

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Optical fibres –

Part 1-31: Measurement methods and test procedures – Tensile strength

Fibres optiques –

Partie 1-31: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Résistance à la traction



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

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

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

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

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

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

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

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

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

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Optical fibres –

Part 1-31: Measurement methods and test procedures – Tensile strength

Fibres optiques –

Partie 1-31: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Résistance à la traction

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

S

ICS 33.180.10

ISBN 978-2-88912-562-3

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Apparatus.....	7
3.1 General.....	7
3.2 Gripping the fibre at both ends	8
3.3 Sample support	8
3.4 Stretching the fibre.....	8
3.5 Measuring the force at failure	9
3.6 Environmental control equipment	9
4 Sample preparation	9
4.1 Definition.....	9
4.2 Sample size and gauge length.....	9
4.3 Auxiliary measurements	10
4.4 Environment.....	11
5 Procedure	11
5.1 Preliminary steps.....	11
5.2 Procedure for a single specimen.....	11
5.3 Procedure for completing all samples for a given nominal strain rate.....	11
6 Calculations	12
6.1 Conversion of tensile load to failure stress.....	12
6.2 Preparation of a Weibull plot.....	13
6.3 Computation of Weibull parameters.....	13
7 Results.....	14
7.1 The following information should be reported for each test:	14
7.2 The following information should be provided for each test:.....	14
8 Specification information	14
Annex A (informative) Typical dynamic testing apparatus.....	15
Annex B (informative) Guideline on gripping the fibre.....	17
Annex C (informative) Guideline on stress rate	21
Bibliography.....	22
Figure 1 – Bimodal tensile strength Weibull plot for a 20 m gauge length test set-up at 5 %/min strain rate.....	10
Figure A.1 – Capstan design.....	15
Figure A.2 – Translation test apparatus	15
Figure A.3 – Rotating capstan apparatus	16
Figure A.4 – Rotating capstan apparatus for long lengths	16
Figure B.1 – Gradual slippage	17
Figure B.2 – Irregular slippage.....	17
Figure B.3 – Sawtooth slippage	18
Figure B.4 – Acceptable transfer function	18
Figure B.5 – Typical capstan.....	19

Figure B.6 – Isostatic compression	19
Figure B.7 – Escargot wrap	20
Figure C.1 – System to control stress rate	21
Figure C.2 – Time variation of load and loading speed	21

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2010

Withdrawing

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

OPTICAL FIBRES –

**Part 1-31: Measurement methods and test procedures –
Tensile strength**

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 60793-1-31 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. This edition constitutes a technical revision.

The main change with respect to the previous edition is the addition of comprehensive details, such as examples of fibre clamping as given in Annexes A, B and C.

This bilingual version, published in 2011-07, corresponds to the English version.

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

CDV	Report on voting
86A/1285/CDV	86A/1308/RVC

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

The French version of this standard has not been voted upon.

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

A list of all parts of the IEC 60793-1 series, published under the general title *Optical fibres – Measurement methods and test procedures*, can be found on the IEC website.

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

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

INTRODUCTION

Failure stress distributions can be used to predict fibre reliability in different conditions. IEC/TR 62048 shows mathematically how this can be done. To complete a given reliability projection, the tests used to characterize a distribution shall be controlled for the following:

- Population of fibre, e.g., coating, manufacturing period, diameter
- Gauge length, i.e., length of section that is tested
- Stress or strain rates
- Testing environment
- Preconditioning or aging treatments
- Sample size

This method measures the strength of optical fibre at a specified constant strain rate. It is a destructive test, and is not a substitute for prooftesting.

This method is used for those *typical* optical fibres for which the median fracture stress is greater than 3,1 GPa (450 kpsi) in 0,5 m gauge lengths at the highest specified strain rate of 25 %/min. For fibres with lower median fracture stress, the conditions herein have not demonstrated sufficient precision.

Typical testing is conducted on “short lengths”, up to 1 m, or on “long lengths”, from 10 m to 20 m with sample size ranging from 15 to 30.

The test environment and any preconditioning or aging is critical to the outcome of this test. There is no agreed upon model for extrapolating the results for one environment to another environment. For failure stress at a given stress or strain rate, however, as the relative humidity increases, failure stress decreases. Both increases and decreases in the measured strength distribution parameters have been observed as the result of preconditioning at elevated temperature and humidity for even a day or two.

This test is based on the theory of fracture mechanics of brittle materials and on the power-law description of flaw growth (see IEC/TR 62048). Although other theories have been described elsewhere, the fracture mechanics/power-law theory is the most generally accepted.

A typical population consists of fibre that has not been deliberately damaged or environmentally aged. A typical fibre has a nominal diameter of 125 μm , with a 250 μm or less nominal diameter acrylate coating. Default conditions are given for such typical populations. Atypical populations might include alternative coatings, environmentally aged fibre, or deliberately damaged or abraded fibre. Guidance for atypical populations is also provided.

OPTICAL FIBRES –

Part 1-31: Measurement methods and test procedures – Tensile strength

1 Scope

This part of IEC 60793 provides values of the tensile strength of optical fibre samples and establishes uniform requirements for the mechanical characteristic – tensile strength. The method tests individual lengths of uncabled and unbundled glass optical fibre. Sections of fibre are broken with controlled increasing stress or strain that is uniform over the entire fibre length and cross-section. The stress or strain is increased at a nominally constant rate until breakage occurs.

The distribution of the tensile strength values of a given fibre strongly depends on the sample length, loading velocity and environmental conditions. The test can be used for inspection where statistical data on fibre strength is required. Results are reported by means of statistical quality control distribution. Normally the test is carried out after temperature and humidity conditioning of the sample. However, in some cases, it may be sufficient to measure the values at ambient temperature and humidity conditions.

This method is applicable to types A1, A2, A3, B and C optical fibres.

Warning – This test involves stretching sections of optical fibre until breakage occurs. Upon breakage, glass fragments can be distributed in the test area. Protective screens are recommended. Safety glasses should be worn at all times in the testing area.

2 Normative references

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

IEC 60793-1-20, *Optical fibres – Part 1-20: Measurement methods and test procedures – Fibre geometry*

IEC 60793-1-21, *Optical fibres – Part 1-21: Measurement methods and test procedures – Coating geometry*

3 Apparatus

3.1 General

This clause prescribes the fundamental requirements of the equipment used for dynamic strength testing. There are many configurations that can meet these requirements. Some examples are presented in Annex A. The choice of a specific configuration will depend on such factors as:

- gauge length of a specimen
- stress or strain rate range
- environmental conditions
- strength of the specimens.

3.2 Gripping the fibre at both ends

Grip the fibre to be tested at both ends and stretch it until failure occurs in the gauge length section. The grip shall not allow the fibre to slip out prior to failure and shall minimize failure at the grip.

Record a break that occurs at the grip, but do not use it in subsequent calculations. Since fibre strain is increasing during the test, some slippage occurs at the grip. At higher stress levels, associated with short gauge lengths, slippage can induce damage and cause gripping failures that are difficult to ascertain. The frequency of such failures can often vary with stress or strain rate. Careful inspection of the residual fibre pieces, or other means, is required to prevent the possibility of including gripping failures in the analysis.

Use a capstan, typically covered with an elastomeric sheath, to grip the fibre (see Figure A.1). Wrap a section of fibre that will not be tested around the capstan several times and secure the fibre at the ends with, for example, an elastic band. Wrap the fibre with no crossovers. The capstan surface shall be tough enough so that the fibre does not cut into it when fully loaded. The amount of slippage and capstan failures depends on the interaction of the fibre coating and the capstan surface material, thickness, and number of wraps. Careful preliminary testing is required to confirm the choice of a capstan surface.

Design the diameter of the capstan and pulley so that the fibre does not break on the capstan due to bend stress. For typical silica-clad fibres, the bend stresses shall not exceed 0,175 GPa. (For typical 125/250 μm silica fibre, the minimum capstan diameter is then 50 mm.) A particular gripping implementation is given in Annex B.

3.3 Sample support

Attach the specimen to the two grips. The gauge length is the length of fibre between the axes of the gripping capstans before it is stretched. To reduce the space required to perform the test on long gauge lengths, one or more pulleys may be used to support the specimen (see Figure A.4). The pulleys shall be designed, and their surfaces kept free of debris, so the fibre is not damaged by them. The remainder of the fibre, away from pulleys and capstans, shall not be touched.

When multiple fibres are tested simultaneously, as in Figure A.5, a baffle arrangement is required to prevent a broken fibre from snapping into, or otherwise perturbing the other fibres under test.

3.4 Stretching the fibre

Stretch the fibre at a fixed nominal strain rate until it breaks. The nominal strain rate is expressed as the percent increase in length per minute, relative to the gauge length.

There are two basic alternatives for stretching the fibre:

- Method A: Increase the separation between the gripping capstans by moving them apart at a fixed rate of speed, with the starting separation equal to the gauge length (Figure A.2 of Annex A).
- Method B: Rotate a capstan at a fixed rate to take up the fibre and strain the section between capstans (Figures A.3 to A.5 of Annex A). The rotation shall not result in crossovers on the capstan.

Calibrate the strain rate to within $\pm 10\%$ of the nominal strain rate. Some equipment configurations are computer-controlled and allow dynamic control of the capstan motion to produce a constant stress rate. A particular implementation of this is given in Annex C.

The strain rate shall be agreed between customer and supplier. A strain rate range of either 2,5 % to 5 % or 15 % to 25 % is typically used.

3.5 Measuring the force at failure

Measure the tensile load (force in tension) at failure for each specimen by a calibrated load cell, to within ± 1 % of the actual load. This can be done with a variety of methods:

- strip chart recorder
- peak and hold meter
- computer sampling.

