calculations

G.1 Homologous method

This method uses all the data, but requires an assumption that the Weibull plot of each set is the same and linear. Since it uses all the data, it will often produce a smaller standard error of the estimate.

Let t_{ij} be the time to fracture of the j^{th} specimen in the i^{th} nominal stress level. Let σ_{ia} be the nominal stress level of that specimen. Let N_i be the number of the samples in the i^{th} test set. For each i, j , compute the Weibull parameter, w_{ij} :

$$w_{ij} = \ln\{-\ln[1 - (j - 0,5)/N_i]\}$$

Fit the data to the following linear regression model by minimizing the sum of squared errors:

$$a \times \ln(t_{ij}) + b \times \ln(\sigma_{ia}) + \text{const} = w_{ij}$$

$n_s = b/a$ is reported as the estimate.

The standard error of the estimate is approximated with the variance and co-variance of a and b , along with their values. The variance and co-variance terms are reported by most statistical packages.

$$\text{Var}(n) = \text{Var}(a)/a^2 + (b/a^2)^2 \text{Var}(a) - 2(b/a^2) \text{Cov}(a, b)$$

The standard error of the estimate is $[\text{Var}(n)]^{1/2}$.

The median of $\ln(t_{ij})$ and $\ln(\sigma_{ia})$ are reported.

G.2 Maximum likelihood estimate

This method also requires an assumption that the Weibull plot for each nominal stress level is derived from a single underlying fracture stress distribution and that it is linear. This method gives the best results, but it is the most complicated. The method can accurately treat the case for which data are truncated by way of aborting a test before all samples break. Statistical packages are available to complete the computation. It is based on the following probability model:

$$F = 1 - \exp[-(t_f/t_0)^{m_s}]$$

where

F is the cumulative fracture probability for fracture time t_f ;

t_0 is the Weibull scaling parameter;

m_s is the static Weibull shape parameter.

Annex H (informative)

Considerations on stress corrosion susceptibility parameter test methods

H.1 General

The test methods in this document describe a number of test methods which can be used to determine the stress corrosion susceptibility parameter of an optical glass fibre. This guide is intended to give some background concerning this mechanical parameter and to show the relation between the results of the different test methods.

H.2 Crack growth

Category A1, A2, and A3 multimode fibres and class B and C single-mode fibres are made from silica glass which consists of ring structures of SiO₄ tetrahedrals. The mechanical bonds of these tetrahedrals should result in a fracture stress of 20 GPa (i.e. inert strength, without crack growth). Stress concentration at crack tips causes the fibre to fracture at lower stress levels [1]. This stress concentration is characterized by the stress-intensity factor:

$$K_I = Y\sigma\sqrt{a}$$

where

Y is the geometrical factor;

a is the crack depth;

σ is the applied stress.

Fracture occurs when K_I reaches the critical value K_{Ic} of about 0,8 MPa [2], [3]. For a semi-elliptical or semi-circular crack $Y = 1,24$ [2]. Hence, a unique relation exists between crack depth and fracture stress.

In practice, lower fracture stresses are observed than would follow the relation between crack depth and fracture stress. Moreover, the fracture stress of optical fibres is dependent on time. This can be explained by crack growth due to a stress chemical reaction, which breaks the bonds. The experimental condition, especially water, is an important factor for this crack growth (da/dt). The stress-induced corrosion of silica glass is usually described by a power law, where the crack growth velocity, v , is equal to Ak_I^n , with A a scale factor for the speed of crack growth and n the stress corrosion susceptibility parameter [1]. In fibre reliability models, this power law is often used [5], which shows the importance of determining the n value. This value may depend on specific characteristics of the glass fibre and/or its coating [6], [7], [8], [9].

The test methods described in this document test only relatively short length of fibres, resulting in stress corrosion data of the intrinsic strength distribution.

In practice the weak flaws in optical fibres (i.e. extrinsic strength distribution, below the intrinsic strength) lead to fibre fracture. It would therefore be appropriate to use also the stress corrosion susceptibility parameter of these weak flaws for lifetime calculations. Because this parameter is very difficult to determine, at present the stress-induced corrosion of the intrinsic strength distribution is used. This is justified by experiments on abraded fibres, which show that this choice reflects even a worst case situation. The n value of abraded fibres has been found higher than those of the intrinsic strength distribution [5], [10], [11], [12], [13].

H.3 Types of stress corrosion susceptibility test methods

The stress corrosion susceptibility parameter value obtained by dynamic and static test methods for standard optical glass fibres is generally found between 17 and 40, the higher value showing a slower crack growth. These differences can mainly be explained because of differences in measurement techniques. In practice, two families of fatigue tests are used: static tests and dynamic tests. The following tests are described in this document:

Dynamic tests:

- method A: Dynamic n_d value by tension;
- method B: Dynamic n_d value by two-point bending.

Static tests:

- method C: Static n_s value by tension;
- method D: Static n_s value by two-point bending;
- method E: Static n_s value by uniform bending.

As indicated in the present test methods, these tests are performed in standard room environments. The results from these tests should not be used for reliability estimates which differ from the standard environment.

In order to compare both families of fatigue tests, it is possible for the dynamic fatigue test to translate the loading history into an “effective” static time-to-fracture, t_{eff} [14].

For tensile testing, t_{eff} is written as:

$$t_{\text{eff}} = \frac{\sigma_d}{\dot{\sigma}} \times \frac{1}{(n_d + 1)} = \frac{t_d}{(n_d + 1)}$$

with $\sigma(t) = \sigma t$, in which σ is the stress rate, and the dynamic fatigue strength $\sigma_d = \dot{\sigma} t_d$ with t_d the dynamic time-to-fracture.

This equation assumes all the crack growth parameters are constant. For other test methods, where the stress is not directly measured (e.g. fibre exposed to strain or bending), the data should be transformed to stresses (see [14]). In this way, the dynamic fatigue strength can be plotted in double logarithmic scales versus the effective time-to-fracture, in the same way as for the static fatigue test.

H.4 Comparison of n value obtained with different methods

In a round robin test performed by COST 218 in Europe [14], almost all stress fatigue test methods have been used. The results are shown in Figure H.1 and demonstrate a variation in measured fracture stress. Dependent on the test method, the results seem to be shifted vertically upon each other, due to differences in the effective tested glass fibre surface (length and geometry).

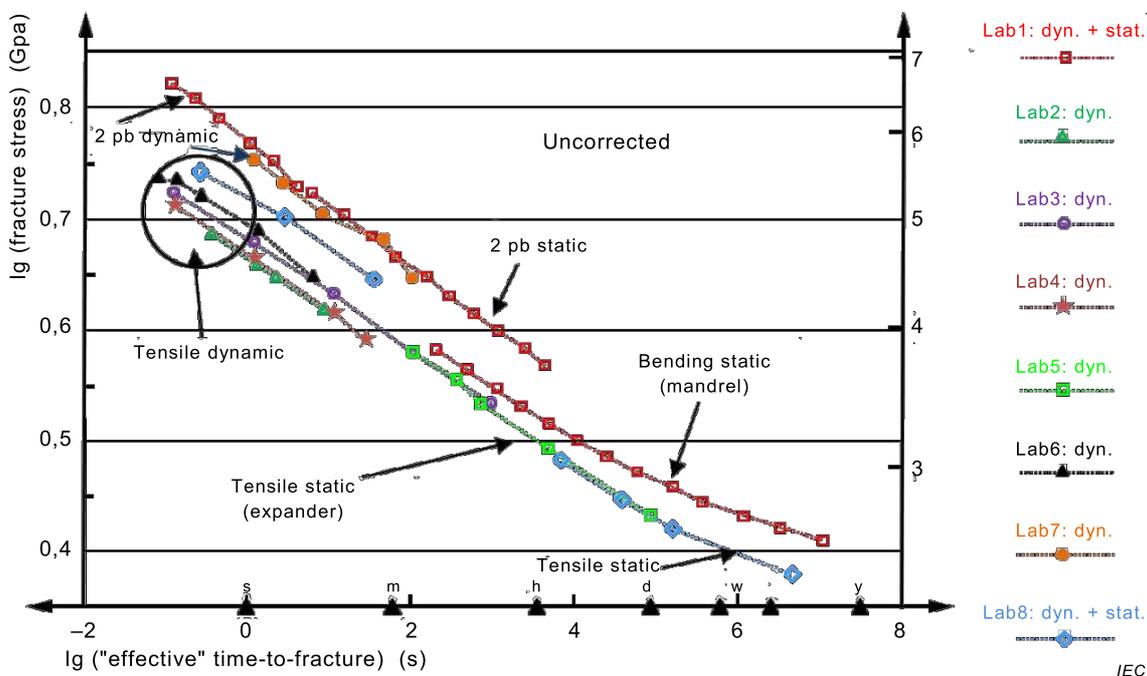
Figure H.2 shows the results, corrected for these differences in glass area [8], [14], leading to a reduced scatter in the “effective” fracture stress. The stress corrosion, described by the power law, results in straight lines (constant n) when time-to-fracture and applied stress are plotted on a log/log plot. Figure H.2 indicates that the fracture stress gradually decreases with increasing time-to-fracture; simultaneously, the slope decreases (n increases). This effect is probably due to a time effect of the glass surface; it may be caused by crack blunting [13], [15], which competes with stress corrosion [16]. Some investigators even expect a fatigue limit [12], [17].

The two basic families of test methods, the dynamic and the static tests, can be recognized in Figure H.2. The dynamic fatigue test methods generally operate in small time frames, reduced to even smaller effective time frames, in combination with high failure strength. These tests show in general a smaller stress corrosion susceptibility parameter (n_d). The static test methods can operate in somewhat longer measurement times and consequently at lower applied stress levels; larger n_s values are obtained.

H.5 Conclusion

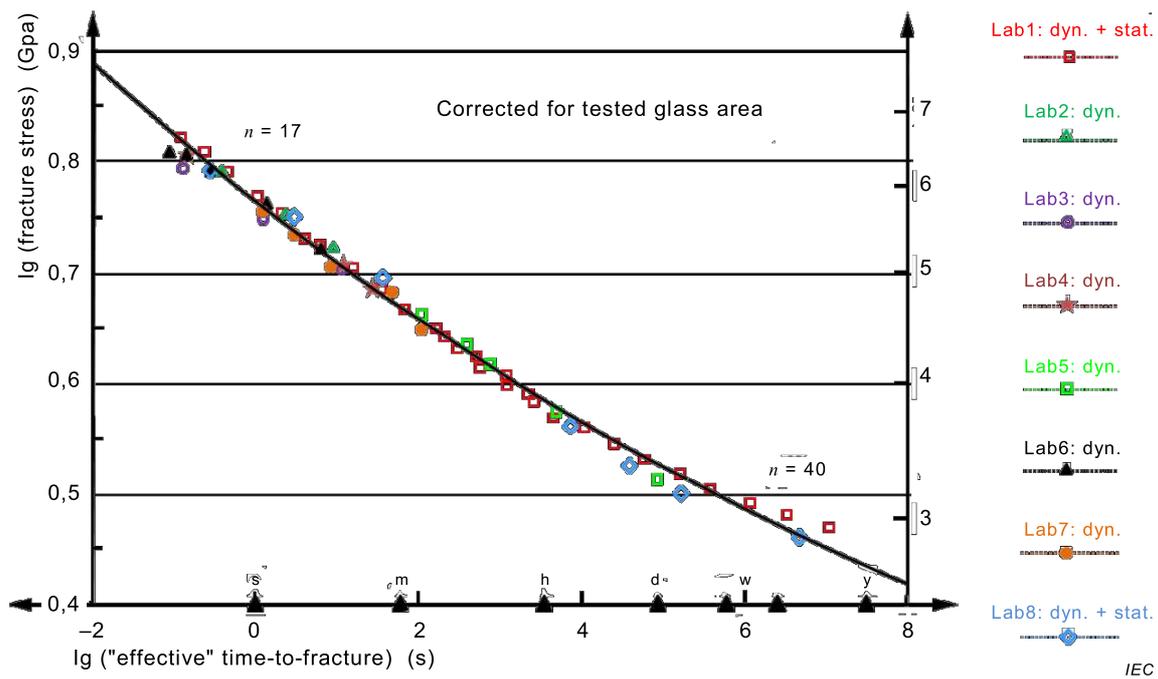
In comparing the results between different fatigue tests one can translate between dynamic time-to-fracture and effective static time-to-fracture. Furthermore, the fracture stress level needs to be corrected for the effective glass area under test.

Having made these corrections, the stress corrosion susceptibility parameter is shown not to be constant with varying effective time-to-fracture (see Figure H.2). This explains in general the different rules between dynamic and static fatigue test methods.



NOTE Between these test methods differences in the effective tested glass fibre surface (length and geometry) are present (uncorrected data), resulting in differences of fracture stress.

Figure H.1 – COST 218 round robin results of fracture strength versus "effective" time-to-fracture for dynamic and static axial tension, dynamic and static two-point bending and static mandrel test methods



NOTE The data of these test methods has been corrected for differences in effective tested glass fibre surface (length and geometry), which strongly reduces the differences in fracture stress between the different test methods. No systematic differences are visible between axial tension and two point bending test methods. The fracture stress gradually decreases with increasing time-to-fracture; while the stress corrosion susceptibility parameter n increases.

