

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2019



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

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

ICS 33.180.10

ISBN 978-2-8322-6529-1

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Hazards.....	7
5 Apparatus.....	8
5.1 General.....	8
5.2 Gripping the fibre at both ends	8
5.3 Sample support.....	8
5.4 Stretching the fibre	8
5.5 Measuring the force at failure.....	9
5.6 Environmental control equipment	9
6 Sample preparation	10
6.1 Definition	10
6.2 Sample size and gauge length	10
6.3 Auxiliary measurements	11
6.4 Environment	11
7 Procedure.....	11
7.1 Preliminary steps	11
7.2 Procedure for a single specimen	11
7.3 Procedure for completing all samples for a given nominal strain rate	12
8 Calculations.....	12
8.1 Conversion of tensile load to failure stress.....	12
8.2 Preparation of a Weibull plot.....	13
8.3 Computation of Weibull parameters	13
9 Results	14
9.1 Details to be reported	14
9.2 Details to be recorded.....	15
10 Specification information	15
Annex A (informative) Typical testing apparatus of tensile strength under dynamic loading.....	16
Annex B (informative) Guidelines on gripping the fibre.....	18
Annex C (informative) Guidelines on stress rate	22
Bibliography.....	24
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.....	16
Figure A.2 – Translation test apparatus	16
Figure A.3 – Rotating capstan apparatus	17
Figure A.4 – Rotating capstan apparatus for long lengths	17
Figure A.5 – Ganged rotating capstan tester.....	17
Figure B.1 – Gradual slippage.....	18

Figure B.2 – Irregular slippage.....	18
Figure B.3 – Sawtooth slippage	19
Figure B.4 – Acceptable transfer function	19
Figure B.5 – Typical capstan.....	20
Figure B.6 – Isostatic compression	20
Figure B.7 – Escargot wrap.....	21
Figure C.1 – System to control stress rate	22
Figure C.2 – Time variation of load and loading speed.....	23

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2019

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 third edition cancels and replaces the second edition published in 2010. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) correction of Formulae (3b) and (4b) and renumbering of formulae.

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

FDIS	Report on voting
86A/1908/FDIS	86A/1926/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2019

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 are controlled for the following:

- population of fibre, for example 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 proof-testing.

This method is used for those typical optical fibres for which the median fracture stress is greater than 3,1 GPa (450 kpsi¹) 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 are 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 based on 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 diameter acrylate coating. Default conditions are given for such typical populations. Non-typical populations might include alternative coatings, environmentally aged fibre, or deliberately damaged or abraded fibre. Guidance for non-typical populations is also provided.

¹ kpsi = kilopounds per square inch.

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 under dynamic loading of optical fibre samples. 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 can be sufficient to measure the values at ambient temperature and humidity conditions.

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

The object of this document is to establish uniform requirements for the mechanical characteristic: tensile strength.

2 Normative references

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

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

3 Terms and definitions

No terms and definitions are listed in this document.

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 Hazards

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 shall be worn at all times in the testing area.

5 Apparatus

5.1 General

Clause 5 specifies 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

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

5.2 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.

EXAMPLE For a typical 125 µm cladding/250 µm coating silica fibre, the minimum capstan diameter is 50 mm.

A particular gripping implementation is given in Annex B.

5.3 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.

5.4 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).
- 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). 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.

5.5 Measuring the force at failure

Measure the tensile load (force in tension) at failure for each specimen by a calibrated load cell, to within $\pm 1\%$ 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.

5.6 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 can be used to provide the required controls, including controls on the entire room in which testing is conducted.

The following are the typical control requirements:

- temperature: $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- relative humidity: $50\% \pm 5\%$.

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.

6 Sample preparation

6.1 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 the document.

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

6.2 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 the 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 8.2) 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.