Provide a means of measuring the tensile load as a function of time to determine the stress rate. This is not required for each individual test, but shall be done occasionally.

Calibrate the load cell to within 0,5 % of the failure, or maximum load, for each range of failure loads, while it is oriented in the same manner as when testing a fibre. Do this by substituting a string attached to a known weight for the test specimen. For method B, a light, low-friction pulley can be used in place of the capstan that is not attached to the load cell. The string, with one end attached to the load cell capstan and the other end attached to a known weight, shall duplicate the direction of a test specimen and be of a diameter comparable to that of a test specimen. A minimum of three calibration weights, bracketing the typical failures, is recommended.

3.6 Environmental control equipment

Measured failure stress and fatigue characteristics are known to vary with temperature and humidity of the fibre, both of which shall be controlled during both preconditioning and test. Many equipment configurations might be used to provide the required controls, including controls on the entire room in which testing is conducted.

Typical control requirements are:

- Temperature: 23 ± 2 °C.
- Relative Humidity: 50 ± 5 %.

Alternative test environments, such as high non-precipitating humidity, can be achieved by enclosing the test specimen and injecting water vapour into the enclosure. Figure A.5 shows a ganged tester that includes an enclosure over a circulating water bath.

4 Sample preparation

4.1 Definition

A sample is one or more fibres from a population. Each sample provides a result by cutting it into smaller lengths called specimens. Testing results on these specimens are combined to yield an overall result for the sample. The term “sample size” is used to indicate the number of specimens tested in the rest of this standard.

For ribbonized fibre, select the specimens uniformly across the ribbon structure. Exercise caution in removing fibre from the ribbon to avoid inadvertent strength reduction.

4.2 Sample size and gauge length

The result of testing is a statistical distribution of failure stress values. Hence all reported parameters are statistical in nature, with inherent variability that is a function of the sample size and the variability of flaw size within the sample. The weakest site, or largest flaw, within a specimen will fail, and the typical failure stress decreases as gauge length increases.

A given population can have flaws generated from multiple causes. An example is a bi-modal aggregate distribution as shown in the Weibull plot of Figure 1 (see also 6.2) obtained for a 20 m gauge length set-up. The narrow near vertical distribution on the right (around 5 GPa) is called the intrinsic region; the wider distribution below this 5 GPa is the extrinsic region.

Testing on gauge lengths of 0,5 m does not typically result in measuring flaws from the extrinsic region. From time to time, however, the failure stress of an extrinsic flaw is measured and appears as an "outlier". If the outlier is included in the data analysis, errors in the parameters will occur. For typical testing, uniform outlier removal techniques are recommended.

For tests which are designed to measure characteristics of the extrinsic region, large sample sizes (hundreds of specimens) and long gauge lengths (20 m) are recommended. For characterization of the intrinsic region as per this standard, a gauge length of 0,5 m is often used. For the dynamic strength, a sample size of 30 is often used. Any deviation from these values is to be specified in the detail specification.

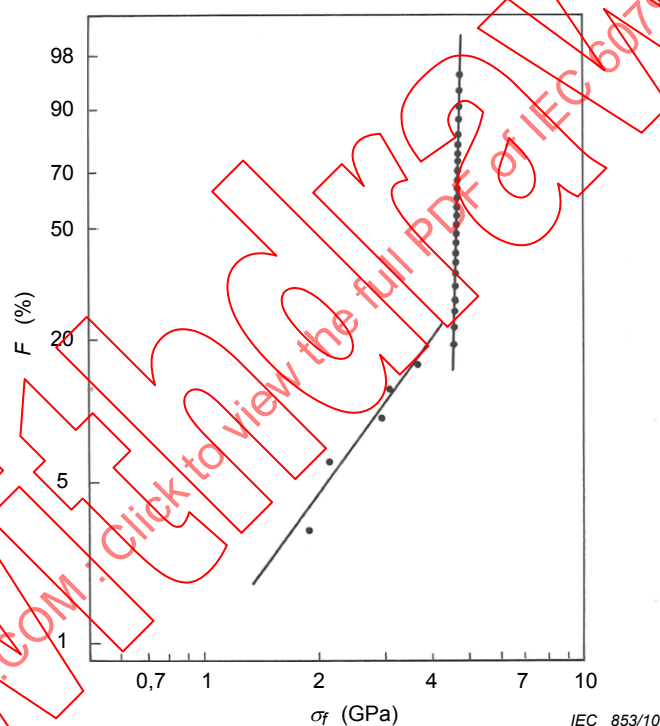


Figure 1 – Bimodal tensile strength Weibull plot for a 20 m gauge length test set-up at 5 %/min strain rate

Statistical analysis can be performed to determine whether a given precision has been achieved.

4.3 Auxiliary measurements

Failure stress calculations require a conversion of tensile load to the stress on the cross-section of the glass portion of the fibre. The cladding diameter, as measured by IEC 60793-1-20, is used in this calculation to compute the cross-sectional area. The coating also bears part of the tensile load that decreases the stress on the glass cross-section. Subclause 6.1 contains formulas for stress calculations.

The coating correction factor is a function of the coating thickness, measured by IEC 60793-1-21 and Young's Modulus of each coating layer and the modulus of the glass.

The modulus of cured coating is often characterized by the manufacturer. For typical fibre, the contribution of coating effects is less than 5 % of total load, and compensation (hence measurement) for coating is not required (see 6.1). When this is done, the reported failure stress is larger than actual by a fixed percentage. When coating effects are compensated, average or nominal values may be used for all specimens. The contribution of coating modulus to failure stress can change with the stress or strain rate. If the contribution at any stress or strain rate is greater than 5 % of the total load, then the coating effect shall be included in the computation.

4.4 Environment

There are two key environmental considerations: aging environment and test environment.

Fibre aging is sometimes required. Even brief accelerated aging may produce increases or decreases in the measured strength of some fibres. The causes of these phenomena are not well understood. As a consequence, extrapolation methodologies from accelerated aging environments to other environments are under study.

After extensive aging, the coating surface friction may be altered. After any aging and before any testing, fibre specimens should be pre-conditioned in the test environment for at least 12 h.

The typical test environment is 23 °C ($\pm 2^\circ$) and 50 % RH (± 5 %). Alternative environments, such as high non-precipitating relative humidity, can yield significantly different failure stress values.

5 Procedure

5.1 Preliminary steps

- a) Age the specimens if required.
- b) Precondition the specimens.

5.2 Procedure for a single specimen

- a) Mount the specimen in the capstans, making sure the fibre does not cross over itself or become damaged in the gauge length by mounting.
- b) Verify equipment settings for the desired nominal strain rate.
- c) Re-set the tension recording display.
- d) Begin capstan motion. For nominal strain rates of 0,03 %/min or less, the specimen may be pre-loaded at 0,3 %/min to about half of the expected failure stress at the slower rate. The expected failure stress may be projected from results at higher strain rates. When testing damaged fibre, pre-loading is not recommended unless the expected time to failure is in excess of 4 h.
- e) At failure, stop the capstan and record the failure load and, if necessary, the stress rate.
- f) Verify that the break did not occur on the capstan. If it did, mark the measurement so it will not be used in calculations.
- g) Remove the residual fibre from the capstans and complete any auxiliary measurements, if necessary, as in 4.3.

5.3 Procedure for completing all samples for a given nominal strain rate

- a) Record the nominal strain rate and any population identifications.
- b) Determine if coating effects will be compensated. If so, record the appropriate coating parameters (see 6.1). Record the nominal cladding diameter if the nominal is used to compute stress.
- c) Complete 5.2 for each specimen.

- d) Using 6.1, compute the failure stress for each specimen, and sort in increasing order.
- e) Complete the Weibull plot (see Figure 1), if required, using 6.2. If required, compute the Weibull parameters, m_g and S_0 using 6.3.
- f) If required for handleability requirements, compute the median failure stress σ_{50} and the 15-percentile failure stress σ_{15} according to 6.2.

6 Calculations

6.1 Conversion of tensile load to failure stress

The following symbols and units are used:

- fibre dimensions μm
- gauge length m
- stress σ and failure stress σ_f GPa
- tension T and failure tension T_f N
- stress rate $\dot{\sigma}$ GPa/s

Method A:

When the load is substantially aligned with the tension, T , and D_g is the cladding diameter, Equation (1) provides the stress without compensating for the coating:

$$\sigma = \frac{4 \times 10^3 T}{\pi D_g^2} \text{ in GPa} . \quad (1)$$

Method B:

When coating is compensated, the following equations are used. Calculate the fraction

$$R = \frac{E_0 A_0}{E_0 A_0 + \sum_{j=1}^N E_j A_j} , \quad (2a)$$

where

E_0 is Young's modulus of the glass, typically 70,3 GPa for silica;

A_0 is the cross-sectional area of the glass fibre;

For N coating layers indexed with j , E_j and A_j are the Young's modulus and layer cross-sectional area, for each layer, respectively.

The coating compensated stress is given by

$$\sigma_c = \sigma R . \quad (2b)$$

6.2 Preparation of a Weibull plot

Figure 1 shows a typical Weibull plot, where the line drawn through the data represents an ideal Weibull distribution. While Weibull plots are typically used to display the data for a given nominal strain rate, the actual distribution may not be Weibull.

- Sort the failure stress values in order of increasing value.
- Let k represent the rank of a given failure stress, e.g., $k = 1, 2, 3, \dots, N$, and σ_{fk} be the k th failure stress.
- Let

$$x_k = \ln \sigma_{fk} \quad (3a)$$

and

$$y_k = \ln \left[1 - \frac{k - 0,5}{N} \right] \quad (3b)$$

- Plot y_k versus x_k . Label the axes with the associated probability levels and failure stress values.