Figure H.2 – COST 218 round robin results of fracture strength versus "effective" time-to-fracture for dynamic and static axial tension, dynamic and static two-point bending and static mandrel test methods

Bibliography

- [1] EVANS, AG. and WIEDERHORN, S. M. *Proof testing of ceramic materials – an analytical basis for failure prediction*. Int. J. Fract., 1974, 10, p. 379-392
- [2] KALISH, D. and TARIYAL, BK. *Static and dynamic fatigue of a polymer-coated fused silica optical fiber*. J. Am. Ceram. Soc. (USA), 1981, 61, p. 518-523
- [3] BOGATYRJOV, VA., BUDNOV MM., DIANOV EM., RUMYANTZEV SD., SEMJONOV Sl. *Mechanical reliability of polymer coated and hermetically coated optical fibers based on proof testing*. *Optical Engineering*, June 1991, vol. 30, no. 6, p. 690 – 699
- [4] *Power Law Theory of Optical Fibre Reliability*, TIA TSB-61, August 1994
- [5] GRIFFIOEN, W., BREULS, T., COCITO, G., DODD, S., FERRI, G., HASLOV, P., OKSANEN, L., STOCKTON, D., SVENSSON T. COST 218 evaluation of optical fibre lifetime models. SPIE Vol. 1791, *Optical Materials Reliability and Testing*, 8-9 September 1992, Boston, MA, USA
- [6] GULATI ST., HELFINSTINE, JD., GLAESEMANN, GS., ROBERTS, DR., CUELLER, E., MIDDLEMAN, LM. Improvements in optical fiber reliability via high fatigue resistant composition. SPIE Vol. 842, *Fiber Optics Reliability: Benign and Adverse Environments*, 1987, p. 22-31
- [7] BOGATYRJOV, VA., BUBNOV, MM., GURYANOV, AN., VECHKANOV NN., DEVYATYKH, GG., DIANOV, EM., SEMJONOV, SL. *Influence of various pH solutions on strength and dynamic fatigue of silicon-resin-coated optical fibres*. *Electr. Letters*, 11th Sept. 1986, Vol. 22, No. 18, p. 1013-1014
- [8] MATTHEWSON, MJ., KURKJIAN, CR., GULATI, ST. *Strength Measurement of optical fibers by bending*, J. Am. Ceram. Soc., 69 [11], 1986, p. 815-821
- [9] LECLERCQ, JW. and BREULS, AHE. *Influence of adhesion promoters on the aging characteristics of optical fibers in water*. Submitted to SPIE int. symposium on optics, imaging, and instrumentation (fiber optic materials and components), 24-29 July 1994, San Diego
- [10] CRAIG, SP., DUNCAN, WJ., FRANCE, PW., SNODGAS, JE. *The strength and fatigue of large flaws in silica optical fibre*. ECOC, 1982, p. 205-208
- [11] GLAESEMANN, GS., ESTEP, MG., HELFINSTINE, JD., CARR, JJ. *Examining the mechanical behavior of intrinsic and extrinsic flaws in optical glass fiber*. 94th annual meeting of the Am. Cer. Soc., 4-JXVI-92, April 1992, Minneapolis
- [12] BREULS, A. and SVENSSON, T. *Strength and fatigue of zirconia induced weak spots in optical fibre*. SPIE, September 1993, Boston
- [13] YUCE, HH., KEY, PL., CHANDAN, HC. *Aging behavior of low strength fused silica fibres*. SPIE. Vol. 1366, *Fiber optics reliability benign and adverse environments IV*, 1990, p. 120-128
- [14] BREULS, A. A COST 218 comparison of n-values obtained with different techniques. Proceedings of OFMC'93, 1993, Torino, p. 9-12
- [15] GULATI, S. *Reliability considerations for long length optical fibres*. 4th IWCS, 1992, p. 612-621

- [16] GRIFFIOEN, W. *Effects influencing measurements of optical fibre corrosion susceptibility*. Proceedings of OFMC'93, 1993, Torino, p. 13-16
- [17] KURKJIAN, C. et al. *Current issues in mechanical reliability of optical fibres*. 41th IWCS, 1992, p. 599-604
- [18] IEC TR 62048:2014, *Optical fibres – Reliability – Power law theory*
- [19] Overton B., Kuyt G., Filip T. *Two-Point Bending Dynamic Fatigue Testing for the Stress Corrosion Factor*. Proceedings of the 63rd IWCS Conference, 2014, p. 55-59
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	45
INTRODUCTION	47
1 Domaine d'application	48
2 Références normatives	48
3 Termes et définitions	49
4 Vue d'ensemble des méthodes d'essais	49
5 Méthodes d'essai de référence	49
6 Appareillage	49
7 Echantillons et spécimens	49
7.1 Généralités	49
7.2 Longueur des spécimens	49
7.3 Préparation et conditionnement des spécimens	50
8 Procédure	50
9 Calculs	50
10 Résultats	51
11 Informations à mentionner dans la spécification	51
Annexe A (normative) Valeur n dynamique, n_D , par tension axiale	52
A.1 Généralités	52
A.2 Appareillage	52
A.2.1 Généralités	52
A.2.2 Support du spécimen	54
A.2.3 Application d'une contrainte	54
A.2.4 Mesure de la force de rupture	55
A.2.5 Commande de la vitesse de déformation	55
A.2.6 Caractérisation du taux de contrainte	55
A.3 Echantillon d'essai	56
A.3.1 Nombre d'échantillons	56
A.3.2 Nombre d'échantillons (facultatif)	56
A.4 Procédure	56
A.5 Calculs	57
A.5.1 Contrainte de rupture	57
A.5.2 Contrainte de rupture pour une vitesse de déformation donnée	57
A.5.3 Paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte dynamique, n_D (tension)	58
A.6 Résultats	58
Annexe B (normative) Valeur n dynamique, n_D , par courbure en deux points	60
B.1 Généralités	60
B.2 Appareillage	60
B.2.1 Généralités	60
B.2.2 Commande du moteur pas à pas	60
B.2.3 Plateau mobile entraîné par un moteur pas à pas	60
B.2.4 Plateau fixe	60
B.2.5 Vitesse du plateau	60
B.2.6 Système de détection de rupture de la fibre	60
B.3 Echantillon d'essai	61

B.4	Procédure	61
B.5	Calculs	62
B.5.1	Contrainte de rupture.....	62
B.5.2	Paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte dynamique, n_d , (courbure en deux points).....	62
B.5.3	Résultats	63
Annexe C (normative)	Valeur n statique, n_s , par tension axiale	65
C.1	Généralités	65
C.2	Appareillage.....	65
C.2.1	Généralités	65
C.2.2	Fixation de la fibre aux deux extrémités.....	65
C.2.3	Application d'une contrainte à la fibre	65
C.2.4	Mesure du temps de fonctionnement jusqu'à la rupture.....	65
C.3	Echantillon d'essai	65
C.4	Procédure	65
C.5	Calculs	66
C.5.1	Contrainte de rupture.....	66
C.5.2	Paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte statique, n_s (tension)	66
C.5.3	Méthode de la simple médiane	66
C.6	Résultats	66
Annexe D (normative)	Valeur n statique, n_s , par courbure en deux points	68
D.1	Généralités	68
D.2	Appareillage.....	68
D.2.1	Matériel d'essai	68
D.2.2	Détection de rupture de fibre	68
D.3	Echantillon d'essai	68
D.4	Procédure	68
D.5	Calculs	69
D.5.1	Contrainte de rupture.....	69
D.5.2	Paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte statique, n_s (courbure en deux points).....	69
D.6	Résultats	69
Annexe E (normative)	Valeur n statique, n_s , par courbure uniforme	70
E.1	Généralités	70
E.2	Appareillage.....	70
E.2.1	Généralités	70
E.2.2	Support de l'échantillon	70
E.2.3	Application d'une contrainte à la fibre	70
E.2.4	Mesure du temps de fonctionnement jusqu'à la rupture.....	70
E.3	Echantillon d'essai	71
E.4	Procédure	71
E.5	Calculs	71
E.5.1	Contrainte de rupture.....	71
E.5.2	Paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte statique, n_s (courbure uniforme)	71
E.6	Résultats	72

Annexe F (informative) Considération pour les calculs des paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte dynamique.....	73
F.1 Taille des spécimens et nombre d'échantillons.....	73
F.1.1 Taille des spécimens	73
F.1.2 Nombre d'échantillons	73
F.2 Algorithme numérique pour le calcul du paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte dynamique, n_d	74
F.3 Méthode complète de calcul de la contrainte de rupture.....	75
Annexe G (informative) Considérations pour les calculs des paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte statique.....	77
G.1 Méthode homologue	77
G.2 Estimation de la probabilité maximale	77
Annexe H (informative) Considération sur les méthodes d'essais des paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte	78
H.1 Généralités	78
H.2 Croissance des failles	78
H.3 Types de méthodes d'essais de résistance à la corrosion sous contrainte.....	79
H.4 Comparaison des valeurs n obtenues par différentes méthodes	80
H.5 Conclusion.....	80
Bibliographie.....	83
Figure A.1 – Schéma de l'appareil d'essai pour translation	53
Figure A.2 – Schéma de l'appareil d'essai pour rotation	53
Figure A.3 – Schéma de l'appareil d'essai pour rotation avec cellule dynamométrique	54
Figure A.4 – Représentation graphique de la fatigue dynamique	59
Figure B.1 – Schéma de l'appareil de courbure en deux points	63
Figure B.2 – Schéma de l'appareil de fatigue dynamique possible (courbure en deux points)	64
Figure B.3 – Représentation schématique des données de fatigue dynamique.....	64
Figure C.1 – Schéma de l'appareil de fatigue statique possible (tension)	67
Figure D.1 – Représentation schématique d'un matériel d'essai possible	69
Figure E.1 – Schéma de l'appareil de fatigue statique possible (courbure uniforme)	72
Figure H.1 – Résultats des essais interlaboratoires du COST 218 relatifs à la résistance à la rupture en fonction du temps de fonctionnement "effectif" jusqu'à la rupture pour les méthodes d'essais de tension axiale dynamiques et statiques, de courbure en deux points dynamiques et statiques et à mandrin statiques.....	81
Figure H.2 – Résultats des essais interlaboratoires du COST 218 relatifs à la résistance à la rupture en fonction du temps de fonctionnement "effectif" jusqu'à la rupture pour les méthodes d'essais de tension axiale dynamiques et statiques, de courbure en deux points dynamiques et statiques et à mandrin statiques.....	82
Tableau F.1 – Intervalle de confiance à 95 % pour n_d	74

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FIBRES OPTIQUES –

**Partie 1-33: Méthodes de mesures et procédures d'essai –
Résistance à la corrosion sous contrainte**

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.

La Norme internationale IEC 60793-1-33 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2001, dont elle constitue une révision technique.

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

- a) suppression de la méthode d'essai de référence;
- b) modification du domaine d'application.

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

FDIS	Rapport de vote
86A/1803/FDIS	86A/1824/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60793, publiées sous le titre général *Fibres optiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

INTRODUCTION

Les annexes A, B, C, D et E font partie intégrante de cette norme.

Les annexes F, G et H sont données uniquement à titre d'information.

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1-33: Méthodes de mesures et procédures d'essai – Résistance à la corrosion sous contrainte

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60793 contient les descriptions relatives aux cinq principales méthodes d'essais concernant la détermination du paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte.

L'objet du présent document est d'établir des exigences uniformes de la résistance à la corrosion sous contrainte pour les caractéristiques mécaniques des fibres en silice. Des essais de fatigue dynamique et de fatigue statique sont utilisés pour déterminer la valeur n_d (dynamique) et la valeur n_s (statique) des paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte. Actuellement, seule la valeur n_d est évaluée par rapport à la spécification. Des valeurs mesurées supérieures à 18 selon cette procédure représentent la valeur n_d de la silice, à savoir approximativement 20. Il n'est pas démontré que des valeurs supérieures se traduiront par une meilleure résistance à la fatigue.

Les essais mécaniques réalisés sur des fibres en silice déterminent les caractéristiques de contrainte de rupture et les propriétés de fatigue dans des conditions aussi proches que possible de l'application pratique. Les méthodes d'essais suivantes sont utilisées pour déterminer la résistance à la corrosion sous contrainte:

- A: Valeur dynamique n_d par tension axiale;
- B: Valeur dynamique n_d par courbure en deux points;
- C: Valeur statique n_s par tension axiale;
- D: Valeur statique n_s par courbure en deux points;
- E: Valeur statique n_s par courbure uniforme.

Ces méthodes conviennent aux fibres multimodales des catégories A1, A2 et A3, aux fibres unimodales de classe B et aux fibres unimodales pour intraconnexion de classe C.

Ces essais fournissent les valeurs des paramètres de corrosion sous contrainte, n , qui peuvent être utilisées dans les calculs de fiabilité conformément à l'IEC TR 62048 [18]¹.

Des informations communes à toutes les méthodes sont fournies aux Articles 1 à 10, et des informations relatives à chaque méthode d'essai individuelle figurent dans les Annexes A, B, C, D et E.

Des considérations sur les calculs des paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte dynamique et statique sont présentées dans les Annexes F et G, respectivement. Des considérations sur les différentes méthodes d'essais des paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte sont présentées à l'Annexe H.

2 Références normatives

Le présent document ne contient aucune référence normative.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

3 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

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>

4 Vue d'ensemble des méthodes d'essais

Les méthodes d'essais suivantes sont disponibles:

- Valeur dynamique n_d par tension axiale, voir Annexe A.
- Valeur dynamique n_d par courbure en deux points, voir Annexe B.
- Valeur statique n_s par tension axiale, voir Annexe C.
- Valeur statique n_s par courbure en deux points, voir Annexe D.
- Valeur statique n_s par courbure uniforme, voir Annexe E.

5 Méthodes d'essai de référence

Au moment de la présente révision, aucun accord ne permettait de conserver ni d'utiliser la méthode A comme seule méthode d'essai de référence avec des fibres équipées de revêtements modernes. Il convient d'utiliser la méthode A ou la méthode B pour résoudre les litiges parce qu'elles peuvent être réalisées dans une durée pratique pour la résolution des litiges.

6 Appareillage

Pour chacune des méthodes, voir respectivement, les Annexes A, B, C, D et E, pour les schémas de disposition et les autres exigences applicables au matériel.

7 Echantillons et spécimens

7.1 Généralités

Ces mesures sont statistiques par nature. Un nombre de spécimens ou d'échantillons à partir d'une population commune sont soumis aux essais, chacun sous plusieurs conditions.

Des statistiques sur le temps ou les contraintes de défaillance pour différents groupes d'échantillons sont utilisées pour calculer les paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte.

7.2 Longueur des spécimens

La longueur des spécimens dépend de la procédure d'essai utilisée. Voir, respectivement, les Annexes A, B, C, D et E pour la longueur exigée pour chaque méthode d'essai. Pour les essais de tension, les longueurs s'étendent de 0,5 m à au plus 5 m. Pour les essais de courbure en deux points, la longueur réelle soumise aux essais est inférieure à 1 cm, et pour les essais de courbure uniforme, elle est d'environ 1 m.

7.3 Préparation et conditionnement des spécimens

Toutes les méthodes d'essais doivent être réalisées dans des conditions d'environnement constantes. Sauf indication contraire dans la spécification particulière, la valeur nominale de la température doit être dans la plage de 20 °C à 23 °C avec une tolérance de ± 2 °C pour la durée de l'essai. Sauf indication contraire dans la spécification particulière, la valeur nominale de l'humidité relative (HR) doit être dans la plage de 40 % à 60 % avec une tolérance de ± 5 % pour la durée de l'essai.

Sauf spécification contraire, tous les spécimens doivent être préconditionnés dans l'environnement d'essai pendant une période minimale de 12 h.

Il n'a pas été développé de méthode d'extrapolation de ces paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte dans des environnements de fonctionnement différents de l'environnement par défaut spécifié ci-dessus.

Il a été observé que la valeur de n produite par ces essais peut varier après une exposition, même brève, de la fibre à une température et à une humidité élevées. Un guide d'utilisation de ces méthodes est documenté dans l'IEC TR 62048 [18].