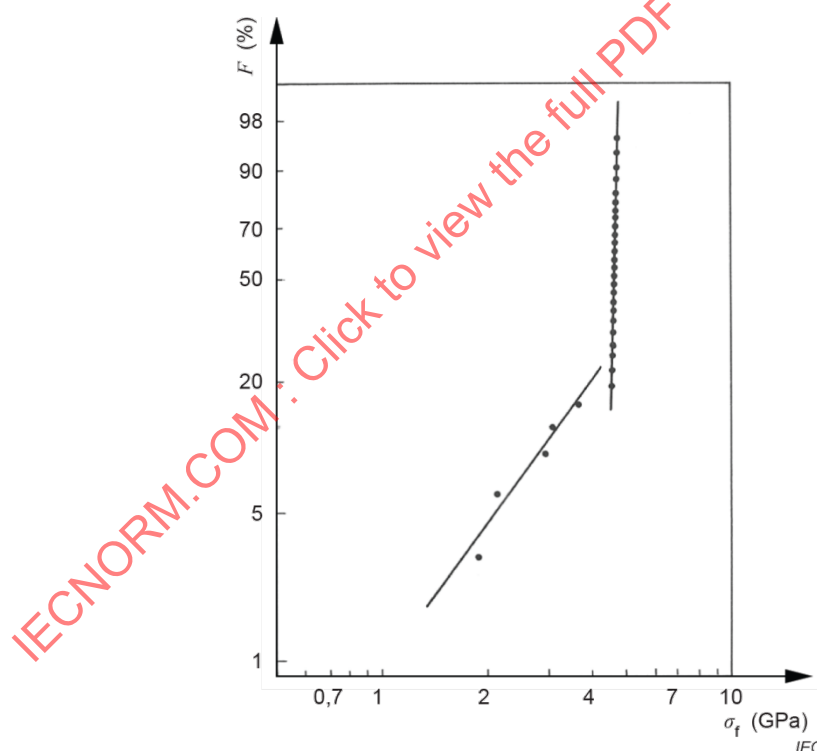


Figure 1 – Bimodal tensile strength Weibull plot for a 20 m gauge length test set-up at 5 %/min strain rate

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 the 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 document, 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.

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

6.3 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, shall be 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 8.1 contains formulae 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 8.1). When this is done, the reported failure stress is larger than the actual by a fixed percentage. When coating effects are compensated, average or nominal values may be used for all specimens. The contribution of the 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.

6.4 Environment

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

Fibre aging is sometimes required. Even brief accelerated aging can 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 can 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 $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ and $50\% \pm 5\% \text{ RH}$. Alternative environments, such as high non-precipitating relative humidity, can yield significantly different failure stress values.

7 Procedure

7.1 Preliminary steps

- 1) Age the specimens if required.
- 2) Precondition the specimens.

7.2 Procedure for a single specimen

- 1) Mount the specimen in the capstans, making sure the fibre does not cross over itself or become damaged in the gauge length by mounting.
- 2) Verify equipment settings for the desired nominal strain rate.
- 3) Reset the tension recording display.

- 4) 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.
- 5) At failure, stop the capstan and record the failure load and, if necessary, the stress rate.
- 6) Verify that the break did not occur on the capstan. If it did, mark the measurement so it will not be used in calculations.
- 7) Remove the residual fibre from the capstans and complete any auxiliary measurements, if necessary, as in 6.3.

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

- 1) Record the nominal strain rate and any population identifications.
- 2) Determine if coating effects will be compensated. If so, record the appropriate coating parameters (see 8.1). Record the nominal cladding diameter if the nominal value is used to compute stress.
- 3) Complete 5.2 for each specimen.
- 4) Using 8.1, compute the failure stress for each specimen, and sort in increasing order.
- 5) Complete the Weibull plot (see Figure 1), if required, using 8.2. If required, compute the Weibull parameters, m_d and S_0 , using 8.3.
- 6) If required for handleability requirements, compute the median failure stress σ_{50} and the 15-percentile failure stress σ_{15} according to 8.2.

8 Calculations

8.1 Conversion of tensile load to failure stress

The following symbols and units are used:

- fibre dimensions: mm;
- gauge length: m;
- stress σ and failure stress σ_f : GPa;
- tension T and failure tension T_f : N.

Method A

When the load is substantially aligned with the tension T and D_g is the cladding diameter, Formula (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 formulae are used. Calculate the fraction

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

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

$$\sigma_c = \sigma R \quad (3)$$

8.2 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.

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

$$x_k = \ln \sigma_{fk} \quad (4)$$

and

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

- 4) 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 applicable.

If $0,5N + 0,5$ 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 $0,15N + 0,5$ 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 the greatest integer function.

8.3 Computation of Weibull parameters

The Weibull distribution cumulative frequency function is given by:

$$F = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\sigma}{S_0} \right)^{m_d} \right] \quad (6)$$

where F corresponds to $\frac{k-0,5}{N}$ of Formula (5). Consequently,

$$y_k = m_d \ln \left(\frac{\sigma_{fk}}{S_0} \right) \quad (7)$$

Method A – Simple rank method

For the sample sizes that are typically used (see 6.1), the following method can be used. Determine the values

$$\begin{aligned} k_1 &= 0,15N + 0,5 \\ k_2 &= 0,85N + 0,5 \\ k_3 &= 0,5N + 0,5 \end{aligned} \quad (8)$$