NOTE The median failure stress σ_{50} and the 15-percentile failure stress σ_{15} are calculated if required.

If $0,5 N + 0,5$ is an integer, $\sigma_{50} = \sigma_{0,5N+0,5}$. Otherwise, σ_{50} is determined by an appropriate interpolation between $\sigma_{0,5N}$ and $\sigma_{0,5N+1}$.

If $0,15 N + 0,5$ is an integer, $\sigma_{15} = \sigma_{0,15N+0,5}$. Otherwise, σ_{15} is determined by an appropriate interpolation between $\sigma_{[0,15N+0,5]}$ and $\sigma_{[0,15N+0,5]+1}$, where square brackets stand for greatest integer function.

6.3 Computation of Weibull parameters

The Weibull distribution cumulative frequency function is given by:

$$F = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\sigma}{S_0} \right)^{m_d} \right] \quad (4a)$$

where F corresponds with $\frac{k-0,5}{N}$ of Equation (3b). Consequently,

$$\ln(-y_k) = m_d \ln \left(\frac{\sigma_{fk}}{S_0} \right) \quad (4b)$$

Method A – Simple Rank Method

For the sample sizes that are typically used (see 4.1), the following method can be used. Determine the values

$$\begin{aligned} k_1 &= 0,15 N + 0,5 \\ k_2 &= 0,85 N + 0,5 \\ k_3 &= 0,5 N + 0,5 \end{aligned} \quad (5)$$

Compute

$$m_d = \frac{y_{k2} - y_{k1}}{x_{k2} - x_{k1}} \quad (6a)$$

and

$$S_0 = \exp \left[\frac{0,366512}{m_d} + x_{k3} \right] \quad (6b)$$

Method B – Maximum Likelihood Estimation (MLE) method

The log of the likelihood function is

$$\ln[L(m_d, S_0)] = N \ln(m_d) - N m_d \ln(S_0) + (m_d - 1) \sum_{k=1}^N \ln(\sigma_{fk}) - S_0^{-m_d} \sum_{k=1}^N \sigma_{fk}^{m_d} \quad (7)$$

Select m_d and S_0 to maximize Equation (7). For a given value of m_d , the optimal value for S_0 is

$$S_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sigma_{fk}^{m_d} \quad (8)$$

The optimum value for m_d is determined by an iterative method.

7 Results

7.1 The following information should be reported for each test:

- fibre identification;
- date and title;
- strength values - report the strain value under which the fibre breaks as the strength of fibre (Weibull plot and if applicable, Weibull parameter m_d and S_0).

7.2 The following information should be provided for each test:

- length of sample;
- pulling speed (strain rate);
- type of clamping fixtures;
- relative humidity and ambient temperature;
- any special conditioning.

8 Specification information

The detail specification shall specify the following information:

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

Annex A (informative)

Typical dynamic testing apparatus

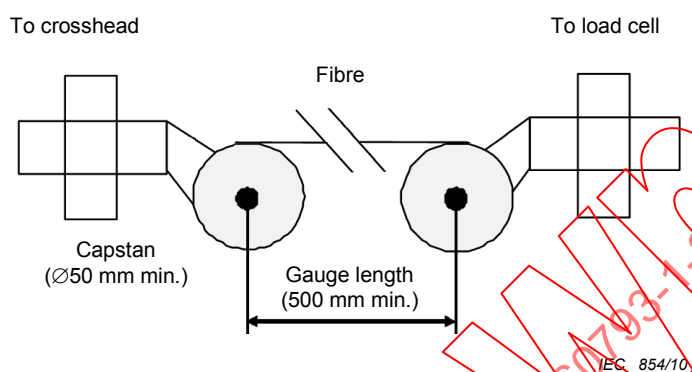
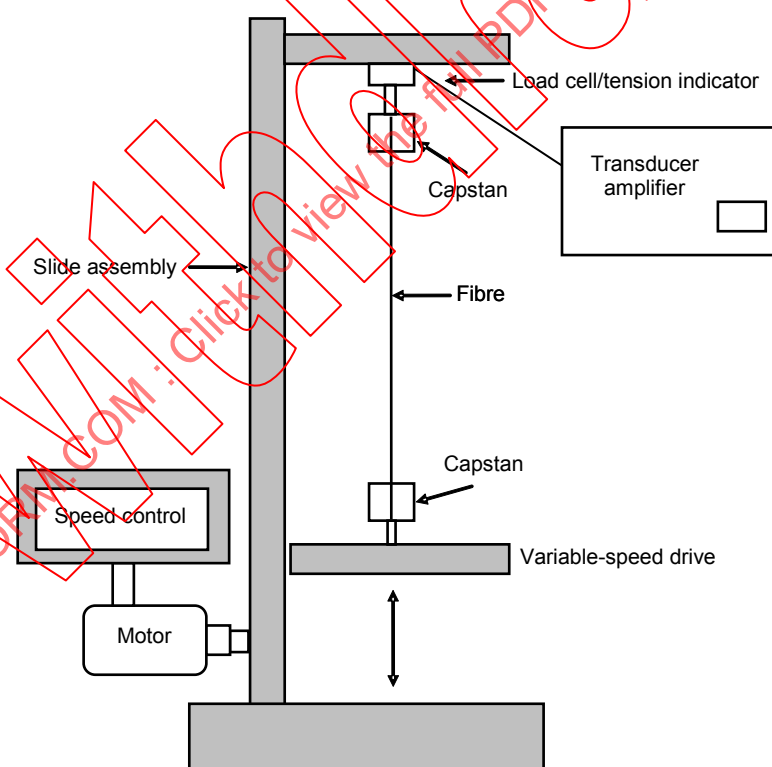


Figure A.1 – Capstan design



IEC 855/10

Figure A.2 – Translation test apparatus

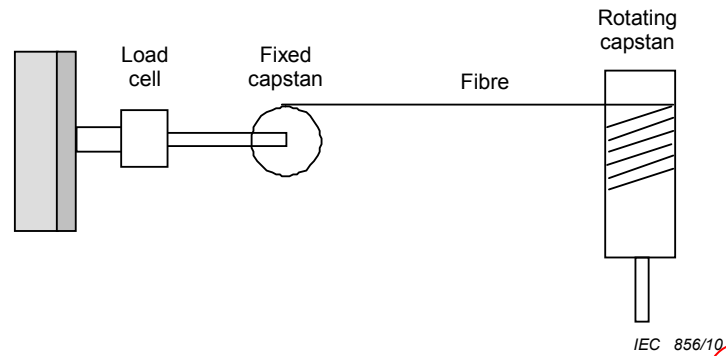


Figure A.3 – Rotating capstan apparatus

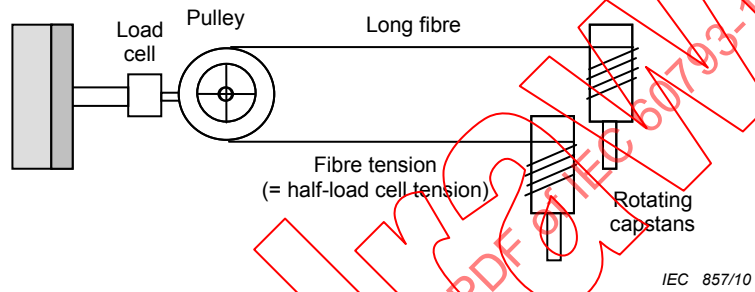


Figure A.4 – Rotating capstan apparatus for long lengths

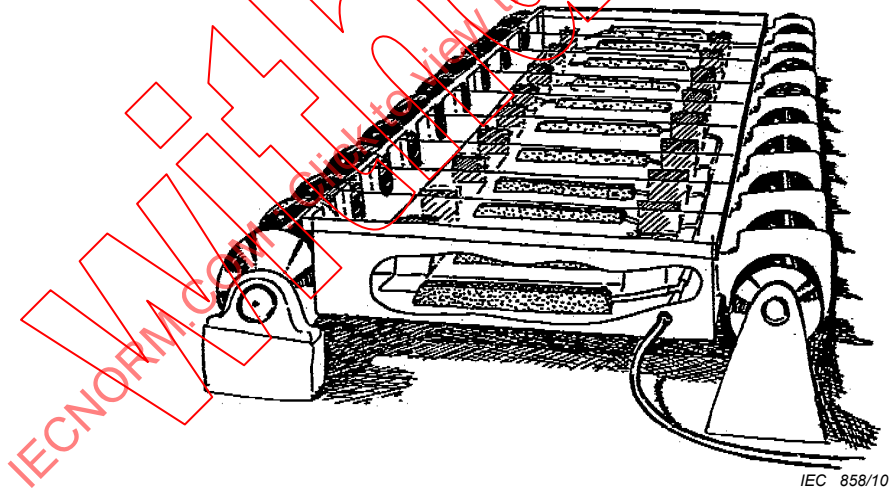


Figure A.5 – Ganged rotating capstan tester

Annex B (informative)

Guideline on gripping the fibre

The uniform transfer of force from the capstan to the glass fibre is essential for obtaining good measurements of failure stress. Both the coating and the stress rate can alter this transfer function, depending on the capstan surface and mechanical characteristics. The quality of the transfer function can be assessed by inspecting the plot of measured force (stress) versus applied strain (time under increasing load). Figures B.1 to B.3 show results that are not acceptable. Figure B.4 shows a result that is acceptable.

NOTE Time and force (stress) scales are not indicated since these figures are only qualitative illustrations.