La valeur du paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte, n , peut varier en fonction des méthodes d'essais à la fatigue utilisées, si la durée de mesure effective est différente et si la surface effective du verre est différente (voir Annexe H). Il convient de choisir la méthode d'essai avec précaution. Il convient que ce choix fasse l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur.

8 Procédure

Voir les Annexes A, B, C, D et E pour chacune des méthodes d'essais.

Chacun des échantillons (constitué d'un certain nombre de spécimens) est soumis à l'une des conditions de contrainte. Pour les essais de fatigue statique, une contrainte constante est appliquée, échantillon par échantillon, et la durée de fonctionnement avant défaillance est mesurée. Pour les essais de fatigue dynamique, le taux de contrainte varie d'un échantillon à un autre, et la contrainte de défaillance est mesurée.

Une vue d'ensemble des procédures communes à toutes les méthodes est présentée ci-après:

- effectuer un préconditionnement;
- répartir les spécimens dans des groupes d'échantillons;
- appliquer les conditions de contrainte spécifiées à chaque groupe d'échantillons;
- mesurer le temps ou la contrainte au moment de la défaillance;
- effectuer les calculs.

9 Calculs

Les calculs pour chacune des méthodes d'essais sont donnés dans les Annexes A, B, C, D et E.

10 Résultats

Les informations suivantes doivent être consignées pour chaque essai:

- l'identification de la fibre;
- la date de l'essai;
- le paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte;
- la méthode d'essai.

Les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- les informations spécifiques exigées par la méthode d'essai;
- l'humidité relative et la température ambiante;
- tous les préconditionnements spéciaux.

Les Articles A.5, B.5, C.5, D.5, et E.5 donnent des résultats qui s'appliquent à chaque méthode spécifique.

11 Informations à mentionner dans la spécification

La spécification particulière doit fournir les informations suivantes:

- les informations à consigner;
- tout écart applicable par rapport à la procédure;
- les critères de défaillance ou d'acceptation.

Annexe A (normative)

Valeur n dynamique, n_d , par tension axiale

A.1 Généralités

La présente méthode sert à déterminer le paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte dynamique (valeur n dynamique, n_d) des fibres optiques en silice soumises à des vitesses de déformation constantes spécifiées.

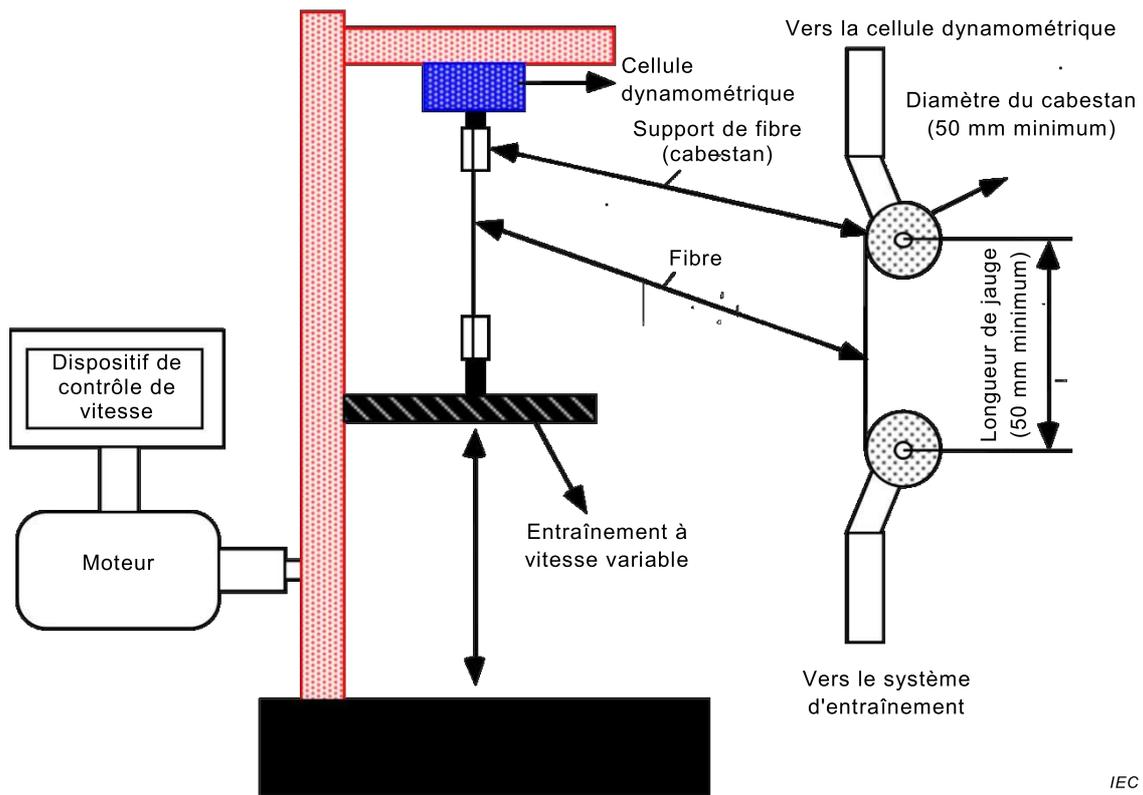
Cette méthode est destinée à être utilisée pour les fibres optiques dont la contrainte de rupture médiane est supérieure à 3 GPa pour la vitesse de déformation spécifiée la plus élevée. Pour les fibres dont la contrainte de rupture médiane est inférieure à 3 GPa, les conditions ci-incluses n'ont pas démontré une précision suffisante.

Cette méthode est destinée à soumettre à essai le comportement en fatigue en faisant varier la vitesse de déformation. Cet essai est applicable aux fibres et aux vitesses de déformation dont la courbe logarithmique de la contrainte de rupture en fonction du logarithme de la vitesse de déformation est linéaire.

A.2 Appareillage

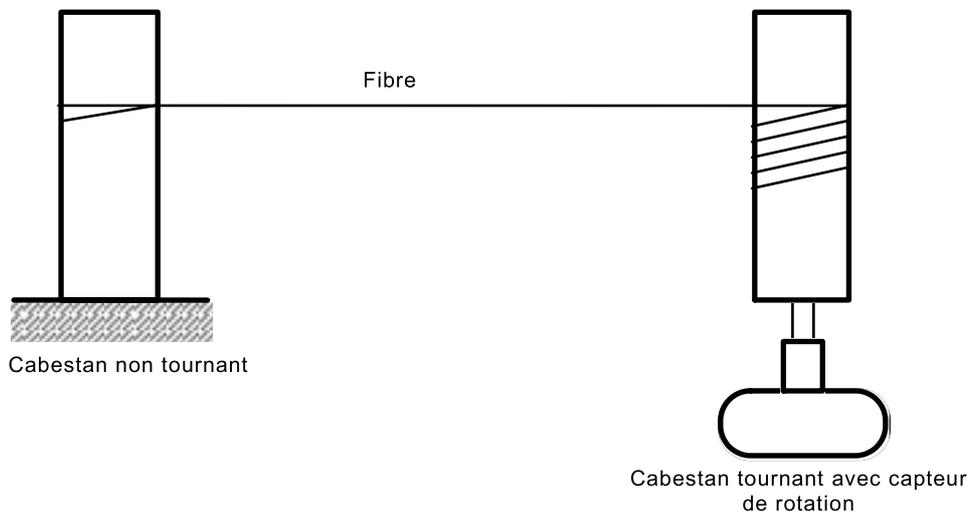
A.2.1 Généralités

L'Article A.2 décrit les exigences fondamentales applicables au matériel utilisé pour les essais de contrainte de rupture dynamique. Plusieurs configurations satisfont à ces exigences. Des exemples sont présentés dans les figures A.1 à A.3. Sauf indication contraire dans la spécification particulière, utiliser une longueur de jauge de 500 mm pour les spécimens soumis à l'essai.



IEC

Figure A.1 – Schéma de l'appareil d'essai pour translation



IEC

Figure A.2 – Schéma de l'appareil d'essai pour rotation

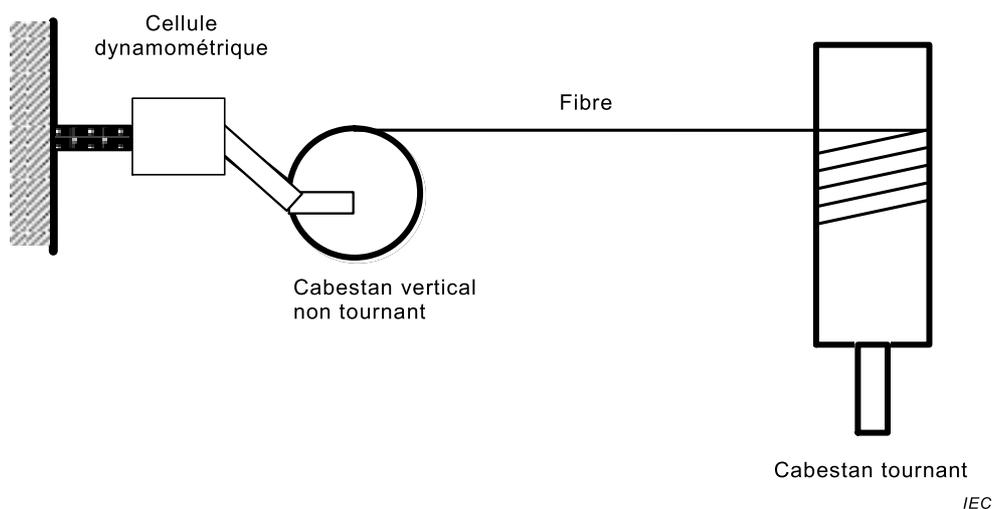


Figure A.3 – Schéma de l'appareil d'essai pour rotation avec cellule dynamométrique

A.2.2 Support du spécimen

Maintenir la longueur de fibre à soumettre à l'essai aux deux extrémités et appliquer une tension jusqu'à ce qu'il y ait rupture dans la section de la longueur de jauge de la fibre. Réduire le plus possible les ruptures de la fibre au niveau des pinces (point délicat de cette méthode) en utilisant une surface de frottement pour empêcher un glissement excessif.

Ne pas tenir compte des ruptures qui se produisent dans l'échantillon au niveau de la pince, ou alors en tenir compte dans les calculs.

Utiliser un cabestan, facultativement recouvert d'une gaine élastomère, pour maintenir la fibre. Enrouler plusieurs fois autour du cabestan une portion de la fibre qui ne sera pas soumise à l'essai et la fixer à son extrémité, par exemple au moyen d'une bande élastique ou d'un ruban adhésif. Appliquer une longueur de fibre suffisante pour éviter qu'elle glisse dans le revêtement (l'aspect dépend du type de revêtement [19]). Enrouler la fibre sans chevauchements. La longueur de jauge est la longueur de fibre entre les axes des cabestans de fixation avant qu'elle soit étirée.

Utiliser des diamètres de cabestans et de poulies tels que la fibre ne soit pas soumise à une contrainte de courbure qui entraîne une rupture de la fibre sur le cabestan. Pour des fibres types en silice, les contraintes de courbure ne doivent pas dépasser 175 MPa lorsque la fibre est enroulée comme cela est représenté dans les Figures A.1 à A.3 ou sur une poulie. Par exemple, dans le cas d'une fibre en silice dans une gaine de 125 μm de diamètre (revêtement de 200 μm et 250 μm de diamètre), le diamètre minimal du cabestan est alors de 50 mm. Utiliser un cabestan dont la surface est suffisamment résistante pour que la fibre ne l'entaille pas lorsqu'elle est en pleine charge. Cette condition peut être déterminée par des essais préliminaires.

A.2.3 Application d'une contrainte

Etirer la fibre à une vitesse de déformation donnée jusqu'à la rupture. La vitesse d'allongement est exprimée en pourcentage par minute, par rapport à la longueur de jauge. Deux exemples sont donnés ci-dessous:

- augmenter l'écartement entre les cabestans de fixation en déplaçant un ou les deux cabestans à une vitesse donnée, l'écartement initial étant égal à la longueur de jauge (Figure A.1); ou
- faire tourner un ou les deux cabestans de fixation, pour tendre la fibre soumise à l'essai (Figure A.2 et Figure A.3).

La vitesse de déformation est la variation de longueur entre les deux positions, en pourcentage, divisée par le temps.

Si la méthode b) est utilisée, s'assurer que la fibre ne s'entrecroise pas pendant l'enroulement sur le cabestan.

Si des fibres sont soumises à l'essai simultanément, protéger chaque fibre des fibres adjacentes de façon à ce que l'effet de coup de fouet au moment de la rupture n'endommage pas les autres fibres soumises à l'essai.

A.2.4 Mesure de la force de rupture

Mesurer la contrainte de tension au cours de l'essai et au moment de la rupture, pour chaque fibre soumise à l'essai, au moyen d'une cellule dynamométrique, étalonnée à 0,5 % (0,005) de la charge de rupture ou de la charge maximale, pour chaque plage de contrainte de rupture. Etalonner la cellule dynamométrique lorsqu'elle est orientée de la même manière que pour l'essai avec une fibre soumise à une charge. Pour la méthode b), utiliser une ou plusieurs poulies légères, à faible friction, à la place du cabestan non rotatif (voir Figure A.2), ou du cabestan rotatif (voir Figure A.3), lors de l'étalonnage des cellules dynamométriques au moyen d'un fil et d'un poids d'étalonnage.

Utiliser un fil, relié à une extrémité du dispositif de mesure de la charge (ou au cabestan) pour obtenir la même direction qu'une fibre réelle soumise à l'essai d'épaisseur ou de diamètre comparables à ceux de la fibre soumise à l'essai. Pour étalonner la cellule dynamométrique, il est recommandé d'utiliser au moins trois poids d'étalonnage qui encadrent la charge de rupture typique ou la charge maximale (un poids inférieur à 50 % de la valeur maximale, un poids égal à la valeur maximale et un poids supérieur à 50 % de la valeur maximale).

Le temps de réponse du système de mesure de charge doit être suffisant pour obtenir la contrainte de rupture à 1 % de la valeur réelle.

NOTE Les effets du frottement des poulies peuvent donner lieu à des erreurs significatives d'étalonnage de la cellule dynamométrique pour les dispositifs d'essai à cabestan rotatif avec montage horizontal de la fibre.