Compute

$$m_d = \frac{y_{k_2} - y_{k_1}}{x_{k_2} - x_{k_1}} \quad (9)$$

and

$$S_0 = \exp \left[\frac{0,366512}{m_d} + x_{k_3} \right] \quad (10)$$

Method B – Maximum likelihood estimation (MLE) method

The logarithm of the likelihood function is

$$\ln[L(m_d, S_0)] = N \ln(m_d) - N m_d \ln(S_0) + (m_d - 1) \sum_{k=1}^N \ln(\sigma_{fk}) - S_0^{-m_d} \sum_{k=1}^N \sigma_{fk}^{m_d} \quad (11)$$

Select m_d and S_0 to maximize Formula (11). For a given value of m_d , the optimal value for S_0 is

$$S_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sigma_{fk}^{m_d} \quad (12)$$

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

9 Results

9.1 Details to be reported

Report the following information for each test:

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

9.2 Details to be recorded

Provide the following information for each test:

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

10 Specification information

The detail specification shall specify the following information:

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2019

Annex A (informative)

Typical testing apparatus of tensile strength under dynamic loading

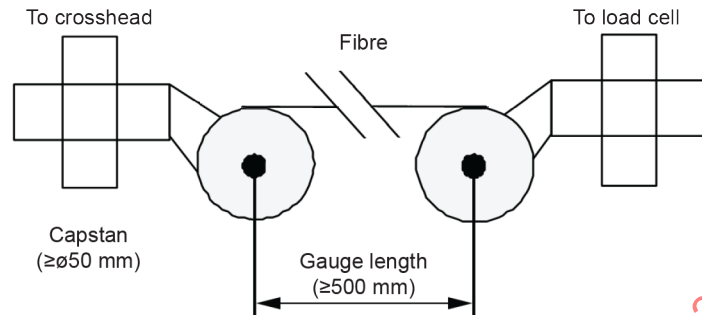


Figure A.1 – Capstan design

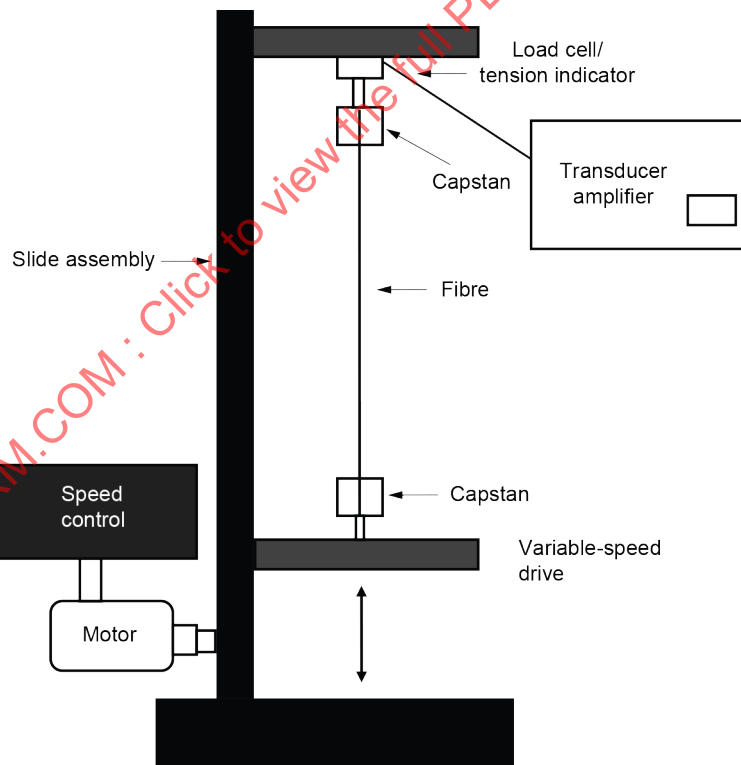


Figure A.2 – Translation test apparatus

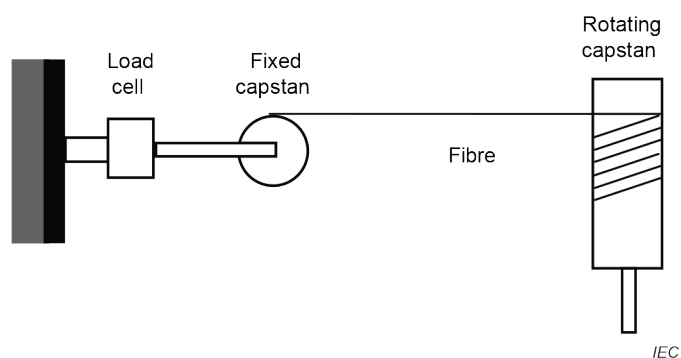


Figure A.3 – Rotating capstan apparatus

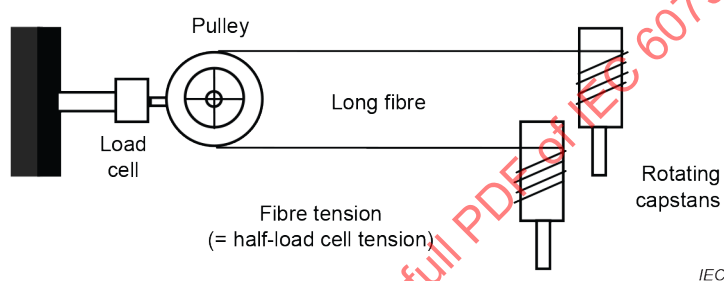


Figure A.4 – Rotating capstan apparatus for long lengths

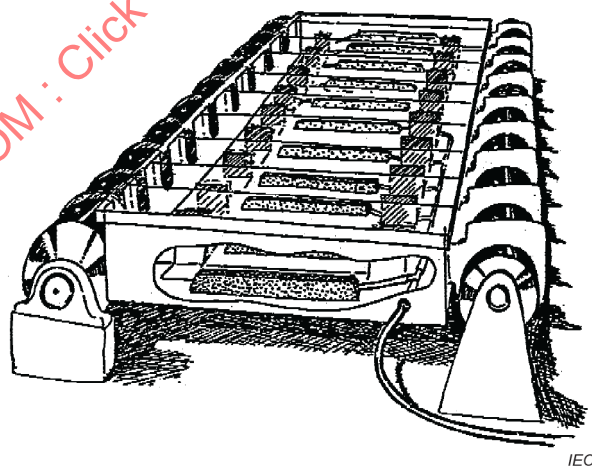


Figure A.5 – Ganged rotating capstan tester

Annex B (informative)

Guidelines 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 (strength) scale are not indicated since these figures are only qualitative illustrations.