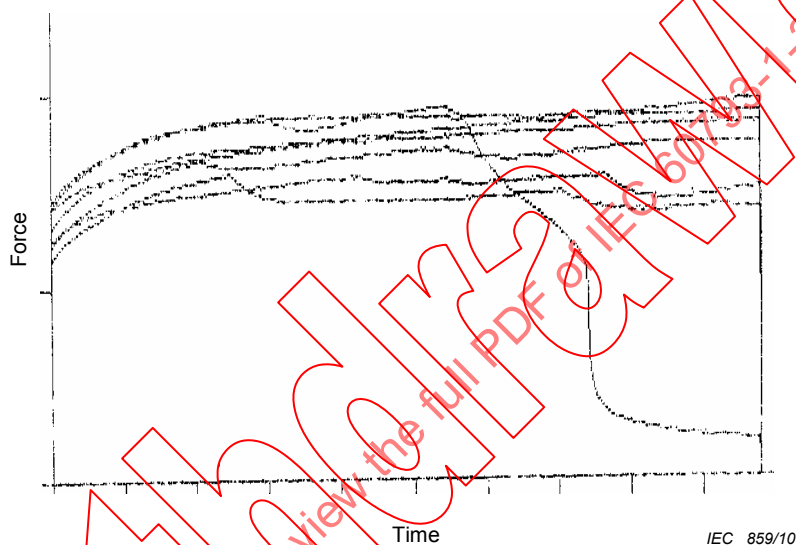


Figure B.1 – Gradual slippage

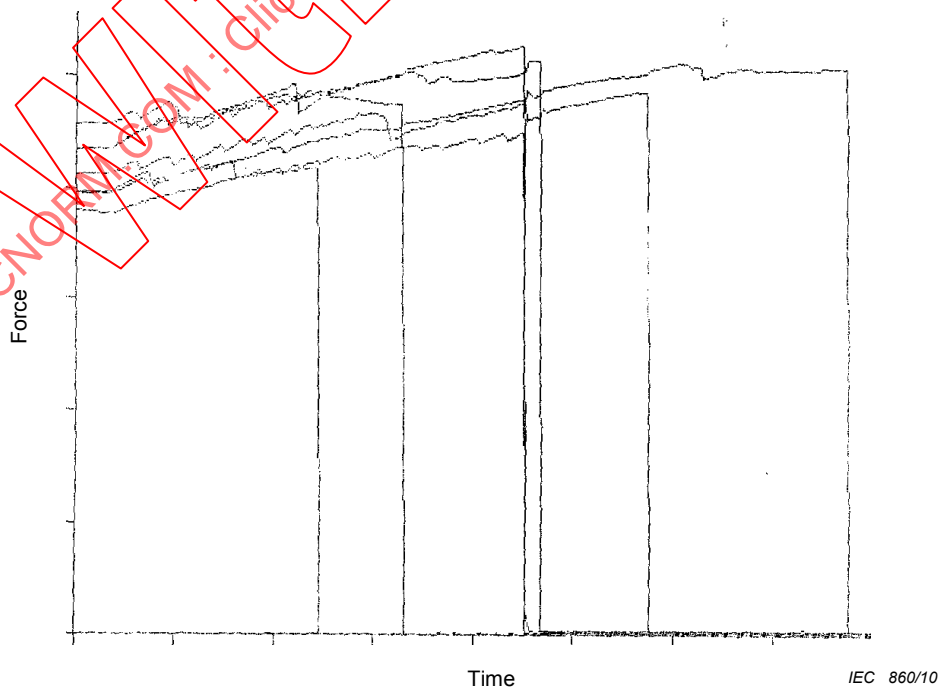


Figure B.2 – Irregular slippage

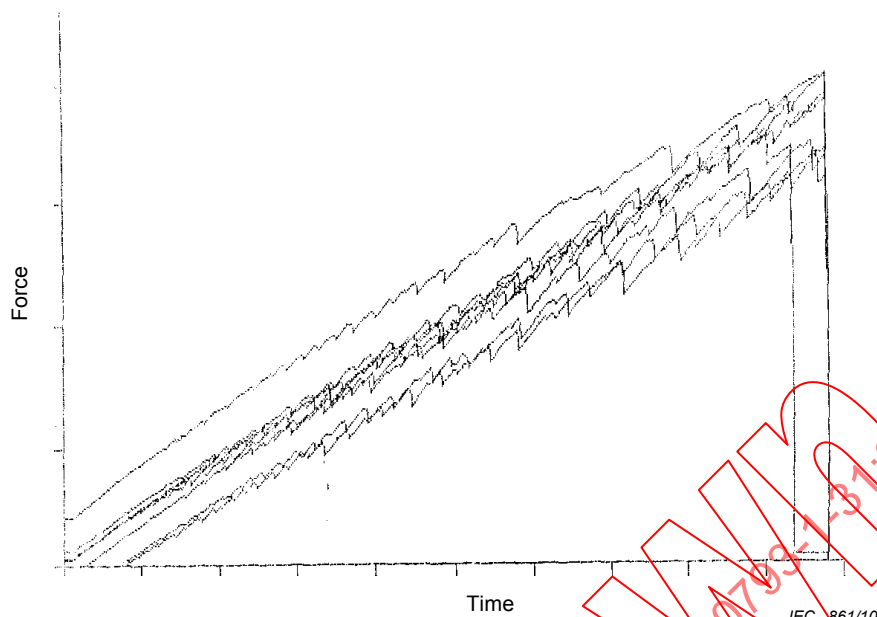


Figure B.3 – Sawtooth slippage

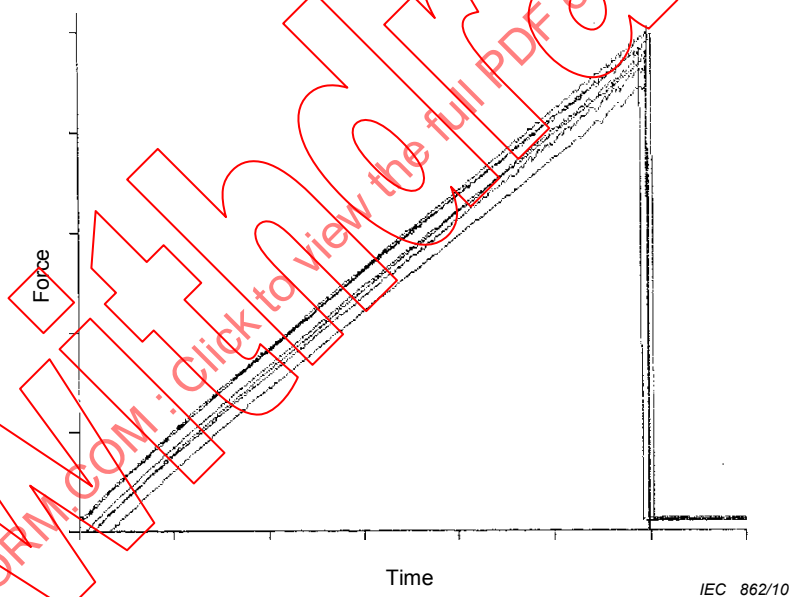
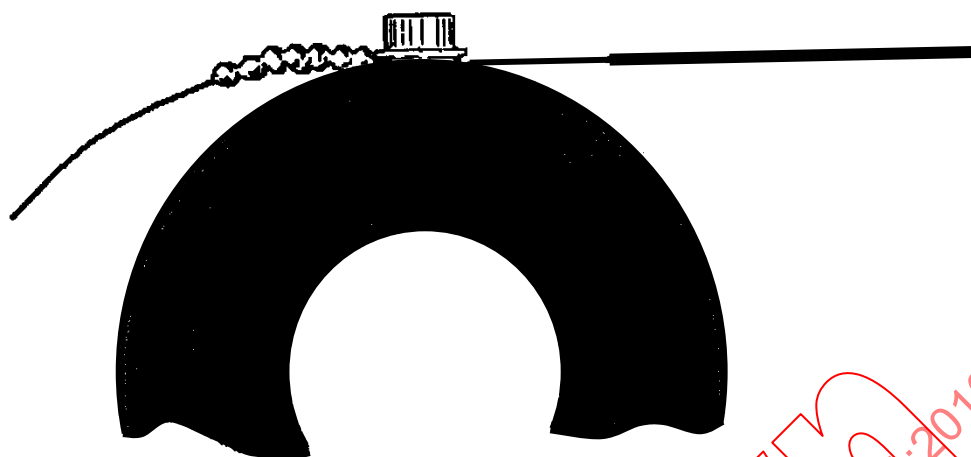


Figure B.4 – Acceptable transfer function

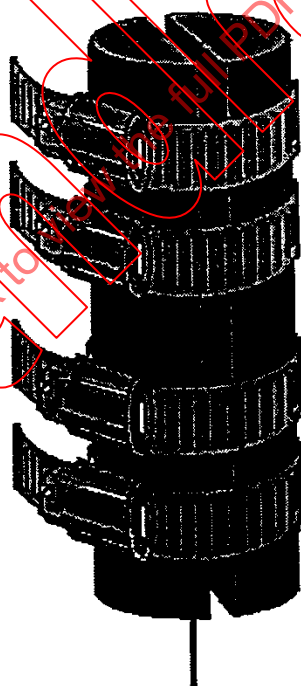
These results are affected by the surface of the capstan, the capstan diameter, number of wraps around the capstan, and the clamping mechanism. For some coatings, the typical capstan shown in Figure B.5, does not provide acceptable results. Alternative capstan surfaces, such as silicone, can improve the results, but subtle batch changes can lead to results shown in Figure B.1.



IEC 863/10

Figure B.5 – Typical capstan

Other methods have been tried. Figures B.6 and B.7 show two approaches that were found to yield better results, but which did not provide uniformly acceptable force rate plots and low incidence of gripping failures.