A.2.5 Commande de la vitesse de déformation

Déterminer le réglage de l'unité de commande de la vitesse par des essais afin que la vitesse soit conforme aux vitesses de déformation spécifiées. Exprimer la vitesse de déformation en pourcentage de la longueur de jauge par unité de temps. Sauf indication contraire dans la spécification particulière, la vitesse de déformation maximale doit être inférieure ou égale à 100 %/min. Choisir la vitesse de déformation maximale réelle en tenant compte des aspects de la méthode d'essai tels que les matériels et les propriétés des matériaux des échantillons. En plus de la vitesse maximale, utiliser trois vitesses de déformation supplémentaires, chacune étant réduite séquentiellement d'environ une puissance de 10 par rapport à la valeur maximale.

Il est possible de réduire à sa valeur minimale la durée de l'essai en augmentant la vitesse de déformation et en diminuant la charge. Par exemple, si une vitesse de déformation de 0,025 %/min est spécifiée, quelques spécimens sont soumis à l'essai à la vitesse supérieure la plus proche (0,25%/min) pour établir une plage de contrainte de rupture. Précharger ensuite à un niveau inférieur ou égal à 80 % de la plus faible contrainte de rupture trouvée pour les spécimens initialement soumis à l'essai à la vitesse supérieure la plus proche.

A.2.6 Caractérisation du taux de contrainte

Le taux de contrainte peut varier avec le type de fibre, le matériel, la contrainte de rupture, le glissement de la fibre et la vitesse de déformation. Caractériser le taux de contrainte, $\dot{\sigma}_a$, pour chaque vitesse de déformation utilisée pour le calcul de la fatigue conformément à la formule suivante:

$$\sigma_a = \frac{0,2 \times \sigma_f}{t(\sigma_f) - t(0,8 \times \sigma_f)} \quad (\text{A.1})$$

où

σ_f est la contrainte de rupture;

$t(\sigma_f)$ est la durée de fonctionnement avant rupture;

$t(0,8 \times \sigma_f)$ est la durée correspondant à 80 % de la contrainte de rupture.

A.3 Echantillon d'essai

A.3.1 Nombre d'échantillons

Du fait de la variabilité des résultats d'essai, soumettre au moins 15 spécimens à l'essai pour chaque vitesse de déformation et éliminer la valeur de contrainte de rupture la plus faible pour chaque vitesse de déformation. En variante, si l'erreur type de l'estimation de la pente σ_f en fonction de $\dot{\sigma}_a$ est de 0,0017 ou plus (comme expliqué à l'Article F.2), soumettre au moins 30 spécimens à l'essai pour chaque vitesse de déformation, et éliminer les deux valeurs de contrainte de rupture les plus faibles pour chaque vitesse de déformation.

A.3.2 Nombre d'échantillons (facultatif)

Comme expliqué en A.3.1, des spécimens supplémentaires peuvent être exigés pour certaines applications pour lesquelles il est nécessaire de connaître l'intervalle de confiance sur le paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte (tension) dynamique n_d . Se reporter au Tableau F.1 pour les différents nombres d'échantillons en fonction de la pente attendue des courbes de Weibull en essai dynamique m_d . Une utilisation appropriée de l'algorithme de l'Article F.2 est limitée aux essais pour lesquels le même nombre d'échantillons est spécifié pour chaque vitesse de déformation.

A.4 Procédure

La présente procédure décrit la manière d'obtenir la contrainte de rupture des fibres sur un échantillon donné soumis à l'essai pour une vitesse de déformation donnée. Les calculs des statistiques de population sont présentés à l'Article F.2.

- 1) Régler et enregistrer la longueur de jauge (voir A.2.3).
- 2) Régler et enregistrer la vitesse de déformation (voir A.2.5).
- 3) Si la méthode a) de A.2.3 est utilisée, remettre les cabestans de fixation en position pour obtenir l'écartement de longueur de jauge.
- 4) Mettre en place le spécimen dans les pinces, une extrémité à la fois. Le point tangent de la fibre doit être au même emplacement que pendant les étalonnages de charge. Guider chaque spécimen de façon à ce que la fibre fasse au moins le nombre exigé de tours de cabestan sans chevauchement.
- 5) Si nécessaire, réinitialiser le système de mesure de charge.
- 6) Démarrer le moteur pour mettre la fibre sous contrainte. Enregistrer la contrainte en fonction du temps jusqu'à la rupture de la fibre. Arrêter le moteur.
- 7) Répéter les étapes 3) à 6) pour tous les échantillons de fibres.
- 8) Calculer la contrainte de rupture de la fibre, σ_f , pour chaque rupture. Utiliser l'équation (A.2).
- 9) Calculer le taux de contrainte, $\dot{\sigma}_a$. Utiliser l'équation (A.1).
- 10) Calculer les statistiques de population exigées. Utiliser les Equations (A.3) à (A.6).

A.5 Calculs

A.5.1 Contrainte de rupture

La méthode suivante peut être utilisée pour calculer la contrainte de rupture, σ_f , lorsque la contribution du revêtement est négligeable (inférieure à 5 %), par exemple pour une fibre ordinaire de 125 μm de diamètre avec un revêtement de 250 μm de diamètre (revêtement polymère):

$$\sigma_f = T / A_g \quad (\text{A.2})$$

où

T est la force (tension) exercée sur le spécimen composite à la rupture;

A_g est la section nominale de la fibre de verre.

Une méthode plus complète à utiliser lorsque la contribution du revêtement est importante est donnée à l'Article F.3.

A.5.2 Contrainte de rupture pour une vitesse de déformation donnée

Les étapes suivantes sont exigées pour réaliser un tracé de Weibull caractérisant la population.

- a) Trier les contraintes de rupture de la valeur minimale à la valeur maximale. Attribuer un rang k à chacune d'entre elles. Le rang représente l'ordre; par exemple, le premier est la contrainte la plus faible, le second est la contrainte la plus faible suivante, etc. Attribuer un rang différent à chaque rupture, même si plusieurs ruptures ont la même contrainte de rupture.
- b) Calculer la probabilité cumulée de rupture, F_k , pour chaque rupture:

$$F_k = (k - 0,5)/N, \quad k = 1, 2, \dots, N \quad (\text{A.3})$$

où

N est le nombre d'échantillons.

- c) Tracer le graphique $\ln[-\ln(1 - F_k)]$ en fonction de $\ln(\sigma_f)$ pour réaliser le tracé de Weibull.
- d) Indiquer les informations exigées sur le tracé.

Pour une longueur de jauge et un diamètre donnés, le tracé de Weibull pour des essais de fatigue dynamique est associé à la fonction de probabilité cumulée suivante:

$$F_k = 1 - \exp [-(\sigma_f/\sigma_0)^{m_d}] \quad (\text{A.4})$$

$k(P) = P \times N + 0,5$ définit un rang associé à une probabilité donnée, P .

Si $k(P)$ est un nombre entier, $\sigma_f(P) = \sigma_{fk}(P)$, la contrainte de rupture de $k(P)$ ^{ème} rang. Si $k(P)$ n'est pas un nombre entier, k_1 est le premier nombre entier inférieur à $k(P)$ et $k_2 = k_1 + 1$.

Alors, $\sigma_f(P) = (\sigma_{fk1} \times \sigma_{fk2})^{1/2}$.

La contrainte de rupture médiane est $\sigma_f(0,5)$. La pente de Weibull est:

$$m_d = \frac{2,46}{\ln[\sigma_f(0,85)] - \ln[\sigma_f(0,15)]} \quad (\text{A.5})$$

Le paramètre de Weibull est:

$$\sigma_0 = \exp \left[\frac{0,3665}{m_d} + \ln[\sigma_f(0,5)] \right] \quad (\text{A.6})$$

Dessiner le tracé de Weibull pour chaque taux de contrainte et déterminer la contrainte de rupture médiane $\sigma_f(0,5)$ pour chaque vitesse de déformation.

A.5.3 Paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte dynamique, n_d (tension)

La contrainte de rupture médiane $\sigma_f(0,5)$, telle que définie en A.5.2, variera généralement avec un taux de contrainte constant, selon la formule suivante:

$$\ln \sigma_f(0,5) = \frac{\ln \sigma_a}{1 + n_d} + C \quad (\text{A.7})$$

où

C est le logarithme népérien de la contrainte de rupture pour un taux de contrainte égal à un, tel que cela est représenté à la Figure A.4 (intersection).

L'intersection peut être calculée à partir de la formule suivante:

$$C = \bar{Y} - (S) \times \bar{X} \quad (\text{A.8})$$

où

S est la pente.

Sauf spécification contraire, utiliser l'algorithme fourni à l'Article F.2 pour calculer \bar{X} , \bar{Y} , la valeur estimée de n_d et l'intervalle de confiance à 95 % pour l'essai. Sauf spécification contraire, l'erreur type sur l'estimation de la pente de la courbe $\ln(\sigma_f)$ en fonction de $\ln(\dot{\sigma}_a)$ doit être inférieure à 0,0017. Se reporter à l'Article F.2 pour déterminer l'erreur type de l'estimation de la pente.

A.6 Résultats

Les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- les vitesses de déformation;
- le nombre d'échantillons par vitesse de déformation;
- l'erreur type de l'estimation;
- \bar{X} et \bar{Y} ;
- la longueur de jauge;
- l'environnement d'essai;
- le temps de préconditionnement environnemental;
- la méthode de calcul de la contrainte de rupture;
- le module de Young de la fibre (s'il est pris en considération);
- le module de Young du ou des revêtements (s'il est pris en considération);
- les courbes de Weibull pour toutes les vitesses de déformation (si elles sont utilisées);
- la méthode de calcul du taux de contrainte.

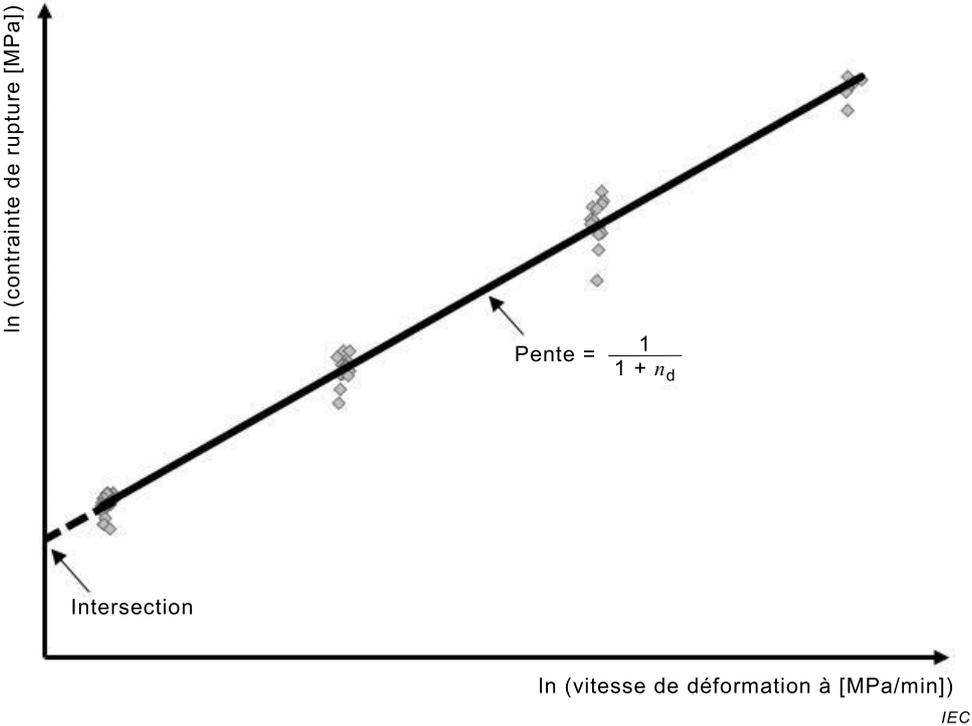


Figure A.4 – Représentation graphique de la fatigue dynamique

Annexe B (normative)

Valeur n dynamique, n_d , par courbure en deux points

B.1 Généralités

La présente procédure fournit une méthode de mesure du paramètre de fatigue dynamique (valeur n dynamique, n_d) des fibres optiques par courbure en deux points avec des vitesses de plateau constantes. Cette méthode est destinée à soumettre à essai le comportement en fatigue en faisant varier la vitesse des plateaux. Cet essai est applicable aux fibres et aux vitesses des plateaux dont la courbe logarithmique de la contrainte de rupture en fonction du logarithme de la vitesse des plateaux est linéaire.

B.2 Appareillage

B.2.1 Généralités

La Figure B.1 est une représentation schématique d'un appareil d'essai possible. Cet appareil est conçu pour mesurer la déformation/contrainte exigée pour rompre une fibre optique subissant une courbure en deux points par la mesure de l'écartement des plateaux au moment de la rupture. Cette technique est facilement adaptable à divers environnements d'essai.

B.2.2 Commande du moteur pas à pas

Ce dispositif permet la commande motorisée, précise, fiable et reproductible de la table de déplacement linéaire. Une longueur maximale de pas de 1 μm doit être utilisée. Pour plus de précision, un pas de 0,1 μm peut être utilisé.

B.2.3 Plateau mobile entraîné par un moteur pas à pas

Le plateau mobile convertit la rotation du moteur pas à pas en translation linéaire au moyen d'une vis mère.

B.2.4 Plateau fixe

Ce dispositif maintient la fibre contre le plateau mobile.

B.2.5 Vitesse du plateau

Placer la fibre entre deux plateaux qui sont amenés l'un contre l'autre par un moteur pas à pas commandé par ordinateur, à une vitesse de plateau constante spécifiée ($V = \text{constante}$) jusqu'à rupture de la fibre. Sauf indication contraire dans la spécification particulière, utiliser des vitesses de 1 $\mu\text{m/s}$, 10 $\mu\text{m/s}$, 100 $\mu\text{m/s}$, 1 000 $\mu\text{m/s}$, chaque vitesse ayant une précision de $\pm 10\%$.

B.2.6 Système de détection de rupture de la fibre

Une des techniques suivantes peut être utilisée pour détecter la rupture de la fibre.

1) Méthode 1

Utiliser un détecteur acoustique ou un transducteur et un ordinateur pour détecter la rupture de la fibre et la position du plateau au moment de la rupture. L'ordinateur arrête ensuite le plateau et affiche l'écartement des plateaux au moment de la rupture.

2) Méthode 2

Installer un transducteur de force (pression) dans le plateau fixe et le connecter à un appareil approprié de conditionnement de signaux pour mesurer la force exercée sur la fibre au cours de l'essai. Lorsqu'il y a rupture de la fibre, la force chute à zéro et permet ainsi de détecter la rupture.

3) Méthode 3

L'injection de lumière dans la fibre soumise à l'essai et la surveillance du signal de sortie constituent une autre technique de détection de la rupture de la fibre. Lorsque la fibre rompt, la transmission est coupée.