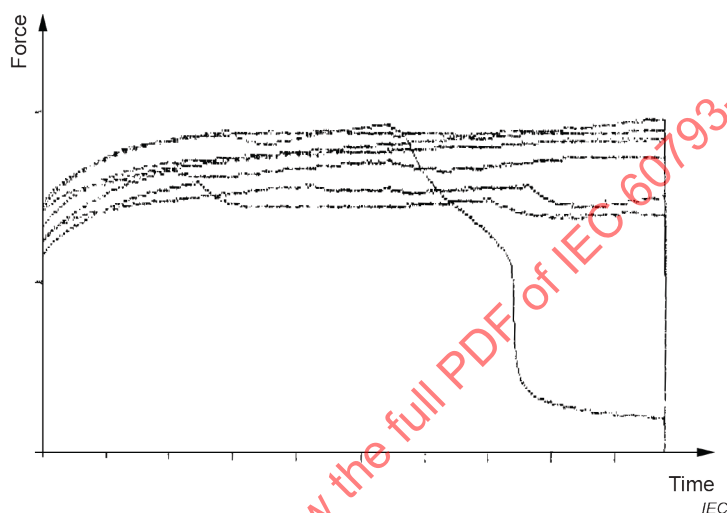


Figure B.1 – Gradual slippage

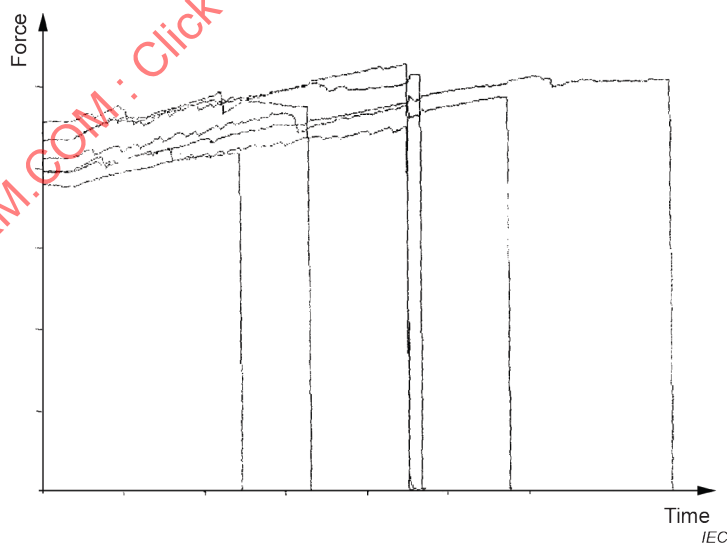


Figure B.2 – Irregular slippage

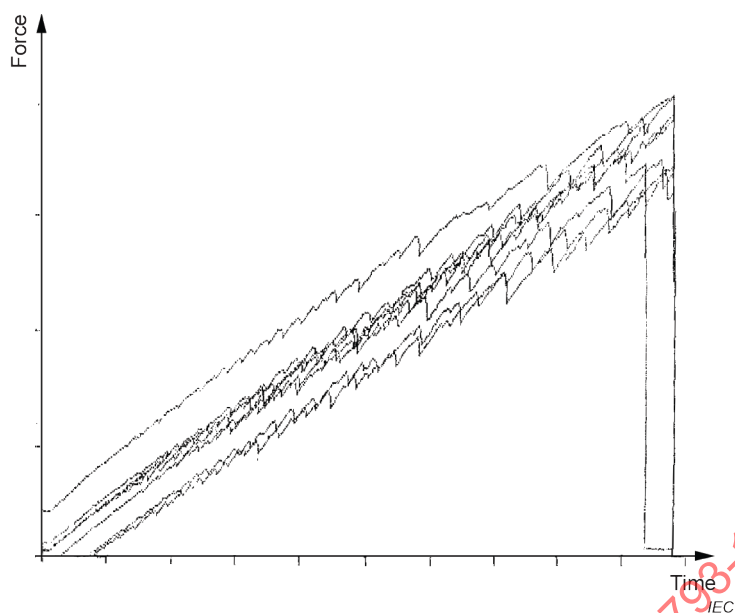


Figure B.3 – Sawtooth slippage

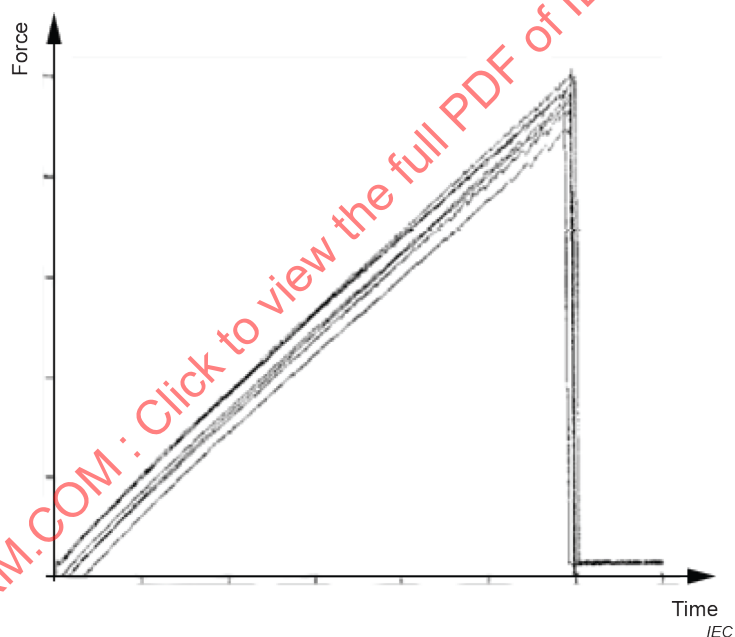