IEC 864/10

Figure B.6 – Isostatic compression

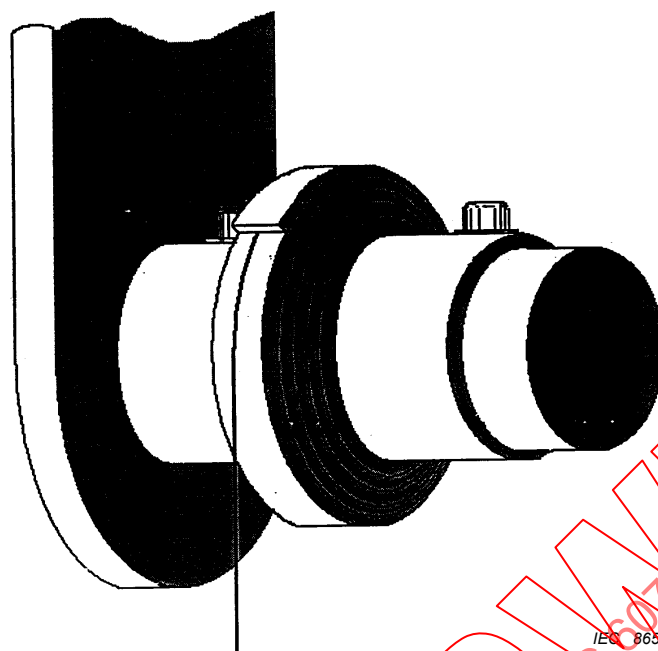


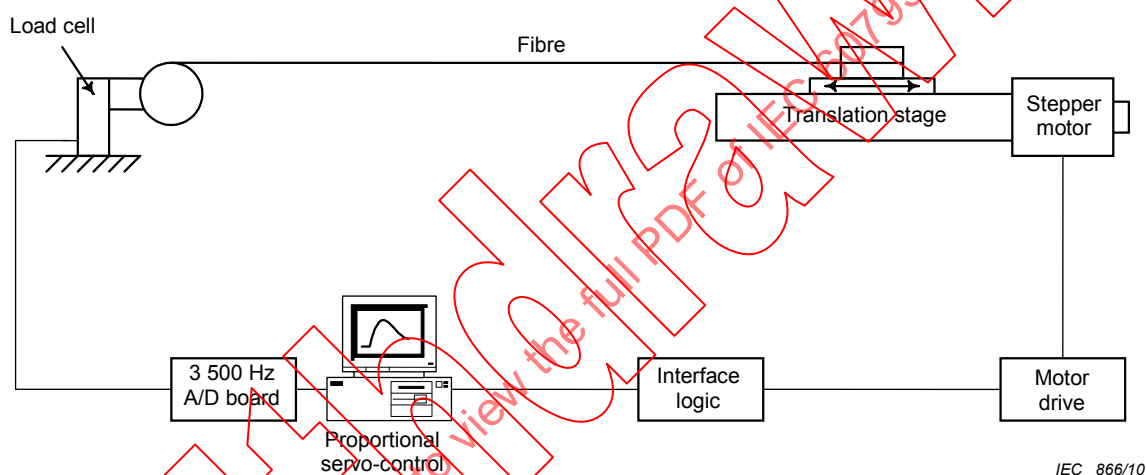
Figure B.7 – Escargot wrap

Annex C (informative)

Guideline on stress rate

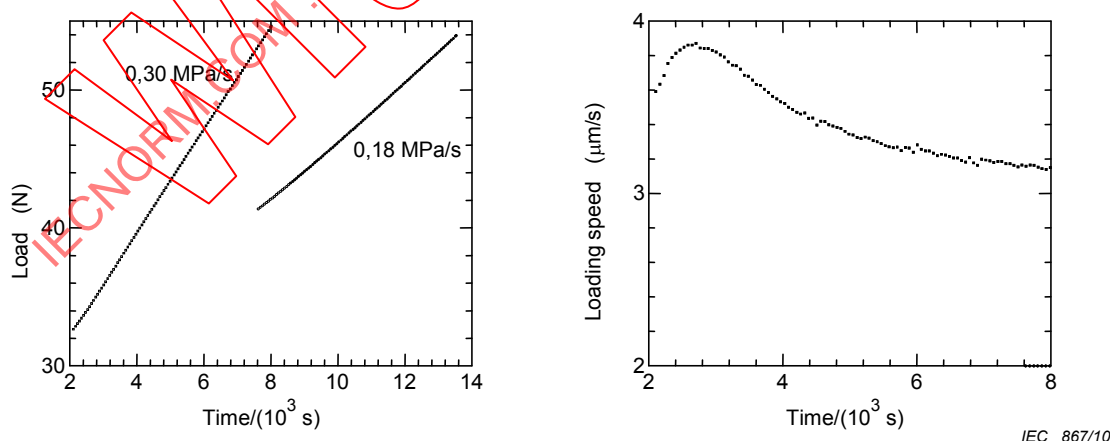
Fibre slippage or loading system compliance can be compensated for by using a servo control system similar to the one shown in Figure C.1. The fibre is attached at one end to a capstan mounted on a translation stage. The stage is moved by a computer-controlled stepper motor. The load applied to the fibre is monitored by the computer using an A/D data acquisition system. The computer software can then continuously modify the stepper motor speed to maintain the prescribed loading rate.

A double-sided adhesive foam tape is recommended for covering the capstans. Any slippage of the fibre then tends to be steady due to the viscous nature of the adhesion. Non-adhesive friction tape can lead to stick-slip conditions, and it is then difficult for the computer software to compensate for the abrupt changes in load that occur.



IEC 866/10

Figure C.1 – System to control stress rate



IEC 867/10

Figure C.2 – Time variation of load and loading speed

The Figure C.2 shows a comparison of the load profile and translation stage speed for experiments run at a constant speed of 2 mm/s and at a servoed constant stress loading rate of 0,3 MPa/s. That speed corresponds to a nominal stress rate of 0,29 MPa/s, yet the measured stress rate is only 0,18 MPa/s. In contrast, the servo-controlled result is a loading stress rate very close to the prescribed value. To achieve this, the loading speed was continuously varied as shown in the right hand figure.

Bibliography

IEC 61649, *Weibull analysis*

IEC/TR 62048, *Optical fibres – Reliability – Power law theory*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2010

Withdrawing

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2010

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	26
INTRODUCTION	28
1 Domaine d'application	29
2 Références normatives	29
3 Appareillage	29
3.1 Généralités	29
3.2 Accrochage de la fibre aux deux extrémités	30
3.3 Support d'échantillon	30
3.4 Tension de la fibre	30
3.5 Mesure de la force au moment de la défaillance	31
3.6 Appareillage de contrôle de l'environnement	31
4 Préparation des échantillons	32
4.1 Définition	32
4.2 Effectif de l'échantillon et longueur à l'essai	32
4.3 Mesures auxiliaires	33
4.4 Environnement	33
5 Procédure	34
5.1 Étapes préliminaires	34
5.2 Procédure pour un spécimen unique	34
5.3 Procédure pour traiter tous les échantillons pour une vitesse d'application de la contrainte nominale donnée	34
6 Calculs	35
6.1 Conversion de la charge de traction en contrainte de défaillance	35
6.2 Préparation d'un tracé de Weibull	35
6.3 Calcul des paramètres de Weibull	36
7 Résultats	37
7.1 Il convient que les informations suivantes soient fournies à chaque essai:	37
7.2 Il convient que les informations suivantes soient fournies à chaque essai:	37
8 Informations à mentionner dans la spécification	37
Annexe A (informative) Appareil type d'essai dynamique	38
Annexe B (informative) Lignes directrices relatives à l'accrochage de la fibre	40
Annexe C (informative) Lignes directrices relatives à la vitesse d'application de la contrainte	44
Bibliographie	46

Figure 1 – Tracé de Weibull de résistance à la traction bimodale pour un montage d'essai de longueur à l'essai de 20 m avec vitesse d'application de contrainte de 5 %/min	33
Figure A.1 – Conception du cabestan	38
Figure A.2 – Dispositif d'essai de translation	38
Figure A.3 – Dispositif à cabestan rotatif	39
Figure A.4 – Dispositif à cabestan rotatif pour les grandes longueurs	39
Figure B.1 – Glissement progressif	40
Figure B.2 – Glissement irrégulier	40
Figure B.3 – Glissement en dent de scie	41

Figure B.4 – Fonction de transfert acceptable	41
Figure B.5 – Cabestan type	42
Figure B.6 – Compression isostatique	42
Figure B.7 – Enroulement en escargot	43
Figure C.1 – Système de contrôle de la vitesse d'application de la contrainte	44
Figure C.2 – Variation en fonction du temps et de la vitesse d'application de la charge	44

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2010

Withdrawing

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1-31: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Résistance à la traction

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications, la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI 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 CEI 60793-1-31 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de la CEI: Fibres optiques.

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

La principale modification par rapport à l'édition précédente est l'addition de détails exhaustifs, tels que des exemples d'accrochage de fibres, indiqués dans les Annexes A, B et C.

La présente version bilingue, publiée en 2011-07, correspond à la version anglaise.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 86A/1285/CDV et 86A/1308/RVC.

Le rapport de vote 86A/1308/RVC donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 60793-1, présentées sous le titre général *Fibres optiques – Méthodes de mesure et procédures d'essai*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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

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

INTRODUCTION

On peut utiliser les répartitions des contraintes créant des défauts pour prédire la fiabilité des fibres dans différentes conditions. La CEI/TR 62048 présente mathématiquement la façon de procéder. Pour réaliser une projection de fiabilité donnée, on doit contrôler les points suivants lors des essais utilisés pour caractériser une répartition:

- population de fibres, par exemple, revêtement, période de fabrication, diamètre
- longueur à l'essai, c'est-à-dire à longueur de la section soumise à essai
- vitesses de contrainte ou de déformation
- environnement d'essai
- traitements de préconditionnement ou de vieillissement
- effectif de l'échantillon

Cette méthode mesure la résistance d'une fibre optique lors de l'application d'une contrainte à une vitesse constante donnée. Cet essai est destructif et il ne remplace pas un essai de sélection.