Pour l'ensemble des techniques décrites ci-dessus, calculer l'écartement des plateaux au moment de la rupture d selon la formule suivante:

$$d = a - b \quad (\text{B.1})$$

où

a est la position de départ du plateau;

b est le déplacement du plateau.

B.3 Echantillon d'essai

L'échantillon d'essai est constitué d'une longueur de fibre optique revêtue d'environ 30 mm à 120 mm de longueur. Le diamètre du verre doit être connu à $\pm 1 \mu\text{m}$ et le diamètre du revêtement doit être connu à $\pm 5 \mu\text{m}$. Sauf indication contraire dans la spécification particulière, le nombre d'échantillons pour chaque vitesse doit être d'au moins 15 spécimens.

B.4 Procédure

Un exemple de procédure d'étalonnage est présenté ci-après.

- 1) Régler à zéro la distance entre les plateaux lorsque les faces des plateaux se touchent totalement. Il convient que l'affichage du dispositif de commande du moteur pas à pas soit à zéro lorsque le contact est établi. La valeur de l'écartement des plateaux d au moment de la rupture de la fibre peut être vérifiée en mesurant la distance au moyen d'une cale étalon. Il convient que la position zéro soit reproductible à $\pm 5 \mu\text{m}$. Il est recommandé de nettoyer soigneusement les surfaces des plateaux avant de les amener en contact.
- 2) Sauf indication contraire dans la spécification particulière, régler l'écartement initial entre plateaux à 12,00 mm, en incluant les profondeurs des cannelures.
- 3) Avant de soumettre à l'essai une population de fibres pour une vitesse de plateau donnée, rompre une fibre identique du même groupe afin de déterminer la séparation des plateaux au moment de la rupture de la fibre. Cette séparation d des plateaux est utilisée pour calculer la contrainte de rupture (Equations (B.2), (B.3) et (B.4)). Une séparation initiale des plateaux (au départ), peut être déterminée à partir des Equations (B.2), (B.3), (B.4) et (B.5) en utilisant une valeur de contrainte égale à 50 % de la contrainte de rupture. Cela permet de réduire la durée de l'essai et d'obtenir les vitesses de plateau les plus élevées, étant donné que la vitesse maximale du moteur pas à pas peut limiter les vitesses maximales réalisables de déplacement du plateau.

Il est possible de réduire à sa valeur minimale la durée de l'essai en augmentant la vitesse du plateau et en diminuant la vitesse. Par exemple, si une vitesse de plateau de $1 \mu\text{m/s}$ est spécifiée, quelques spécimens sont soumis à l'essai à la vitesse supérieure la plus proche ($10 \mu\text{m/s}$) pour établir une plage de contrainte de rupture. Précharger ensuite à un niveau inférieur ou égal à 80 % de la plus faible contrainte de rupture trouvée pour les spécimens initialement soumis à l'essai à la vitesse supérieure la plus proche.

- 4) Tenir avec précaution les deux extrémités du spécimen d'essai, le courber avec précaution et l'insérer entre les plateaux, puis tirer le spécimen vers le haut pour le positionner comme représenté à la Figure B.2. Ne pas toucher la partie courbée de la fibre (longueur de jauge) avec les doigts pendant la manipulation ou la mise en place des fibres. Il convient que le sommet de la fibre soit toujours positionné à la même position dans le montage. Cela réduit l'effet du non-parallélisme des plateaux. L'orientation de la fibre, vers le bas ou vers le haut, est sans importance.
- 5) Après la rupture du spécimen, freiner le moteur pas à pas pour l'amener à l'arrêt et enregistrer l'écartement des plateaux à la rupture.
- 6) Répéter les étapes 1) à 5) pour chaque échantillon de fibre pour la vitesse de charge spécifiée et, pour tous les échantillons, aux autres vitesses de charge spécifiées.
- 7) Calculer la contrainte de rupture de la fibre, σ_f , pour chaque rupture en utilisant les Equations (B.2) à (B.4).
- 8) Calculer les statistiques de population exigées en utilisant les Equations (B.5) et (B.6).

B.5 Calculs

B.5.1 Contrainte de rupture

Calculer la contrainte de rupture de chaque fibre en utilisant les équations suivantes:

$$\sigma_f = E_o \times \varepsilon_f (1 + 0,5 \times \alpha' \times \varepsilon_f) \quad (\text{B.2})$$

$$\varepsilon_f = 1,198 \frac{d_f}{d - d_c + 2d_g} \quad (\text{B.3})$$

$$\alpha' = 0,75 \times \alpha - 0,25 \quad (\text{B.4})$$

où

σ_f est la contrainte de rupture, en GPa;

E_o est le module de Young du verre de silice (72 GPa);

ε_f est la déformation de rupture au sommet de la fibre;

α est le paramètre de correction pour tenir compte de la non-linéarité entre contrainte et déformation (la valeur typique pour α est 6);

d_f est le diamètre de la fibre de verre, en μm ;

d est la distance entre les plateaux au moment de la rupture de la fibre, en μm ;

d_c est le diamètre total de la fibre, revêtement compris, en μm ;

$2d_g$ est la profondeur totale des deux cannelures, en μm (voir Figure B.2).

B.5.2 Paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte dynamique, n_d , (courbure en deux points)

La contrainte de rupture médiane $\sigma_f(0,5)$ variera généralement avec la vitesse de plateau, V , selon la formule suivante:

$$\ln \sigma_f(0,5) = \frac{1}{n_d - 1} \times \ln \frac{V}{r} + C \quad (\text{B.5})$$

où

r est le rayon de la fibre de verre;

C est le logarithme népérien de la contrainte de rupture pour une vitesse de plateau constante égale à un, tel que cela est représenté à la Figure B.3 (intersection).

C peut être calculée à partir de la formule suivante:

$$C = \bar{Y} - (S) \times \bar{X} \quad (\text{B.6})$$

où

S est la pente.

Sauf spécification contraire, utiliser l'algorithme fourni à l'Article F.2 pour calculer \bar{X} , \bar{Y} , la valeur estimée de n_d , et l'intervalle de confiance à 95 % pour l'essai. Sauf spécification contraire, l'erreur type sur l'estimation de la pente de la courbe $\log(\sigma_f)$ en fonction de $\log(V)$ doit être inférieure à 0,001 7. Se reporter à l'Article F.2 pour déterminer l'erreur type de l'estimation.

B.5.3 Résultats

Les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- les vitesses du plateau;
- le nombre d'échantillons pour chaque vitesse de plateau;
- l'erreur type de l'estimation;
- l'environnement d'essai;
- le temps de préconditionnement environnemental;
- le module de Young de la fibre de verre (si par hypothèse il est différent de celui fourni en B.5.1);
- les courbes de Weibull pour toutes les vitesses de plateau (si elles sont utilisées);
- \bar{X} et \bar{Y} ;
- le diamètre de la fibre (verre et revêtement).

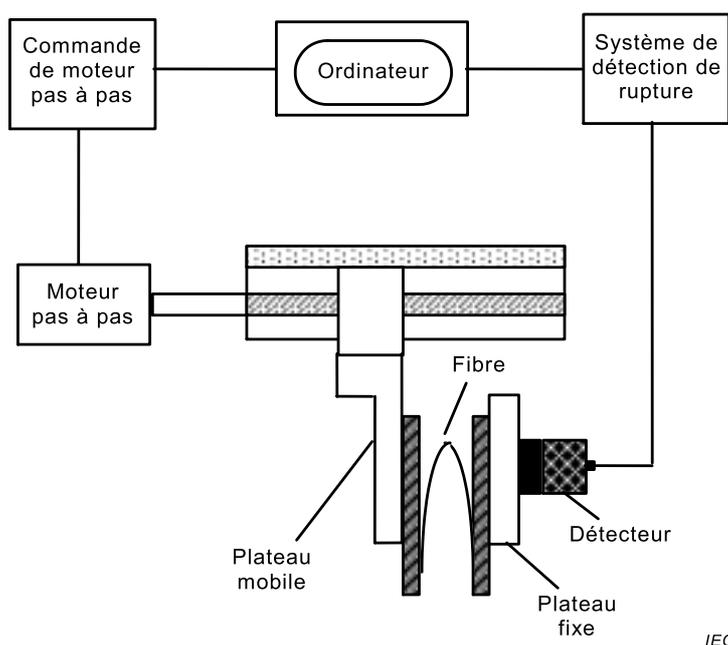


Figure B.1 – Schéma de l'appareil de courbure en deux points

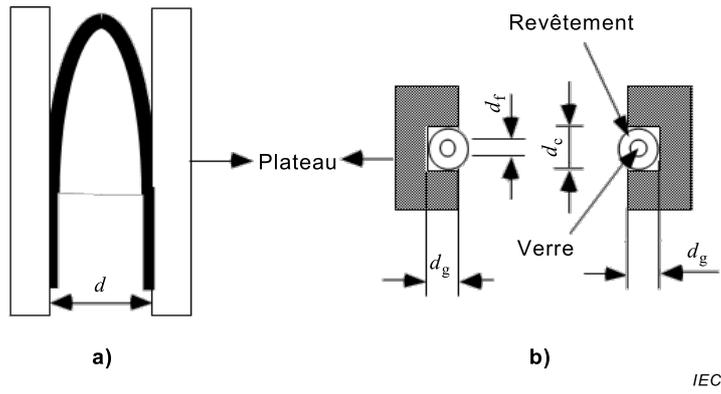


Figure B.2 – Schéma de l'appareil de fatigue dynamique possible (courbure en deux points)

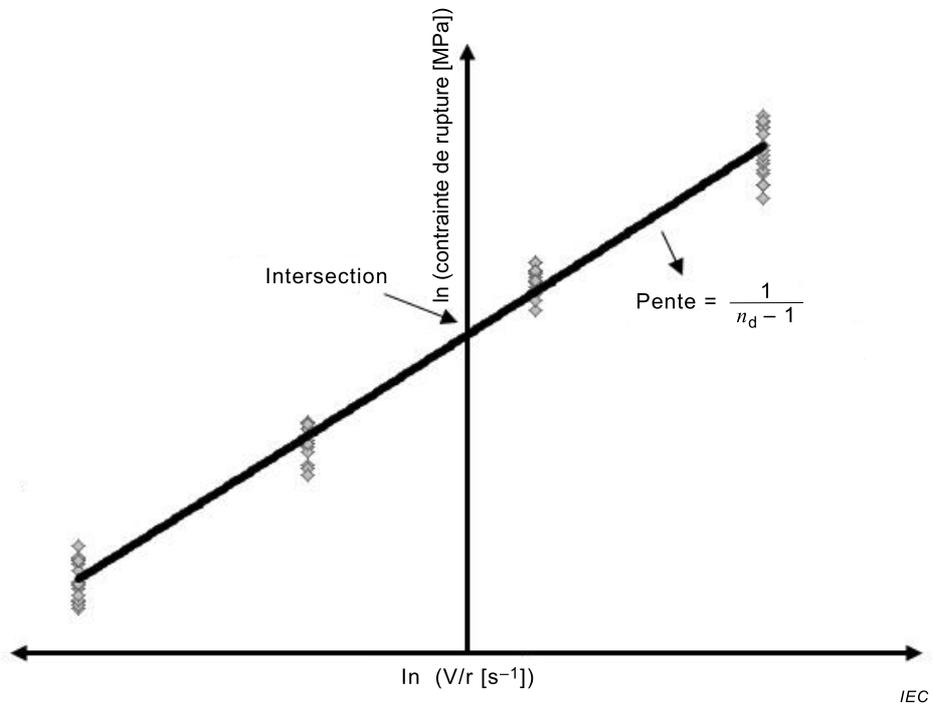


Figure B.3 – Représentation schématique des données de fatigue dynamique

Annexe C (normative)

Valeur n statique, n_s , par tension axiale

C.1 Généralités

Cette méthode permet de déterminer les paramètres de fatigue statique (valeur n statique, n_s) de chaque longueur de fibre optique sous tension. Cette méthode est destinée à soumettre à essai le comportement en fatigue statique en faisant varier les niveaux de contrainte appliqués.

C.2 Appareillage

C.2.1 Généralités

Des dispositions possibles de matériels d'essai sont représentées schématiquement à la Figure C.1. Chaque disposition comprend un moyen d'application de la contrainte sur une fibre et de surveillance du temps de fonctionnement jusqu'à la rupture. Sauf indication contraire dans la spécification particulière, la longueur de jauge, c'est-à-dire la distance entre les cabestans, doit être de 500 mm.

C.2.2 Fixation de la fibre aux deux extrémités

Voir A.2.2.

C.2.3 Application d'une contrainte à la fibre

La contrainte est appliquée à la fibre en suspendant un poids de valeur connue à un cabestan (voir Figure C.1). Plusieurs spécimens sont soumis à l'essai à un niveau donné de contrainte nominale. La plage des niveaux réels de contrainte pour un niveau donné de contrainte nominale peut influencer la qualité de la mesure. Pour la méthode de calcul dite de la médiane simple, la plage des niveaux de contrainte pour une valeur nominale donnée doit être à $\pm 0,5$ % de la valeur nominale. Pour la méthode dite homologue et la méthode dite d'estimation de la probabilité maximale, les niveaux de contrainte pris individuellement pour chaque spécimen doivent être enregistrés pour être utilisés dans le calcul (voir C.5.2).

C.2.4 Mesure du temps de fonctionnement jusqu'à la rupture

Plusieurs techniques permettant de surveiller le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture peuvent satisfaire aux exigences de cette méthode d'essai. Une manière de surveiller le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture consiste à placer des chronomètres sous les poids suspendus utilisés pour appliquer la contrainte à la fibre.

C.3 Echantillon d'essai

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, utiliser au moins 15 échantillons pour chaque niveau de contrainte nominale.

C.4 Procédure

Utiliser pour l'essai au moins cinq niveaux différents de contrainte nominale, σ_a . Choisir les contraintes nominales de façon à ce que les temps de fonctionnement médians jusqu'à la rupture s'échelonnent d'environ 1 h à environ 30 jours avec un espacement approximativement égal sur une échelle logarithmique. Les charges nécessaires pour y parvenir pour des fibres en silice normalisées s'échelonnent de 30 N à 50 N.

Etant donné que le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture dépend à la fois de la contrainte de rupture de la fibre et du paramètre de fatigue, les niveaux de contrainte nominale réellement appliqués ainsi que leur nombre peuvent être déterminés de manière itérative. En variante, une large plage de niveaux peut être appliquée au début d'une mesure. Les résultats des essais pour lesquels la rupture a lieu trop tôt ou trop tard peuvent être rejetés.