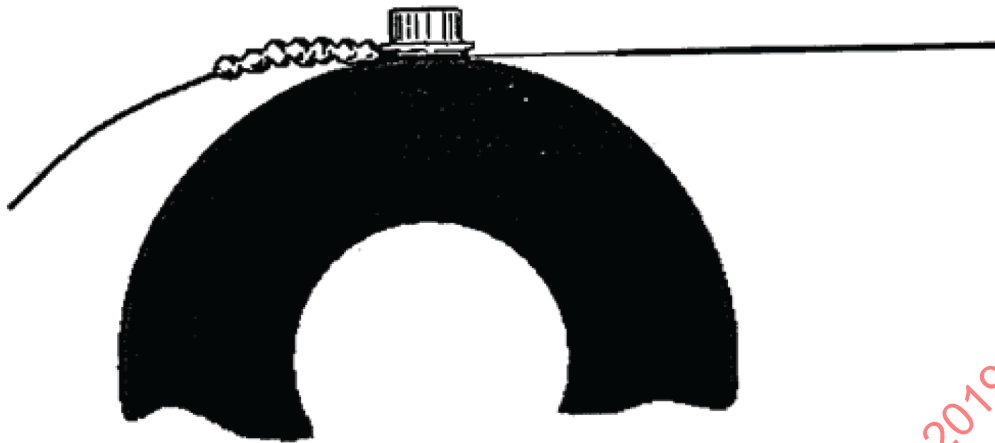


Figure B.4 – Acceptable transfer function

These results are affected by the surface of the capstan, the capstan diameter, the 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 the results shown in Figure B.1.