Cette méthode est utilisée pour les fibres optiques types pour lesquelles la contrainte de fracture médiane est supérieure à 3,1 GPa (450 kpsi) pour des longueurs à l'essai de 0,5 m, à une vitesse d'application de contrainte maximale spécifiée de 25 %/min. Dans le cas de fibres ayant une contrainte de fracture médiane inférieure, ces conditions n'ont pas démontré une précision suffisante.

Un essai type est effectué sur de « courtes longueurs » allant jusqu'à 1 m ou sur de « grandes longueurs » allant de 10 m à 20 m, l'effectif de l'échantillon allant de 15 à 30.

L'environnement d'essai et tout préconditionnement ou vieillissement sont critiques pour le résultat de cet essai. Aucun accord n'existe sur le modèle permettant d'extrapoler les résultats d'un environnement à un autre environnement. Toutefois, concernant la contrainte entraînant une défaillance à vitesse d'application de contrainte ou d'effort donnée, lorsque l'humidité relative augmente, la contrainte créant des défauts diminue. On a observé à la fois une augmentation et une diminution des paramètres de répartition de force mesurés à la suite du préconditionnement à température et humidité élevées, même pendant une journée ou deux.

Cet essai est basé sur la théorie de la mécanique de fracture des matériaux fragiles et sur la description de la loi de puissance de la croissance des défauts (voir CEI/TR 62048). Bien que d'autres théories aient été décrites par ailleurs, la théorie mécanique de fracture/loi de puissance est celle qui est le plus généralement acceptée.

Une population type est constituée d'une fibre n'ayant pas été volontairement endommagée ou vieillie par l'environnement. Une fibre type a un diamètre nominal de 125 µm, avec un revêtement en acrylate d'un diamètre nominal maximum de 250 µm. Des conditions par défaut sont fournies pour de telles populations types. Des populations atypiques peuvent inclure d'autres revêtements, une fibre vieillie par l'environnement ou une fibre volontairement endommagée ou ayant fait l'objet d'une abrasion. Des lignes directrices relatives à des populations atypiques sont également fournies.

FIBRES OPTIQUES –

Partie 1-31: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Résistance à la traction

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60793 fournit des valeurs de résistance à la traction d'échantillons de fibre optique et détermine des exigences uniformes pour la caractéristique mécanique de résistance à la traction. Cette méthode propose d'effectuer des essais de longueurs individuelles de fibre optique en verre, non câblées et non groupées en faisceau. Des sections de fibre sont rompues avec un effort ou une contrainte croissante contrôlée, uniforme sur toute la longueur et la section transversale de la fibre. L'effort ou la contrainte augmente à une vitesse nominale constante jusqu'à ce que la rupture se produise.

La distribution des valeurs de résistance à la traction pour une fibre donnée dépend étroitement de la longueur des échantillons, de la vitesse d'application de la force et des conditions d'environnement. Cet essai peut s'appliquer à titre de contrôle d'inspection lorsque des données statistiques sur la résistance des fibres sont demandées. Les résultats sont présentés sous forme d'une distribution statistique de contrôle de qualité. Habituellement, l'essai est réalisé après un conditionnement en température et en humidité de l'échantillon. Néanmoins, dans certains cas, la mesure des valeurs à la température et à l'humidité ambiantes est suffisante.

Cette méthode s'applique aux fibres optiques de types A1, A2, A3, B et C.

Avertissement – Cet essai implique l'étirement de sections de fibre optique jusqu'à ce que la rupture se produise. Lors de la rupture, des fragments de verre peuvent se disperser dans la zone d'essai. Des écrans protecteurs sont recommandés. Il convient de porter en permanence des lunettes de sécurité dans la zone d'essai.

2 Références normatives

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

CEI 60793-1-20, *Fibres optiques – Partie 1-20: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Géométrie de la fibre*

CEI 60793-1-21, *Fibres optiques – Partie 1-21: Méthodes de mesure et procédures d'essai – Géométrie du revêtement*

3 Appareillage

3.1 Généralités

Cet article définit les exigences fondamentales de l'appareillage utilisé pour l'essai de résistance dynamique. Un grand nombre de configurations peuvent satisfaire à ces exigences. Certains exemples sont présentés à l'Annexe A. Le choix d'une configuration spécifique dépendra de facteurs tels que:

- la longueur à l'essai d'un spécimen
- la plage des vitesses d'application des contraintes ou des efforts
- les conditions liées à l'environnement
- la résistance des spécimens.

3.2 Accrochage de la fibre aux deux extrémités

Accrocher la fibre à soumettre à essai aux deux extrémités et la tendre jusqu'à ce qu'une défaillance se produise dans la section de longueur à l'essai. L'accrochage ne doit pas permettre à la fibre de s'échapper avant défaillance et doit minimiser la défaillance au niveau de l'accrochage.

Noter une rupture se produisant au niveau de l'accrochage mais ne pas l'utiliser dans les calculs qui suivent. Puisque la contrainte sur la fibre augmente pendant l'essai, un certain glissement se produit au niveau de l'accrochage. Pour des niveaux d'effort supérieurs, associés à de courtes longueurs à l'essai, un glissement peut induire des dommages et provoquer des défaillances d'accrochage qui sont difficiles à évaluer. La fréquence de ces défaillances peut souvent varier en fonction de la vitesse d'application de la contrainte ou de l'effort. Une inspection soignée des morceaux de fibres restants, ou un autre moyen, est requis pour empêcher toute possibilité d'inclure des défaillances d'accrochage dans l'analyse.

Utiliser un cabestan, recouvert généralement d'une gaine en élastomère, pour accrocher la fibre (voir Figure A.1). Enrouler plusieurs fois autour du cabestan une section de fibre qui ne sera pas soumise à essai et fixer la fibre aux extrémités par exemple avec une bande élastique. Enrouler la fibre sans croisement. La surface du cabestan doit être suffisamment lisse pour que la fibre ne se coupe pas sur celle-ci lorsqu'elle est entièrement soumise à la charge de traction. La quantité du glissement et des défaillances du cabestan dépend de l'interaction du revêtement de la fibre et de la matière constituant la surface du cabestan, son épaisseur, et du nombre de boucles. Un essai préliminaire soigneux est requis pour confirmer le choix de la surface de cabestan.

Déterminer le diamètre du cabestan et de la poulie de façon que la fibre ne se casse pas sur le cabestan en raison d'une contrainte due à la courbure. Pour les fibres à gaine silice, types, les contraintes dues à la courbure ne doivent pas dépasser 0,175 GPa. (Pour une fibre en silice type de 125/250 μm , le diamètre minimum du cabestan est alors de 50 mm.) Une mise en œuvre d'accrochage particulière est indiquée à l'Annexe B.

3.3 Support d'échantillon

Fixer le spécimen aux deux pinces. La longueur à l'essai est la longueur de fibre comprise entre les axes des cabestans d'accrochage avant de la tendre. Pour diminuer l'espace nécessaire pour effectuer l'essai sur de grandes longueurs, on peut utiliser une ou plusieurs poulies pour supporter la spécimen (voir Figure A.4). Les poulies doivent être conçues et leurs surfaces maintenues exemptes de débris, de façon que la fibre ne soit pas endommagée par celles-ci. Rien ne doit toucher le reste de la fibre en dehors des poulies et des cabestans.

Lorsque plusieurs fibres sont soumises simultanément à un essai, comme sur la Figure A.5, un agencement en chicane est requis pour empêcher une fibre rompue de fouetter ou de perturber les autres fibres soumises à essai.

3.4 Tension de la fibre

Tendre la fibre à une vitesse d'application de la contrainte nominale fixe jusqu'à sa rupture. La vitesse d'application de la contrainte nominale s'exprime sous forme de pourcentage d'augmentation de longueur par minute, par rapport à la longueur soumise à l'essai.

Il existe deux alternatives de base pour tendre la fibre:

- Méthode A: Augmenter la distance entre les cabestans d'accrochage en les éloignant l'un de l'autre à vitesse constante, la séparation au démarrage étant égale à la longueur à l'essai (Figure A.2 de l'Annexe A).
- Méthode B: Faire tourner un cabestan à vitesse constante pour prendre la fibre et contraindre la section entre les cabestans (Figures A.3 à A.5 de l'Annexe A). La rotation ne doit pas produire de croisements sur le cabestan.

Étalonner la vitesse d'application de la contrainte à $\pm 10\%$ près de la vitesse nominale. Certaines configurations d'appareillages sont commandées par ordinateur et permettent un contrôle dynamique du mouvement du cabestan, produisant une vitesse d'application de contrainte constante. Une mise en œuvre particulière est indiquée à l'Annexe C.

La vitesse d'application de la contrainte doit faire l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur. On utilise généralement une plage de vitesses de $2,5\%$ à 5% ou de 15% à 25% .

3.5 Mesure de la force au moment de la défaillance

Mesurer la charge de traction (force en tension) au moment de la défaillance pour chaque spécimen au moyen d'une cellule d'effort étalonnée, à $\pm 1\%$ de la charge réelle. Plusieurs méthodes permettent d'y parvenir:

- enregistreur de graphique en bandes
- appareil de mesure de crête avec blocage
- échantillonnage informatique.

Prévoir un moyen de mesure de la charge de traction en fonction du temps pour déterminer la vitesse d'application de la contrainte. Ceci n'est pas exigé pour chacun des essais mais doit être effectué occasionnellement.