Une fois le préconditionnement terminé, mettre en place les fibres dans l'unité. Surveiller et enregistrer le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture pour chaque rupture de fibre. Au cours de l'essai d'un jeu d'échantillons pour un niveau donné de contrainte nominale, dès que la moitié des spécimens se sont rompus, l'essai peut être arrêté prématurément. En d'autres termes, s'il y a eu rupture de plus de la moitié des échantillons, le calcul peut être effectué et un temps de fonctionnement médian jusqu'à la rupture peut être déterminé avant la rupture des échantillons restants. L'erreur type sur l'estimation doit être calculée et consignée pour chaque mesure. Sauf indication contraire dans la spécification particulière, l'erreur type sur l'estimation doit être inférieure à 1.

C.5 Calculs

C.5.1 Contrainte de rupture

Voir A.5.1.

C.5.2 Paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte statique, n_s (tension)

Sauf spécification contraire, la méthode suivante doit être utilisée pour déterminer n_s . En variante, d'autres méthodes, par exemple la méthode dite homologue ou la méthode d'estimation de la probabilité maximale peuvent être utilisées pour déterminer n_s (voir Article A.5).

C.5.3 Méthode de la simple médiane

Cette méthode n'exige pas d'hypothèse de linéarité de la courbe de Weibull. Toutes les données n'étant pas utilisées, elle peut conduire à une erreur type sur l'estimation plus importante que d'autres. Pour chaque niveau de contrainte nominale, σ_i , le temps de fonctionnement médian jusqu'à la rupture, t_i , est déterminé. Ajuster les données à une droite de régression en réduisant à sa valeur minimale la somme des carrés des erreurs:

$$-n_s \ln(\sigma_i) + C = \ln(t_i) \quad (\text{C.1})$$

où

C est l'intersection.

L'erreur type sur l'estimation de n_s est fournie par la plupart des logiciels de statistique. La valeur médiane de $\ln(\sigma_i)$ et la valeur médiane de $\ln(t_i)$ sont également fournies. La valeur d'intersection dans l'équation ci-dessus est la suivante:

$$C = M[\ln(t_i)] + n_s M[\ln(\sigma_i)] \quad (\text{C.2})$$

où

M est la valeur médiane.

C.6 Résultats

Les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- le diamètre de la fibre;

- le diamètre du revêtement (s'il est pris en considération);
- l'environnement d'essai;
- la longueur de jauge;
- le nombre d'échantillons initial pour chaque niveau de contrainte nominale et le nombre de niveaux de contrainte nominale;
- le temps de préconditionnement environnemental, le cas échéant;
- la méthode de calcul de la contrainte de rupture – si la méthode de l'Article F.3 est utilisée, les modules de Young du revêtement et du verre doivent être indiqués;
- les niveaux de contrainte nominale.

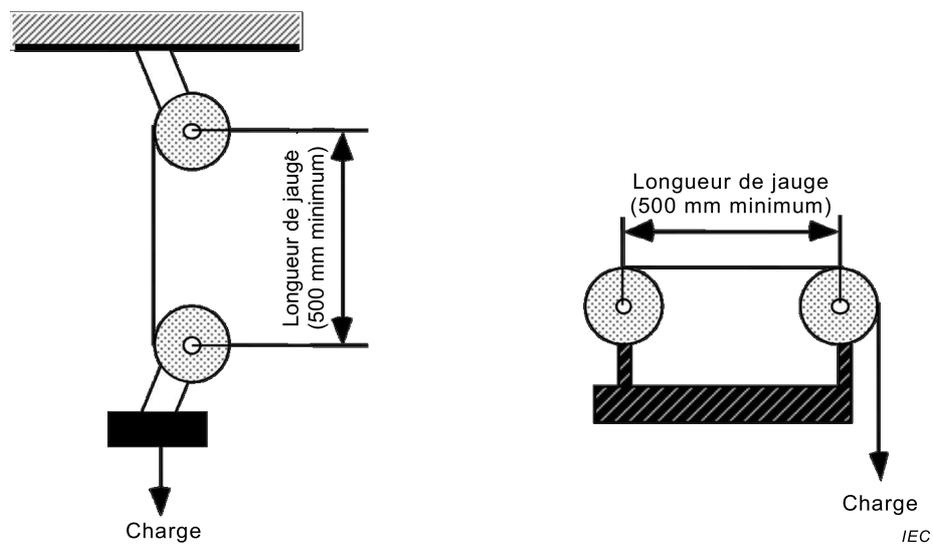


Figure C.1 – Schéma de l'appareil de fatigue statique possible (tension)

Annexe D (normative)

Valeur n statique, n_s , par courbure en deux points

D.1 Généralités

Cette procédure décrit une méthode pour déterminer les paramètres de fatigue statique (valeur n statique, n_s) de fibres optiques par courbure en deux points.

D.2 Appareillage

D.2.1 Matériel d'essai

La Figure D.1 a) est une représentation schématique d'un matériel d'essai possible. Les plateaux parallèles, cannelés, ainsi que les entretoises doivent être réalisés dans des matériaux thermiquement stables (par exemple, de l'acier inoxydable). Les entretoises sont utilisées pour créer l'espace exigé entre les plateaux – voir Figure D.1 b). Des tubes de verre alésés de précision ou des plaques de métal fraisées avec précision peuvent être utilisé(e)s en lieu et place des plateaux parallèles représentés à la Figure D.1 b). Dans ce cas, les parois des tubes ont la même fonction que les plateaux parallèles.

D.2.2 Détection de rupture de fibre

Un capteur acoustique ainsi qu'un contrôleur approprié de la tension de sortie peuvent être utilisés pour détecter la rupture de la fibre. D'autres méthodes de détection des ruptures, telles que l'injection de lumière dans la fibre optique, peuvent également être utilisées (voir B.2.6). L'appareil de détection doit être capable de mesurer le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture avec une précision supérieure ou égale à 1 % du temps écoulé.

D.3 Echantillon d'essai

L'échantillon d'essai est constitué d'une longueur de fibre optique revêtue d'environ 30 mm à 120 mm de longueur. Le diamètre du verre doit être connu à $\pm 1 \mu\text{m}$ et le diamètre du revêtement doit être connu à $\pm 5 \mu\text{m}$. Sauf indication contraire dans la spécification particulière, utiliser au moins 15 échantillons pour chaque niveau de contrainte nominale.

D.4 Procédure

Utiliser pour l'essai au moins cinq niveaux différents de contrainte nominale. Choisir les contraintes nominales de façon à ce que les temps de fonctionnement médians jusqu'à la rupture s'échelonnent d'environ 1 h à environ 30 jours.

Monter l'appareil de courbure en deux points en utilisant des entretoises de hauteur appropriée pour obtenir la contrainte maximale souhaitée au sommet de la courbure de la fibre. Pour calculer la hauteur des entretoises qui donnera la valeur souhaitée des contraintes appliquées, utiliser les Equations (B.2), (B.3) et (B.4). Si des tubes alésés de précision ou des plaques de métal alésées avec précision sont utilisés, la valeur d_g dans l'Equation (B.3) est égale à zéro (0). Une fois le préconditionnement terminé, mettre en place les fibres dans l'appareil. Enregistrer le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture pour chaque rupture au moyen d'un détecteur. S'assurer que le détecteur n'a pas enregistré de fausses ruptures ou qu'il n'a pas manqué d'enregistrer de vraies ruptures.

D.5 Calculs

D.5.1 Contrainte de rupture

Voir B.5.1.

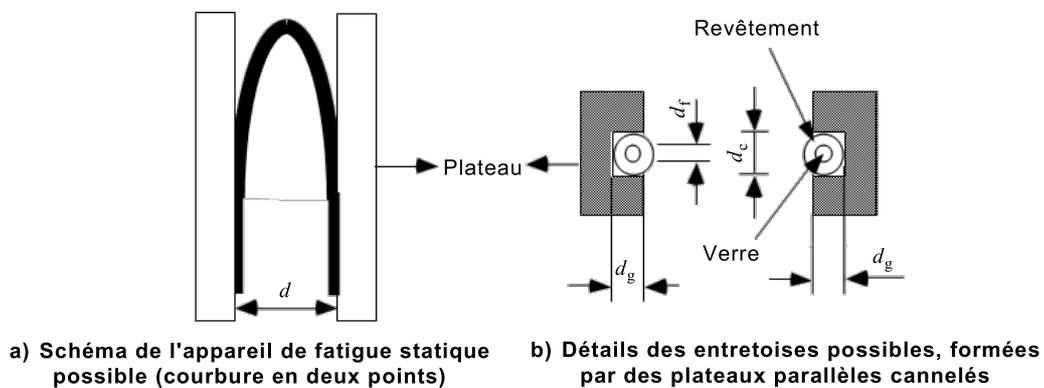
D.5.2 Paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte statique, n_s (courbure en deux points)

Voir C.5.2.

D.6 Résultats

Les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- le diamètre de la fibre (verre);
- le diamètre du revêtement;
- l'environnement d'essai;
- le module d'élasticité de la fibre;
- le nombre d'échantillons initial pour chaque niveau de contrainte nominale et le nombre de niveaux de contrainte nominale;
- la méthode de calcul de n_s ;
- le paramètre de Weibull m_s , à partir de l'Article G.2, pour chaque valeur de déformation utilisée dans l'essai;
- l'erreur type sur l'estimation de n_s ;
- les niveaux de contrainte nominale.



IEC

Figure D.1 – Représentation schématique d'un matériel d'essai possible

Annexe E (normative)

Valeur n statique, n_s , par courbure uniforme

E.1 Généralités

Cette procédure décrit une méthode pour déterminer les paramètres de fatigue statique (valeur n statique, n_s) de longueurs de fibres optiques individuelles sous courbure uniforme.

E.2 Appareillage

E.2.1 Généralités

Le matériel d'essai utilisé pour la contrainte de courbure comprend des mandrins de précision de différents diamètres. Les fibres sont soumises à des contraintes de courbure par enroulement autour d'un mandrin (voir Figure E.1).

E.2.2 Support de l'échantillon

Fixer la longueur de fibre à soumettre à l'essai aux deux extrémités. Les fibres peuvent être fixées, par exemple au moyen d'un collier en caoutchouc, de colle ou d'une bande adhésive, aux extrémités du mandrin. Utiliser une fixation qui ne permet pas le glissement de la fibre avant la rupture et réduit les risques de rupture de la fibre au niveau de la fixation. Enregistrer les ruptures qui apparaissent au niveau de la fixation, mais ne pas considérer la fixation de la fibre comme faisant partie de l'échantillon et ne pas l'utiliser pour des calculs ultérieurs.

Un mécanisme d'enroulement de la fibre à l'essai sur le mandrin est nécessaire. Enrouler la fibre avec un pas minimal sans chevauchements. Veiller à éviter d'introduire une contrainte de tension indésirable pendant l'enroulement. Une force d'enroulement suffisante est nécessaire pour s'assurer que la fibre touche le mandrin sur toute sa longueur, par exemple 0,25 N.

E.2.3 Application d'une contrainte à la fibre

Le niveau de contrainte peut varier en choisissant une taille de mandrin appropriée. Plusieurs spécimens sont soumis à l'essai à un niveau donné de contrainte nominale. Pour la méthode de calcul dite de la médiane simple, utiliser une plage de diamètres de mandrins à $\pm 0,5$ % de la valeur nominale pour un niveau de contrainte donné. Pour la méthode dite homologue et la méthode dite d'estimation de la probabilité maximale, enregistrer les niveaux de contrainte pris individuellement pour chaque spécimen qui seront utilisés dans le calcul.

E.2.4 Mesure du temps de fonctionnement jusqu'à la rupture

Il existe plusieurs techniques permettant de surveiller le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture satisfaisant à ces exigences. Une méthode consiste à utiliser un détecteur acoustique ou un transducteur pour détecter la rupture de la fibre et indiquer à l'ordinateur le moment de la rupture. Une autre méthode est la détection optique de la présence du mandrin dans un support spécial. Lorsque la fibre rompt, le mandrin est éjecté du support. La détection optique de la lumière transmise dans la fibre est également une autre technique.

E.3 Echantillon d'essai

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, utiliser au moins 15 échantillons pour chaque niveau de contrainte nominale et une fibre de 1 m pour chaque essai. Le diamètre du verre doit être connu à $\pm 1 \mu\text{m}$ et le diamètre du revêtement doit être connu à $\pm 5 \mu\text{m}$.

E.4 Procédure

Utiliser pour l'essai au moins cinq niveaux différents de contrainte nominale. Choisir les contraintes nominales de façon à ce que les temps de fonctionnement médians jusqu'à la rupture s'échelonnent d'environ 1 h à environ 30 jours.

E.5 Calculs

E.5.1 Contrainte de rupture

Calculer la contrainte de rupture de chaque fibre en utilisant l'équation suivante:

$$\sigma_f = E_o \times \mathcal{E}_f (1 + 0,5 \times \alpha^n \times \mathcal{E}_f) \quad (\text{E.1})$$

$$\mathcal{E}_f = \frac{d_f}{D + d_c} \quad (\text{E.2})$$

$$\alpha^n = 0,75 \alpha \quad (\text{E.3})$$

où

σ_f est la contrainte de rupture, en GPa;

E_o est le module de Young (72 GPa);

\mathcal{E}_f est la déformation de rupture;

α est le paramètre de correction pour tenir compte de la non-linéarité entre contrainte et déformation (la valeur typique pour α est 6);

d_f est le diamètre de la fibre de verre, en μm ;

D est le diamètre du mandrin, en μm ;

d_c est le diamètre total de la fibre, revêtement compris, en μm .

E.5.2 Paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte statique, n_s (courbure uniforme)

Voir C.5.2.

E.6 Résultats

Les informations suivantes doivent être fournies sur demande:

- le diamètre de la fibre (verre);
- le diamètre du revêtement;
- les diamètres des mandrins;
- l'environnement d'essai;
- l'erreur type sur l'estimation de n_s ;
- la longueur de la fibre enroulée sur les mandrins;
- la force d'enroulement;
- le nombre d'échantillons initial pour chaque diamètre de mandrin et le nombre de diamètres de mandrins;
- le nombre de mandrins dans chaque lot de chaque diamètre de mandrin.

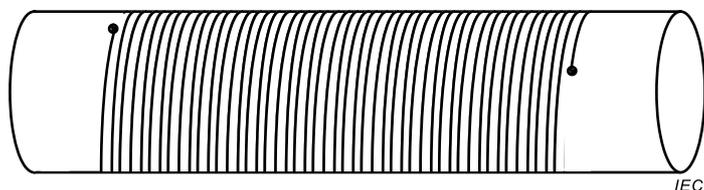


Figure E.1 – Schéma de l'appareil de fatigue statique possible (courbure uniforme)

Annexe F (informative)

Considération pour les calculs des paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte dynamique

F.1 Taille des spécimens et nombre d'échantillons

F.1.1 Taille des spécimens

Les essais de contrainte de rupture utilisés pour déterminer les paramètres de corrosion sous contrainte sont de nature statistique. De nombreuses fibres individuelles, dont chacune est représentative d'une population donnée, doivent être soumises aux essais de contrainte de rupture. Les résultats des contraintes de rupture sont consignés pour la population dans son ensemble, comme une distribution de probabilité.