IEC

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

Figure B.6 – Isostatic compression

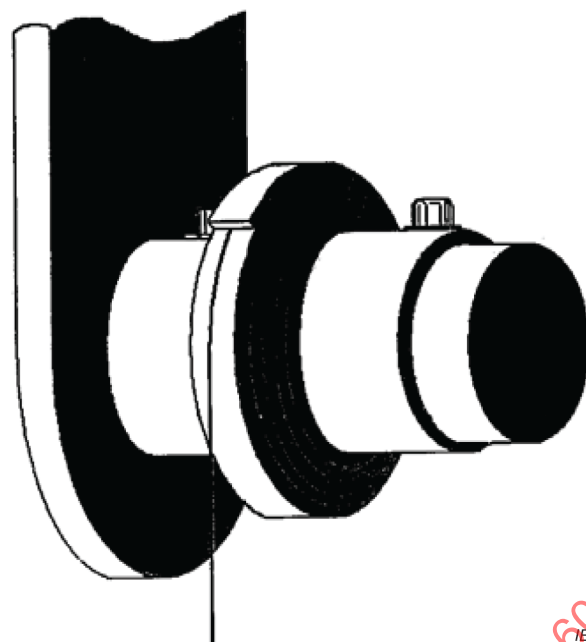


Figure B.7 – Escargot wrap

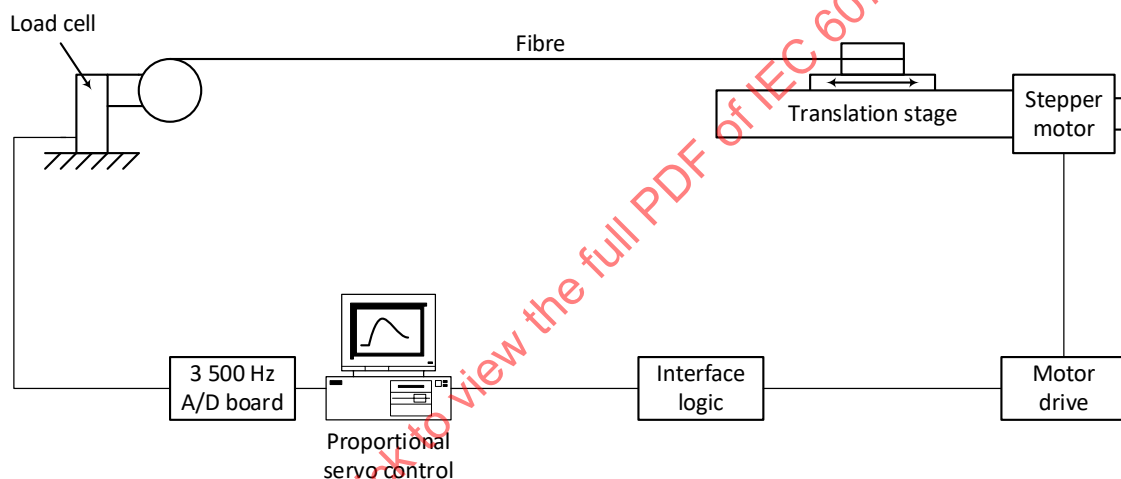
IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2019

Annex C (informative)

Guidelines 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 specified 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

Figure C.1 – System to control stress rate

Figure C.2 shows a comparison of the load profile and translation stage speed for experiments run at a constant speed of 2 $\mu\text{m/s}$ and at a 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 specified value. To achieve this, the loading speed was continuously varied as shown in the right hand figure.