Étalonner la cellule d'effort à moins de $0,5\%$ de la défaillance, ou de la charge maximale, pour chaque gamme de charges de défaillance, en l'orientant de la même manière que lors de l'essai d'une fibre. Procéder par remplacement du spécimen par une corde fixée à un poids connu. Pour la méthode B, une poulie à faible frottement peut être utilisée à la place du cabestan, celle-ci n'étant pas fixée à la cellule d'effort. La corde dont une extrémité est fixée au cabestan de la cellule d'effort et l'autre extrémité fixée à un poids connu, doit être orientée dans la même direction que le spécimen soumis à l'essai, et doit être d'un diamètre comparable. Trois poids d'étalonnage au minimum, englobant les défaillances types, sont recommandés.

3.6 Appareillage de contrôle de l'environnement

On sait que les caractéristiques mesurées de défaillance, de contrainte et de fatigue varient avec la température et avec l'humidité de la fibre. Toutes deux doivent être contrôlées à la fois pendant le préconditionnement et l'essai. Un grand nombre de configurations d'appareillage peuvent être utilisées pour fournir les contrôles requis, incluant les contrôles de l'ensemble du local dans lequel l'essai est effectué.

Les exigences de contrôle types sont:

- la température: $23 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- l'humidité relative: $50 \pm 5\%$.

D'autres environnements d'essai, par exemple une forte humidité sans précipitation, peuvent être obtenus en enfermant le spécimen et en injectant de la vapeur d'eau dans l'enceinte. La Figure A.5 représente un dispositif d'essai couplé incluant une enceinte au-dessus d'un bain d'eau en circulation.

4 Préparation des échantillons

4.1 Définition

Un échantillon est constitué d'une ou plusieurs fibres d'une population. Chaque échantillon fournit un résultat en le découpant en longueurs plus petites appelées spécimens. Les résultats des essais sur ces spécimens sont combinés afin de fournir un résultat global pour l'échantillon. Dans le reste de la présente Norme, on utilise le terme « effectif de l'échantillon » pour indiquer le nombre de spécimens soumis à essai.

Pour une fibre en ruban, sélectionner les spécimens uniformément sur toute la structure du ruban. Retirer soigneusement la fibre du ruban pour éviter une diminution de la résistance par inadvertance.

4.2 Effectif de l'échantillon et longueur à l'essai

Le résultat d'un essai est une répartition statistique de valeurs de contrainte entraînant une défaillance. Ainsi, tous les paramètres indiqués sont de nature statistique, avec une variabilité inhérente fonction de l'effectif de l'échantillon et de la variabilité de la taille des défauts dans l'échantillon. L'emplacement le plus faible ou le plus grand défaut, dans un spécimen présentera une défaillance, et la contrainte entraînant une défaillance type diminue lorsque la longueur à l'essai augmente.

Une population donnée peut présenter des défauts générés par de multiples causes. Un exemple est une répartition bi-modale d'agregats comme représenté sur le tracé de Weibull de la Figure 1 (voir aussi 6.2) obtenue pour un montage d'une longueur à l'essai de 20 m. La répartition étroite presque verticale à droite (aux environs de 5 GPa) est appelée région intrinsèque; la répartition plus large au-dessous de cette valeur de 5 GPa est la région extrinsèque.

Un essai sur des longueurs à l'essai de 0,5 m ne produit généralement pas de mesure de défaut depuis la région extrinsèque. Toutefois, on mesure de temps en temps la contrainte entraînant une défaillance d'un défaut extrinsèque et celle-ci apparaît comme une « aberration ». Si l'aberration est incluse dans l'analyse de données, des erreurs de paramètres se produisent. Pour un essai type, des techniques de suppression d'aberration uniforme sont recommandées.

Pour des essais conçus pour mesurer les caractéristiques de la région extrinsèque, des effectifs d'échantillon importants (des centaines de spécimens) et de grandes longueurs à l'essai (20 m) sont recommandés. Pour la caractérisation de la région intrinsèque selon la présente Norme, une longueur à l'essai de 0,5 m est souvent utilisée. Pour la résistance dynamique, un effectif d'échantillon de 30 est souvent utilisé. Tout écart par rapport à ces valeurs doit être mentionné dans la spécification particulière.

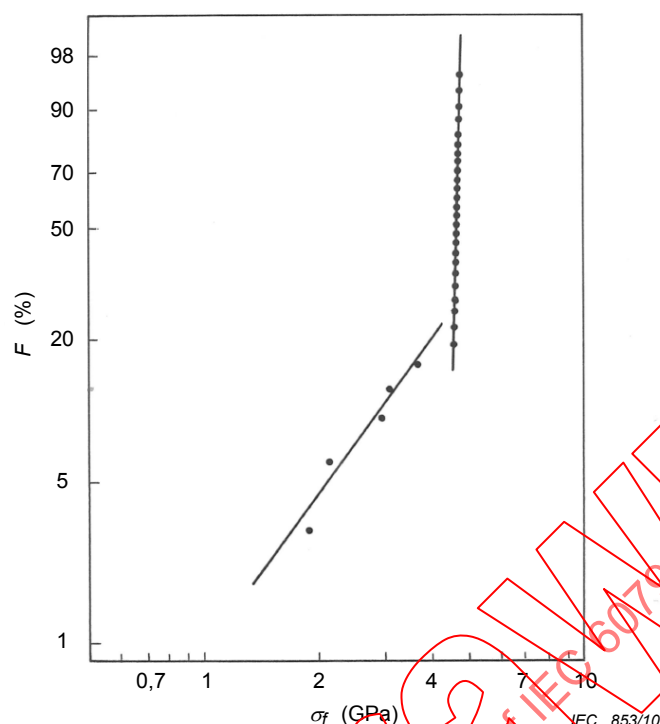


Figure 1 – Tracé de Weibull de résistance à la traction bimodale pour un montage d'essai de longueur à l'essai de 20 m avec vitesse d'application de contrainte de 5 %/min

Des analyses statistiques peuvent être effectuées pour déterminer si une précision donnée a été obtenue.

4.3 Mesures auxiliaires

Les calculs de contrainte entraînant une défaillance nécessitent une conversion de la charge de traction en contrainte sur la section transversale de la partie en verre de la fibre. Le diamètre de la gaine mesuré selon la CEI 60793-1-20, est utilisé dans ce calcul pour en déterminer la section. Le revêtement supporte également une partie de la charge de traction, ce qui diminue la contrainte sur la section en verre. Le paragraphe 6.1 contient des formules de calcul de contrainte.

Le facteur de correction du revêtement est fonction de l'épaisseur du revêtement, mesurée selon la CEI 60793-1-21 et du module de Young de chaque couche de revêtement et du module du verre. Le module du revêtement traité est souvent caractérisé par le fabricant. Pour une fibre type, la contribution des effets du revêtement est de moins de 5 % de la charge totale et la compensation (donc la mesure) due au revêtement n'est pas nécessaire (voir 6.1). Après cela, la contrainte mentionnée entraînant une défaillance dépasse la contrainte réelle d'un pourcentage fixe. Lorsque les effets du revêtement sont compensés, on peut utiliser des valeurs moyennes ou nominales pour tous les spécimens. La contribution du module du revêtement à la contrainte de défaillance peut varier en fonction de la vitesse d'application de la contrainte ou de l'effort. Si la contribution pour une vitesse d'application de la contrainte ou de l'effort quelconque est supérieure à 5 % de la charge totale, l'effet du revêtement doit alors être inclus dans le calcul.

4.4 Environnement

Deux considérations relatives à l'environnement sont fondamentales: l'environnement de vieillissement et l'environnement d'essai.

Un vieillissement de la fibre est parfois nécessaire. Même un vieillissement bref accéléré peut produire une augmentation ou une diminution de la résistance mesurée de certaines fibres. Les causes de ces phénomènes ne sont pas bien comprises. En conséquence, des méthodologies d'extrapolation d'environnements à vieillissement accéléré vers d'autres environnements sont à l'étude.

Après un vieillissement important, le frottement de surface du revêtement peut être modifié. Après tout vieillissement et avant tout essai, il convient de préconditionner les spécimens de fibre dans l'environnement d'essai pendant au moins 12 h.

L'environnement d'essai type est de 23 °C (± 2 °C) et 50 % HR (± 5 %). D'autres environnements tels qu'une humidité relative élevée sans précipitation peuvent donner des valeurs de contrainte entraînant une défaillance significativement différentes.

5 Procédure

5.1 Étapes préliminaires

- a) Faire vieillir les spécimens si nécessaire.
- b) Préconditionner les spécimens.

5.2 Procédure pour un spécimen unique

- a) Monter le spécimen dans les cabestans en s'assurant que les fibres ne se croisent pas ou ne sont pas endommagées par le montage dans la longueur à l'essai.
- b) Vérifier les réglages de l'appareillage pour la vitesse d'application de la contrainte nominale désirée.
- c) Réinitialiser l'affichage d'enregistrement de la tension.
- d) Démarrer le mouvement du cabestan. Pour des vitesses d'application de la contrainte nominales inférieures ou égales à 0,03 %/min, le spécimen peut être préchargé à 0,3 %/min jusqu'à environ la moitié de la contrainte entraînant une défaillance attendue à la vitesse inférieure. La contrainte entraînant une défaillance attendue peut être projetée d'après les résultats pour des vitesses de contrainte supérieures. Lors de l'essai d'une fibre endommagée, la précharge n'est pas recommandée sauf si la durée attendue jusqu'à la défaillance dépasse 4 h.
- e) Au moment de la défaillance, arrêter le cabestan et enregistrer la charge de défaillance et si nécessaire, la vitesse d'application de la contrainte.
- f) Vérifier que la rupture ne se produit pas sur le cabestan. Dans ce cas, marquer la mesure de façon à ne pas la prendre en compte dans les calculs.
- g) Retirer la fibre résiduelle des cabestans et terminer toutes les mesures auxiliaires si nécessaires, comme en 4.3.