Le nombre d'échantillons de produits et la longueur de jauge déterminent dans quelle mesure la population de contraintes de rupture est représentée et la plage de probabilité de contraintes de rupture mesurée. La longueur de jauge affecte également le résultat de la contrainte de rupture, étant donné qu'en général la contrainte de rupture mesurée décroît lorsque la longueur de jauge croît. Cependant, cette longueur de jauge n'influence pas la détermination des paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte.

F.1.2 Nombre d'échantillons

Dans la pratique, des défauts identiques ne peuvent pas être présélectionnés pour être soumis aux essais à chacune des vitesses de déformation. Par contre, un échantillonnage est exigé pour estimer le comportement du défaut moyen. La largeur de l'intervalle de confiance de l'essai est régie par l'absence de similitude des défauts soumis aux essais à différentes vitesses de déformation. Cela signifie que l'intervalle de confiance est une mesure de la précision de l'essai de fatigue et non une mesure directe d'un attribut de la fibre.

Le Tableau F.1 présente un intervalle de confiance type pour différentes combinaisons de paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte dynamique, n_d , de pentes de la courbe de Weibull, m_d , et de nombres d'échantillons par vitesse de déformation. Ces résultats sont l'aboutissement d'une simulation Monte-Carlo d'une distribution de Weibull idéale, associée au comportement en fatigue défini par l'Equation (A.1). Quatre vitesses de déformation, qui diffèrent chacune d'un ordre de grandeur, sont utilisées dans la simulation.

Tableau F.1 – Intervalle de confiance à 95 % pour n_d

Réel n_d	m_d	Nombre d'échantillons pour chaque vitesse de déformation			
		15	30	45	60
10	15	8,7 à 11,0	9,3 à 10,8	9,5 à 10,5	9,5 à 10,5
	30	9,5 à 10,5	9,6 à 10,4	9,7 à 10,3	9,8 à 10,3
	60	9,7 à 10,3	9,8 à 10,2	9,9 à 10,2	9,9 à 10,1
	90	9,8 à 10,2	9,9 à 10,1	9,9 à 10,1	9,9 à 10,1
20	15	16,7 à 24,0	17,6 à 23,2	18,3 à 22,6	18,4 à 22,0
	30	18,2 à 22,0	18,9 à 21,6	19,5 à 22,6	19,2 à 21,0
	60	19,1 à 21,1	19,5 à 20,9	19,8 à 20,5	19,6 à 20,5
	90	19,5 à 20,8	19,6 à 20,7	19,8 à 20,5	19,8 à 20,4
30	15	22,8 à 39,2	24,9 à 37,1	26,2 à 35,5	26,6 à 34,4
	30	26,0 à 34,1	27,3 à 33,3	28,0 à 32,7	28,3 à 32,3
	60	28,0 à 32,0	29,2 à 31,2	29,4 à 31,0	29,2 à 31,2
	90	28,7 à 31,4	29,2 à 31,2	29,4 à 31,0	29,3 à 30,8
50	15	33,2 à 80,6	37,5 à 72,3	40,5 à 67,3	41,5 à 63,7
	30	40,0 à 62,2	43,0 à 59,8	45,0 à 57,7	45,6 à 56,4
	60	44,6 à 55,8	46,5 à 54,7	48,1 à 53,8	47,9 à 53,3
	90	46,4 à 53,9	47,8 à 53,3	49,1 à 52,7	49,0 à 52,3
100	15	49,8 à 380,0	60,8 à 258,7	68,5 à 198,0	71,2 à 170,7
	30	67,1 à 162,3	76,1 à 147,7	81,5 à 135,1	83,9 à 129,7
	60	81,5 à 125,8	87,2 à 120,7	90,4 à 116,2	92,2 à 114,4
	90	87,4 à 123,2	91,7 à 113,8	93,9 à 110,8	95,2 à 110,0

F.2 Algorithme numérique pour le calcul du paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte dynamique, n_d

Cet algorithme calcule la valeur estimée de n_d ainsi que l'intervalle de confiance à 95 % de l'estimation par la méthode homologue des moindres carrés. Une utilisation appropriée de l'algorithme est limitée aux essais pour lesquels le même nombre d'échantillons est spécifié pour chaque vitesse de déformation.

σ_{ij} est la contrainte de rupture de la $j^{\text{ème}}$ rupture pour $i^{\text{ème}}$ la vitesse de déformation, et $\dot{\sigma}_a$ est le taux de contrainte pour la $i^{\text{ème}}$ vitesse de déformation.

$y_{ij} = \ln(\sigma_{ij})$ pour $i = 1$ à L , le nombre de vitesses de déformation, et pour $j = 1$ à N_j , le nombre de spécimens pour chaque vitesse.

$$x_i = \ln \dot{\sigma}_a$$

$$N = \sum_{i=1}^L N_i$$

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{N_j} \frac{y_{ij}}{N}$$

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^L \frac{(N_i x_i)}{N}$$

$$XX = \left(\sum_{i=1}^L N_i x_i^2 \right) N\bar{X}^2 \quad YY = \left(\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{N_j} y_{ij}^2 \right) NY^2$$

$$XY = \left(\sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^{N_j} X_i Y_{ij} \right) - N\bar{X}\bar{Y}$$

$$S = \frac{XY}{XX} \quad SEE = \sqrt{\frac{(YY - S \times XY)}{(XX \times (N - 2))}}$$

où

S est la pente;

SEE est l'erreur type sur l'estimation de S .

$$S_U = S - 1,96 \times SEE \quad S_L = S + 1,96 \times SEE$$

Alors
$$n_d = \frac{1}{S} - 1, \quad n_{dU} = \frac{1}{S_U} - 1, \quad n_{dL} = \frac{1}{S_L} - 1$$

où

n_{dU} et n_{dL} représentent l'intervalle de confiance à 95 % de la valeur estimée n_d .

Calculer l'intersection selon la formule suivante:

$$C = \bar{Y} - (S \times \bar{X})$$

où

C est l'intersection.

La pente (S) est:

$$S = \frac{1}{n_d + 1}$$

F.3 Méthode complète de calcul de la contrainte de rupture

Compensation du partage de charge par le revêtement:

Calculer la fraction F de la tension supportée par le revêtement de protection:

$$F = \frac{E_2(D_2^2 - D_1^2) + E_1(D_1^2 - D_g^2)}{[E_2(D_2^2 - D_1^2) + E_1(D_1^2 - D_g^2)] + E_g D_g^2}$$

où

E_g est le module de Young du verre de silice, en Pa;

E_2 est le module de Young de la deuxième couche de revêtement, en Pa;

E_1 est le module de Young de la première couche de revêtement, en Pa;

D_g est le diamètre nominal de la fibre de verre, en μm ;

D_2 est le diamètre nominal de la deuxième couche de revêtement, en μm ;

D_1 est le diamètre nominal de la première couche de revêtement, en μm .

Utiliser pour E_2 et E_1 les valeurs qui concordent avec la température de fonctionnement, l'humidité et la vitesse de déformation. La pire surestimation de la contribution du revêtement peut être faite en remplaçant le module du revêtement primaire intérieur par le plus grand module du revêtement primaire extérieur. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de connaître le diamètre ni le module du revêtement primaire intérieur.

Calculer la rupture corrigée, T_a (N), à appliquer à la fibre revêtue comme suit:

$$T_a = \frac{(0,0008) D_g^2 \sigma_f}{(1-F)}$$

où

D_g est le diamètre nominal de la fibre de verre, en μm ;

σ_f est la contrainte de rupture, en GPa;

F est la fraction de la charge supportée par le revêtement.

Annexe G (informative)

Considérations pour les calculs des paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte statique

G.1 Méthode homologue

Cette méthode utilise toutes les données, mais elle exige l'hypothèse selon laquelle les tracés de Weibull pour chaque groupe sont identiques et linéaires. Toutes les données étant utilisées, elle conduira souvent à une erreur type sur l'estimation plus petite.

Soit t_{ij} le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture du $j^{\text{ème}}$ spécimen pour le $i^{\text{ème}}$ niveau de contrainte nominale. Soit σ_{ia} le niveau de contrainte nominale de ce spécimen. Soit N_i le nombre d'échantillons dans le $i^{\text{ème}}$ groupe d'essais. Pour chaque i, j , calculer le paramètre de Weibull, w_{ij} :

$$w_{ij} = \ln\{-\ln[1 - (j - 0,5)/N_i]\}$$

Ajuster les données à une droite de régression en réduisant à sa valeur minimale la somme des carrés des erreurs:

$$a \times \ln(t_{ij}) + b \times \ln(\sigma_{ia}) + \text{const} = w_{ij}$$

$n_s = b/a$ est consigné comme estimation.

L'erreur type sur l'estimation est approchée à partir de la variance et de la covariance de a et b , ainsi que de leurs valeurs. Les valeurs de variance et de covariance sont également fournies par la plupart des logiciels de calcul statistique.

$$\text{Var}(n) = \text{Var}(a)/a^2 + (b/a^2)^2 \text{Var}(a) - 2(b/a^2) \text{Cov}(a, b)$$

L'erreur type sur l'estimation est $[\text{Var}(n)]^{1/2}$.

Les médianes de $\ln(t_{ij})$ et de $\ln(\sigma_{ia})$ sont consignées.

G.2 Estimation de la probabilité maximale

Cette méthode exige également l'hypothèse selon laquelle le tracé de Weibull pour chaque niveau de contrainte nominale résulte d'une distribution unique de contrainte de rupture et qu'il est linéaire. Cette méthode donne de meilleurs résultats, mais elle est plus compliquée. Elle peut traiter avec plus de précision les cas pour lesquels les données sont tronquées du fait de l'interruption de l'essai avant la rupture de tous les échantillons. Il existe des logiciels de statistique permettant d'effectuer ce calcul. Il est fondé sur le modèle de probabilité suivant:

$$F = 1 - \exp[-(t_f/t_0)^{m_s}]$$

où

F est la probabilité de rupture cumulative pour un temps de fonctionnement jusqu'à la rupture t_f ;

t_0 est le paramètre d'échelle Weibull;

m_s est le paramètre de forme Weibull (statique).

Annexe H (informative)

Considération sur les méthodes d'essais des paramètres de résistance à la corrosion sous contrainte

H.1 Généralités

Les méthodes d'essais du présent document décrivent un certain nombre de méthodes d'essais qui peuvent être utilisées pour déterminer le paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte d'une fibre optique en verre. Ce guide a pour but de donner des informations complémentaires à propos de ce paramètre mécanique et indique la relation entre les résultats des différentes méthodes d'essais.

H.2 Croissance des failles

Les fibres multimodales des catégories A1, A2, A3 et les fibres unimodales des classes B et C sont fabriquées à partir de verre de silice formant une structure d'anneaux de SiO₄ tétraédrique. Il convient que les liaisons mécaniques entre ces tétraèdres produisent une contrainte de rupture de 20 GPa (c'est-à-dire une force inerte, sans croissance des failles). La concentration des contraintes au niveau des extrémités des failles provoque la rupture des fibres à des niveaux de contrainte plus faibles [1]. Cette concentration de contraintes est caractérisée par le facteur d'intensité de contrainte:

$$K_I = Y\sigma\sqrt{a}$$

où

Y est un facteur géométrique;

a est la longueur de la faille;

σ est la contrainte appliquée.

Une rupture se produit lorsque K_I atteint la valeur critique K_{Ic} d'environ 0,8 MPa [2], [3]. Pour une faille semi-elliptique ou semi-circulaire, $Y = 1,24$ [2]. Par conséquent, une relation unique existe entre la profondeur d'une faille et une contrainte de rupture.

En pratique, des contraintes de rupture plus faibles que celles qui suivraient une relation entre profondeur de faille et contrainte de rupture sont observées. De plus, la contrainte de rupture des fibres optiques dépend du temps. Cela peut être expliqué par une croissance des failles due à une réaction chimique sous contrainte qui rompt les liaisons. Les conditions expérimentales, notamment l'humidité, constituent un facteur important pour la croissance des failles (da/dt). La corrosion du verre de silice produite par une contrainte est habituellement décrite par une loi de puissance, où la vitesse de croissance des failles v est égale à Ak_I^n , avec A représentant un facteur d'échelle pour la vitesse de croissance des failles et n le paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte [1]. Cette loi de puissance est souvent utilisée dans les modèles de durée de vie [5], ce qui montre l'importance à déterminer la valeur n . Cette valeur peut dépendre des caractéristiques spécifiques de la fibre de verre et/ou de son revêtement [6], [7], [8], [9].

Les méthodes d'essais décrites dans le présent document soumettent à l'essai seulement des fibres relativement courtes fournissant des données sur la corrosion sous contrainte correspondant à une distribution de la résistance intrinsèque.

En pratique, les points faibles dans les fibres optiques (c'est-à-dire correspondant à la distribution de la résistance extrinsèque, inférieure à celle de la résistance intrinsèque) conduisent à des ruptures de fibres. Il serait par conséquent approprié d'utiliser aussi le

paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte de ces points faibles pour le calcul de la durée de vie. Ce paramètre étant très difficile à déterminer, la corrosion provoquée par une contrainte de la distribution de la résistance intrinsèque est pour le moment utilisée. Cela est justifié par les expériences sur des fibres abrasées, qui montrent que ce choix reflète même une situation pire. La valeur n des fibres abrasées a été trouvée supérieure à celles correspondant à une distribution de la résistance intrinsèque [5], [10], [11], [12], [13].

H.3 Types de méthodes d'essais de résistance à la corrosion sous contrainte

La valeur du paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte obtenue par des méthodes d'essais dynamiques et statiques, pour des fibres optiques en verre normalisées est en général mesurée entre 17 et 40, la plus grande valeur correspondant à la valeur la plus faible de la croissance des failles. Ces différences peuvent être expliquées principalement par des différences entre les techniques de mesure. En pratique, deux familles d'essais de fatigue sont utilisées: les essais statiques et les essais dynamiques. Dans le présent document, les essais suivants sont décrits:

Essais dynamiques:

- méthode A: valeur dynamique n_d par tension,
- méthode B: valeur dynamique n_d par courbure en deux points.

Essais statiques:

- méthode C: valeur statique n_s par tension,
- méthode D: valeur statique n_s par courbure en deux points,
- méthode E: valeur statique n_s par courbure uniforme.