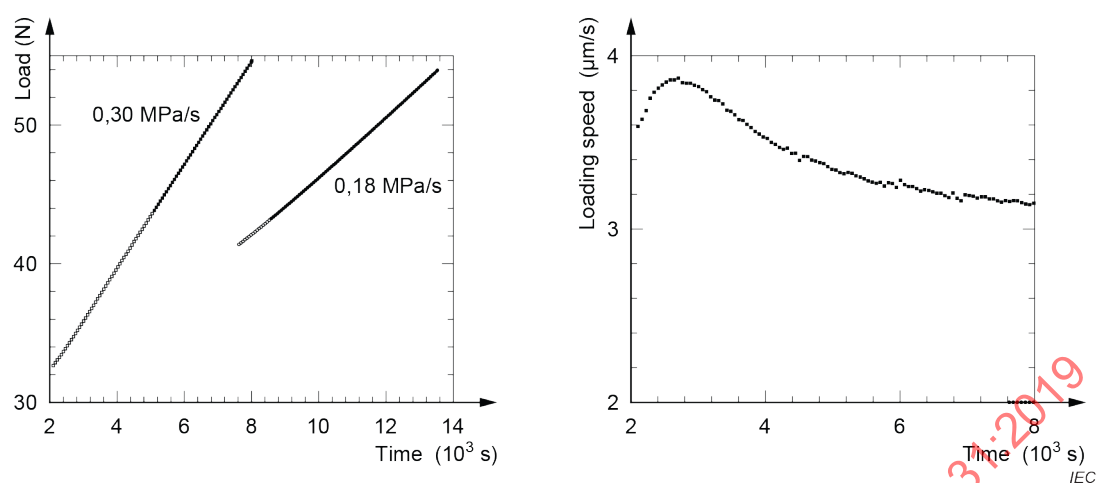


Figure C.2 – Time variation of load and loading speed

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2019

Bibliography

IEC 60793-1-21:2001, *Optical fibres – Part 1-21: Measurement methods and test procedures – Coating geometry*

IEC 60793-2-10:2017, *Optical fibres – Part 2-10: Product specifications – Sectional specification for category A1 multimode fibres*

IEC 60793-2-20:2015, *Optical fibres – Part 2-20: Product specifications – Sectional specification for category A2 multimode fibres*

IEC 60793-2-30:2015, *Optical fibres – Part 2-30: Product specifications – Sectional specification for category A3 multimode fibres*

IEC 60793-2-40:2015, *Optical fibres – Part 2-40: Product specifications – Sectional specification for category A4 multimode fibres*

IEC 60793-2-50:2015, *Optical fibres – Part 2-50: Product specifications – Sectional specification for class B single-mode fibres*

IEC 60793-2-60:2008, *Optical fibres – Part 2-60: Product specifications – Sectional specification for category C single-mode intraconnection fibres*

IEC TR 61649:2008, *Weibull analysis*

IEC TR 62048:2014, *Optical fibres – Reliability – Power law theory*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	28
INTRODUCTION	30
1 Domaine d'application	31
2 Références normatives	31
3 Termes et définitions	31
4 Dangers	32
5 Appareillage	32
5.1 Généralités	32
5.2 Accrochage de la fibre aux deux extrémités	32
5.3 Support d'échantillon	33
5.4 Tension de la fibre	33
5.5 Mesure de la force au moment de la rupture	33
5.6 Equipement de contrôle de l'environnement	34
6 Préparation des échantillons	34
6.1 Définition	34
6.2 Nombre d'échantillons et longueur entre repères	34
6.3 Mesures auxiliaires	35
6.4 Environnement	36
7 Procédure	36
7.1 Étapes préliminaires	36
7.2 Procédure pour un spécimen unique	36
7.3 Procédure de traitement de tous les échantillons pour un taux de déformation nominal donné	37
8 Calculs	37
8.1 Conversion de la charge de traction en contrainte de rupture	37
8.2 Préparation d'un tracé de Weibull	38
8.3 Calcul des paramètres de Weibull	38
9 Résultats	39
9.1 Détails à déclarer	39
9.2 Détails à consigner	39
10 Informations à mentionner dans la spécification	40
Annexe A (informative) Appareillage d'essai type pour la résistance à la traction sous une charge dynamique	41
Annexe B (informative) Lignes directrices relatives à l'accrochage de la fibre	45
Annexe C (informative) Lignes directrices relatives au taux de contrainte	49
Bibliographie	51
Figure 1 – Tracé de Weibull de résistance à la traction bimodale pour un montage d'essai basé sur une longueur entre repères de 20 m avec un taux de déformation de 5 %/min	35
Figure A.1 – Conception du cabestan	41
Figure A.2 – Appareillage d'essai de translation	42
Figure A.3 – Appareillage à cabestan rotatif	43
Figure A.4 – Appareillage à cabestan rotatif pour les grandes longueurs	43
Figure A.5 – Appareillage d'essai à cabestans rotatifs couplés	44

Figure B.1 – Glissement progressif	45
Figure B.2 – Glissement irrégulier	46
Figure B.3 – Glissement en dent de scie	46
Figure B.4 – Fonction de transfert acceptable	47
Figure B.5 – Cabestan type	47
Figure B.6 – Compression isostatique	48
Figure B.7 – Enroulement en escargot	48
Figure C.1 – Système de contrôle du taux de contrainte	49
Figure C.2 – Variation de la charge et de la vitesse d'application de la charge en fonction du temps	50

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2019

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 (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 n'assure aucune procédure de marquage visant à signifier son approbation et ne saurait être tenue responsable de la déclaration d'un quelconque équipement comme étant conforme à une publication de l'IEC.
- 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 60793-1-31 a été établie par le sous-comité 86A: Fibres et câbles, du comité d'études 86 de l'IEC: Fibres optiques.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 2010. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) correction des Formules (3b) et (4b) et renumérotation des formules.