5.3 Procédure pour traiter tous les échantillons pour une vitesse d'application de la contrainte nominale donnée

- a) Enregistrer la vitesse d'application de contrainte nominale et toutes les identifications de population.
- b) Déterminer si les effets du revêtement seront compensés. Dans ce cas, enregistrer les paramètres appropriés du revêtement (voir 6.1). Enregistrer le diamètre de gaine nominal si la valeur nominale est utilisée pour calculer la contrainte.
- c) Exécuter 5.2 pour chaque spécimen.
- d) En utilisant 6.1, calculer la contrainte de défaillance pour chaque spécimen et trier par ordre croissant.
- e) Effectuer le tracé de Weibull (voir Figure 1) si nécessaire, en utilisant 6.2. Si nécessaire, calculer les paramètres de Weibull, m_d et S_0 en utilisant 6.3.

- f) Si les exigences de manœuvrabilité le nécessitent, calculer la contrainte de défaillance médiane σ_{50} et la contrainte de défaillance de 15 percentiles σ_{15} selon 6.2.

6 Calculs

6.1 Conversion de la charge de traction en contrainte de défaillance

Les symboles et unités suivants sont utilisés:

- dimensions des fibres μm
- longueur à l'essai m
- contrainte σ et contrainte de défaillance σ_f GPa
- tension T et tension de défaillance T_f N
- vitesse de contrainte $\dot{\sigma}$ GPa/s

Méthode A:

Lorsque la charge est substantiellement alignée avec la tension T , et si D_g est le diamètre du revêtement, l'Équation (1) fournit la contrainte sans compensation du revêtement:

$$\sigma = \frac{4 \times 10^3 T}{\pi D_g^2} \text{ en GPa.} \quad (1)$$

Méthode B:

Lorsque le revêtement est compensé, les équations suivantes sont utilisées: Calculer la fraction

$$R = \frac{E_0 A_0}{E_0 A_0 + \sum_{j=1}^N E_j A_j}, \quad (2a)$$

où

E_0 est le module de Young du verre, généralement 70,3 GPa pour la silice;

A_0 est l'aire de la section droite de la fibre de verre;

Pour N couches de revêtement indexées par j , E_j et A_j sont respectivement le module de Young et l'aire de la section droite de chaque couche.

La contrainte à revêtement compensé est donnée par

$$\sigma_c = \sigma R. \quad (2b)$$

6.2 Préparation d'un tracé de Weibull

La Figure 1 représente un tracé de Weibull type, où la ligne tracée entre les données représente une distribution de Weibull idéale. Bien que l'on utilise généralement des tracés de Weibull pour présenter les données pour une vitesse d'application de contrainte nominale donnée, la répartition réelle peut ne pas être de Weibull.

- a) Trier les valeurs de contrainte entraînant une défaillance en ordre croissant.
- b) Soit k le rang d'une contrainte de défaillance donnée, par exemple, $k = 1, 2, 3, \dots, N$, et σ_{fk} la k -ème contrainte de défaillance.
- c) Soit

$$x_k = \ln \sigma_{fk} \quad (3a)$$

et

$$y_k = \ln \left[1 - \frac{k-0,5}{N} \right] \quad (3b)$$

- d) Tracer y_k en fonction de x_k . Marquer les axes avec les niveaux de probabilité et les valeurs de contrainte de défaillance associés.

NOTE La contrainte de défaillance médiane σ_{50} et la contrainte de défaillance de 15 percentiles σ_{15} sont calculées si nécessaire.

Si $0,5 N + 0,5$ est un entier, $\sigma_{50} = \sigma_{0,5N+0,5}$. Sinon, σ_{50} est déterminée par une interpolation appropriée entre $\sigma_{0,5N}$ et $\sigma_{0,5N+1}$.

Si $0,15 N + 0,5$ est un entier, $\sigma_{15} = \sigma_{0,15N+0,5}$. Sinon, σ_{15} est déterminée par une interpolation appropriée entre $\sigma_{[0,15N+0,5]}$ et $\sigma_{[0,15N+0,5]+1}$, les crochets représentant la plus grande fonction entière.

6.3 Calcul des paramètres de Weibull

La fonction de fréquence cumulative de la distribution de Weibull est donnée par:

$$F = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\sigma}{S_0} \right)^{m_d} \right] \quad (4a)$$

où F correspond à $\frac{k-0,5}{N}$ de l'équation (3b). En conséquence,

$$\ln(-y_k) = m_d \ln \left(\frac{\sigma_{fk}}{S_0} \right) \quad (4b)$$

Méthode A – Méthode de rang simple

Pour les effectifs d'échantillons généralement utilisés (voir 4.1), on peut utiliser la méthode suivante. Déterminer les valeurs suivantes

$$\begin{aligned} k_1 &= 0,15 N + 0,5 \\ k_2 &= 0,85 N + 0,5 \\ k_3 &= 0,5 N + 0,5 \end{aligned} \quad (5)$$

Calculer

$$m_d = \frac{y_{k2} - y_{k1}}{x_{k2} - x_{k1}} \quad (6a)$$

et

$$S_0 = \exp \left[\frac{0,366512}{m_d} + x_{k_3} \right] \quad (6b)$$

Méthode B – Méthode d'estimation du maximum de vraisemblance (MLE)

Le logarithme de la fonction de vraisemblance est

$$\ln[L(m_d, S_0)] = N \ln(m_d) - N m_d \ln(S_0) + (m_d - 1) \sum_{k=1}^N \ln(\sigma_{fk}) - S_0^{-m_d} \sum_{k=1}^N \sigma_{fk}^{m_d} \quad (7)$$

Choisir m_d et S_0 pour maximiser l'Équation (7). Pour une valeur donnée de m_d , la valeur optimale de S_0 est

$$S_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sigma_{fk}^{m_d} \quad (8)$$

La valeur optimale de m_d est déterminée par une méthode itérative.

7 Résultats

7.1 Il convient que les informations suivantes soient fournies à chaque essai:

- l'identification de la fibre;
- la date et le titre;
- les valeurs de contrainte - indiquer la valeur de contrainte pour laquelle la fibre se rompt en tant que valeur de résistance de la fibre (tracé de Weibull et le cas échéant, paramètres de Weibull m_d et S_0).

7.2 Il convient que les informations suivantes soient fournies à chaque essai:

- la longueur de l'échantillon;
- la vitesse de traction (vitesse de déformation);
- le type de fixation;
- l'humidité relative et la température ambiante;
- tout conditionnements spécial.

8 Informations à mentionner dans la spécification

La spécification particulière doit spécifier les informations suivantes:

- les changements de procédure à appliquer,
- les critères de défaillance ou d'acceptation.

Annexe A (informative)

Appareil type d'essai dynamique

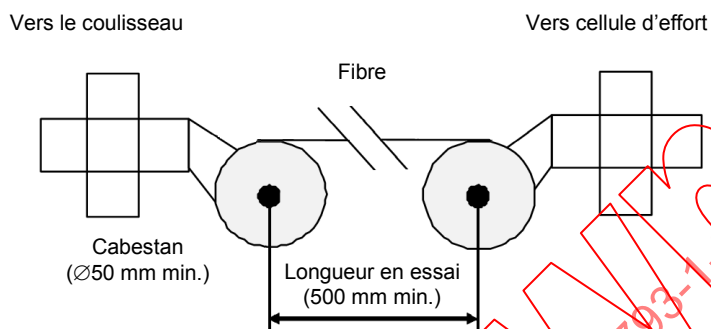


Figure A.1 – Conception du cabestan

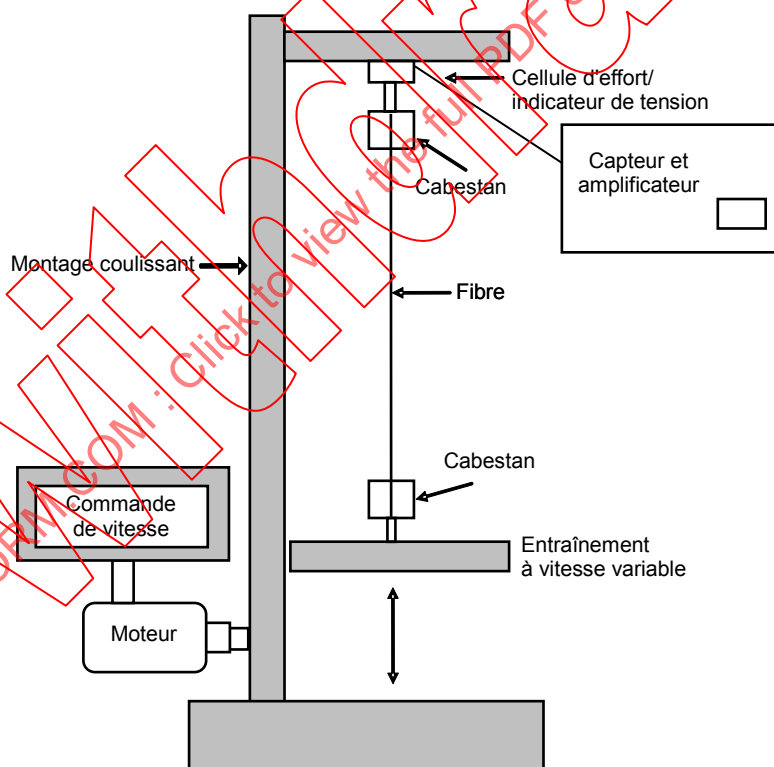


Figure A.2 – Dispositif d'essai de translation