Ces essais sont réalisés dans des environnements ambiants normalisés comme indiqué dans les présentes méthodes d'essais. Il convient de ne pas utiliser les résultats de ces essais pour des estimations de fiabilité dans des environnements de fonctionnement autres que l'environnement normalisé.

Afin de comparer les deux familles d'essais de fatigue, il est possible de traduire, dans l'essai de fatigue dynamique, l'historique des charges en temps de fonctionnement "effectif" jusqu'à la rupture statique t_{eff} [14].

Pour les essais de tension, t_{eff} s'écrit:

$$t_{\text{eff}} = \frac{\sigma_d}{\dot{\sigma}} \times \frac{1}{(n_d + 1)} = \frac{t_d}{(n_d + 1)}$$

avec $\sigma(t) = \sigma t$, dans lequel σ est le taux de contrainte, et la résistance à la fatigue dynamique $\sigma_d = \dot{\sigma} t_d$, t_d étant le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture en dynamique.

Cette équation prend pour hypothèse que tous les paramètres de croissance des failles sont constants. Pour les autres méthodes d'essais, où la contrainte n'est pas mesurée directement (c'est-à-dire les fibres exposées à une déformation ou à une courbure), il convient que les données soient transformées en contraintes (voir [14]). De cette façon, la résistance à la fatigue dynamique peut être tracée sur un graphe à deux échelles logarithmiques en fonction du temps de fonctionnement effectif jusqu'à la rupture, de la même manière qu'avec l'essai de fatigue statique.

H.4 Comparaison des valeurs n obtenues par différentes méthodes

Dans le cadre d'un essai interlaboratoires réalisé par le COST 218 en Europe [14], pratiquement toutes les méthodes d'essais de fatigue sous contrainte ont été utilisées. Les résultats qui sont présentés à la Figure H.1 mettent en évidence des différences dans les contraintes de rupture mesurées. Suivant la méthode d'essai, les résultats semblent être décalés verticalement; ce qui serait dû aux différences de surface effective (longueur et géométrie) des fibres de verre soumises aux essais.

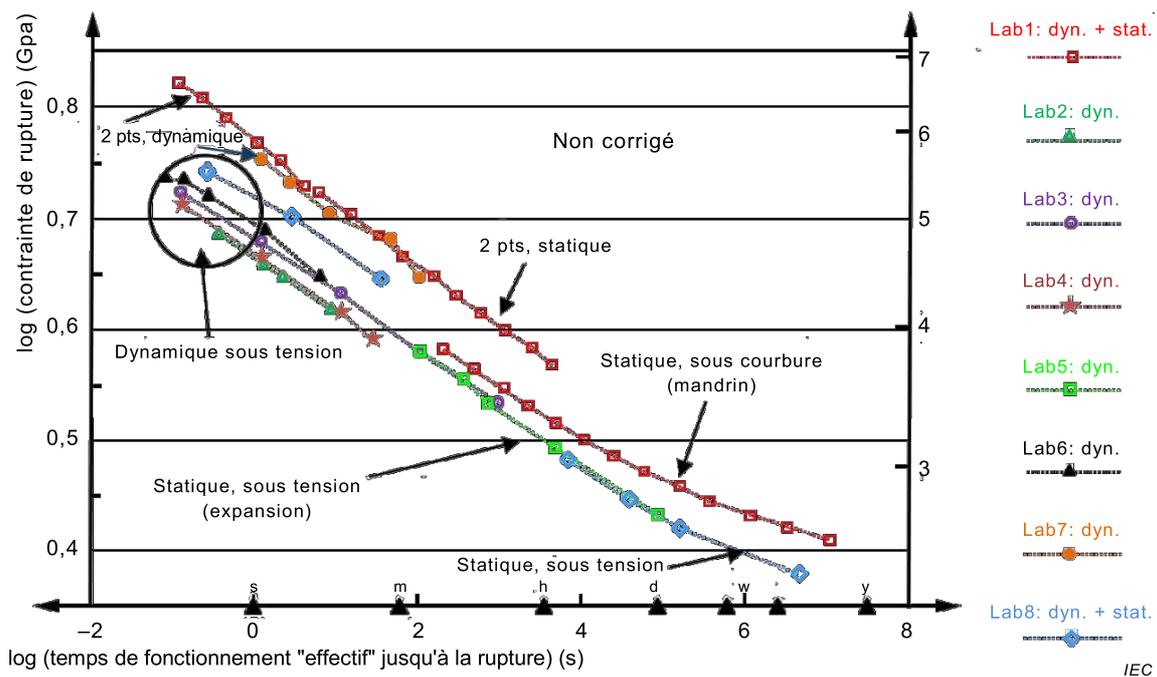
La Figure H.2 présente les résultats, correction faite des différences de surface de verre [8], [14], conduisant à une dispersion réduite de la contrainte de rupture "effective". La corrosion sous contrainte, décrite par la loi de puissance, aboutit à des droites (n constant) lorsque le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture et la contrainte appliquée sont tracés sur un graphique à l'échelle log/log. La Figure H.2 montre que la contrainte de rupture décroît progressivement quand le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture augmente; simultanément, la pente décroît (n est croissant). Cet effet est probablement dû à un effet du temps sur la surface du verre. Il peut être provoqué par un adoucissement des angles de la faille [13], [15], qui apparaît parallèlement avec la corrosion sous contrainte [16]. Certains experts envisagent même une fatigue limite [12], [17].

Les deux familles de base de méthodes d'essais, essais dynamiques et statiques, se distinguent facilement sur la Figure H.2. Les méthodes d'essais de fatigue dynamique sont généralement conduites sur des temps courts, réduits à des temps effectifs encore plus courts, combinés à une forte résistance aux défaillances. Ces essais montrent en général un paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte plus petit (n_d). Les méthodes d'essais statiques peuvent être conduites sur des temps de mesures plus longs et, par conséquent, à des niveaux de contraintes appliquées plus bas; des valeurs plus élevées n_s sont obtenues.

H.5 Conclusion

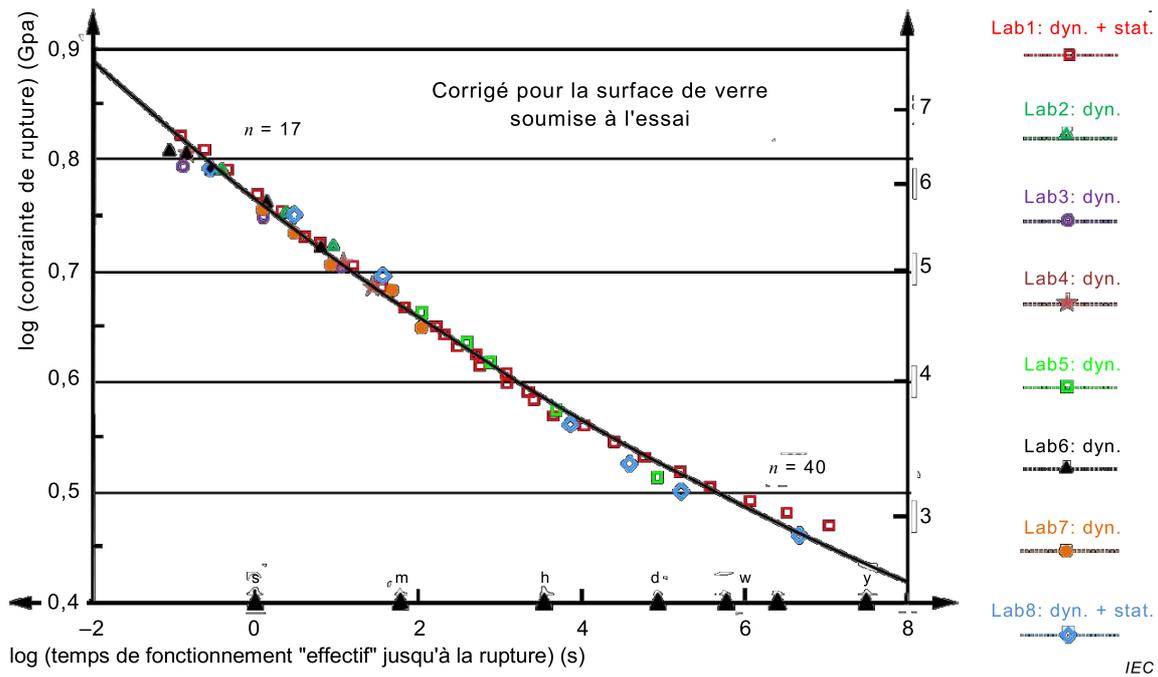
En comparant les résultats des différents essais de fatigue, une corrélation entre le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture dynamique et le temps de fonctionnement effectif jusqu'à la rupture statique peut être obtenue. De plus, le niveau de contrainte de rupture doit être corrigé en fonction de la surface effective du verre soumise à l'essai.

Ces corrections étant faites, le paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte apparaît comme n'étant pas constant avec une variation du temps de fonctionnement effectif jusqu'à la rupture (voir Figure H.2). Cela explique en général les différentes lois entre les méthodes d'essais de fatigue dynamiques et statiques.



NOTE Ces méthodes d'essais font apparaître des différences au niveau de la surface effective des fibres de verre soumises aux essais (longueur et géométrie) (données non corrigées), entraînant des différences de contrainte de rupture.

Figure H.1 – Résultats des essais interlaboratoires du COST 218 relatifs à la résistance à la rupture en fonction du temps de fonctionnement "effectif" jusqu'à la rupture pour les méthodes d'essais de tension axiale dynamiques et statiques, de courbure en deux points dynamiques et statiques et à mandrin statiques



NOTE Les différences de surface effective des fibres de verre soumises aux essais (longueur et géométrie) des données de ces méthodes d'essais ont été corrigées. Cela réduit largement les différences de contraintes de rupture entre ces différentes méthodes d'essais. Aucune différence systématique entre les méthodes d'essais par tension axiale et par courbure en deux points n'est visible. La contrainte de rupture décroît progressivement quand le temps de fonctionnement jusqu'à la rupture augmente; et le paramètre de résistance à la corrosion sous contrainte n décroît.

Figure H.2 – Résultats des essais interlaboratoires du COST 218 relatifs à la résistance à la rupture en fonction du temps de fonctionnement "effectif" jusqu'à la rupture pour les méthodes d'essais de tension axiale dynamiques et statiques, de courbure en deux points dynamiques et statiques et à mandrin statiques

Bibliographie

- [1] EVANS, AG. and WIEDERHORN, S. M. *Proof testing of ceramic materials to an analytical basis for failure prediction*. *Int. J. Fract.*, 1974, 10, p. 379-392
- [2] KALISH, D. and TARIYAL, BK. *Static and dynamic fatigue of a polymer-coated fused silica optical fiber*. *J. Am. Ceram. Soc. (USA)*, 1981, 61, p. 518-523
- [3] BOGATYRJOV, VA., BUDNOV MM., DIANOV EM., RUMYANTZEV SD., SEMJONOV Sl. *Mechanical reliability of polymer coated and hermetically coated optical fibers based on proof testing*. *Optical Engineering*, June 1991, vol. 30, no. 6, p. 690 to 699
- [4] *Power Law Theory of Optical Fibre Reliability, TIA TSB-61*, August 1994
- [5] GRIFFIOEN, W., BREULS, T., COCITO, G., DODD, S., FERRI, G., HASLOV, P., OKSANEN, L., STOCKTON, D., SVENSSON T. COST 218 evaluation of optical fibre lifetime models. SPIE Vol. 1791, *Optical Materials Reliability and Testing*, 8-9 September 1992, Boston, MA, USA
- [6] GULATI ST., HELFINSTINE, JD., GLAESEMANN, GS., ROBERTS, DR., CUELLER, E., MIDDLEMAN, LM. *Improvements in optical fiber reliability via high fatigue resistant composition*. SPIE Vol. 842, *Fiber Optics Reliability: Benign and Adverse Environments*, 1987, p. 22-31
- [7] BOGATYRJOV, VA., BUBNOV, MM., GURYANOV, AN., VECHKANOV NN., DEVYATYKH, GG., DIANOV, EM., SEMJONOV, SL. *Influence of various pH solutions on strength and dynamic fatigue of silicon-resin-coated optical fibres*. *Electr. Letters*, 11th Sept. 1986, Vol. 22, No. 18, p. 1013-1014
- [8] MATTHEWSON, MJ., KURKJIAN, CR., GULATI, ST. *Strength Measurement of optical fibers by bending*, *J. Am. Ceram. Soc.*, 69 [11], 1986, p. 815-821
- [9] LECLERCQ, JW. and BREULS, AHE. *Influence of adhesion promoters on the aging characteristics of optical fibers in water*. Submitted to SPIE int. symposium on optics, imaging, and instrumentation (fiber optic materials and components), 24-29 July 1994, San Diego
- [10] CRAIG, SP., DUNCAN, WJ., FRANCE, PW., SNODGAS, JE. *The strength and fatigue of large flaws in silica optical fibre*. *ECOC*, 1982, p. 205-208
- [11] GLAESEMANN, GS., ESTEP, MG., HELFINSTINE, JD., CARR, JJ. *Examining the mechanical behavior of intrinsic and extrinsic flaws in optical glass fiber*. *94th annual meeting of the Am. Cer. Soc.*, 4-JXVI-92, April 1992, Minneapolis
- [12] BREULS, A. and SVENSSON, T. *Strength and fatigue of zirconia induced weak spots in optical fibre*. *SPIE*, September 1993, Boston
- [13] YUCE, HH., KEY, PL., CHANDAN, HC. *Aging behavior of low strength fused silica fibres*. SPIE. Vol. 1366, *Fiber optics reliability benign and adverse environments IV*, 1990, p. 120-128
- [14] BREULS, A. A COST 218 comparison of n-values obtained with different techniques. *Proceedings of OFMC'93*, 1993, Torino, p. 9-12
- [15] GULATI, S. *Reliability considerations for long length optical fibres*. *4th IWCS*, 1992, p. 612-621

- [16] GRIFFIOEN, W. *Effects influencing measurements of optical fibre corrosion susceptibility*. Proceedings of OFMC'93, 1993, Torino, p. 13-16
 - [17] KURKJIAN, C. *et al. Current issues in mechanical reliability of optical fibres*. 41th IWCS, 1992, p. 599-604
 - [18] IEC TR 62048:2014, *Fibres optiques – Fiabilité – Théorie de la loi de puissance*
 - [19] Overton B., Kuyt G., Filip T. *Two-Point Bending Dynamic Fatigue Testing for the Stress Corrosion Factor*. Proceedings of the 63rd IWCS Conference, 2014, p. 55-59
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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