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

FDIS	Rapport de vote
86A/1908/FDIS	86A/1926RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2019

INTRODUCTION

Les répartitions des contraintes de rupture peuvent être utilisées pour prédire la fiabilité des fibres dans différentes conditions. L'IEC TR 62048 présente mathématiquement la façon de procéder. Pour réaliser une projection de fiabilité donnée, les points suivants sont contrôlés lors des essais utilisés pour caractériser une répartition:

- population de fibres, par exemple revêtement, période de fabrication, diamètre;
- longueur entre repères, c'est-à-dire la longueur de la section soumise à essai;
- taux de contrainte ou de déformation;
- environnement d'essai;
- traitements de préconditionnement ou de vieillissement;
- nombre d'échantillons.

Cette méthode mesure la résistance d'une fibre optique lors de l'application d'un taux de déformation constant spécifié. 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 kpsi¹) pour des longueurs entre repères de 0,5 m, à un taux de déformation maximal spécifié 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», inférieures ou égales à 1 m, ou sur de «grandes longueurs», comprises entre 10 m et 20 m, le nombre d'échantillons étant compris entre 15 et 30.

L'environnement d'essai et tout préconditionnement ou vieillissement sont critiques pour le résultat de cet essai. Aucun consensus n'a été trouvé sur un modèle permettant d'extrapoler les résultats d'un environnement à un autre environnement. Toutefois, concernant la contrainte de rupture à un taux de contrainte ou de déformation donné, lorsque l'humidité relative augmente, la contrainte de rupture diminue. Des augmentations ainsi que des diminutions ont été mesurées sur les paramètres de répartition de résistance, suite au 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 IEC TR 62048). Bien que d'autres théories aient été décrites par ailleurs, la théorie de la mécanique de fracture basée sur la loi de puissance est celle qui est la plus généralement acceptée.

Une population type est constituée d'une fibre n'ayant pas été volontairement endommagée ou vieillie par son environnement. Une fibre type a un diamètre maximal de 125 µm, avec un revêtement en acrylate d'un diamètre nominal maximal de 250 µm. Des conditions par défaut sont fournies pour de telles populations types. Une population inhabituelle peut inclure des revêtements en variante, une fibre vieillie par son environnement ou une fibre volontairement endommagée ou ayant fait l'objet d'une abrasion. Des recommandations relatives aux populations inhabituelles sont également fournies.

¹ kpsi = kilopounds per square inch (kilo livres par pouce carré).

FIBRES OPTIQUES –

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

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60793 donne les valeurs de résistance à la traction des échantillons de fibre optique, soumis à une charge dynamique. Cette méthode soumet à essai des longueurs individuelles de fibre optique en verre, non câblées et non groupées en faisceau. Des sections de fibre sont rompues en les soumettant à une contrainte ou une déformation croissante et contrôlée, uniforme sur toute la longueur et la section transversale de la fibre. La contrainte ou la déformation 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. L'essai peut s'appliquer à titre d'examen lorsque des données statistiques sur la résistance des fibres sont exigées. Les résultats sont déclarés 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. Cependant, dans certains cas, la mesure des valeurs à la température et à l'humidité ambiantes peut être suffisante.

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

L'objet du présent document est de déterminer des exigences uniformes relatives à la caractéristique mécanique: la résistance à la traction.

2 Références normatives

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

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

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 Dangers

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. Des lunettes de sécurité doivent être portées en permanence dans la zone d'essai.

5 Appareillage

5.1 Généralités

L'Article 5 spécifie les exigences fondamentales de l'équipement 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 entre repères d'un spécimen,
- la plage des taux de contrainte ou de déformation,
- les conditions d'environnement, et
- la résistance des spécimens.

5.2 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 rupture se produise au niveau de la longueur entre repères. L'accrochage ne doit pas permettre à la fibre de s'échapper avant la rupture, et doit réduire le plus possible la rupture au niveau de l'accrochage.

Consigner une rupture se produisant au niveau de l'accrochage mais ne pas l'utiliser dans les calculs ultérieurs. Puisque la déformation de la fibre augmente pendant l'essai, un certain glissement se produit au niveau de l'accrochage. Pour des niveaux de contrainte supérieurs, associés à de courtes longueurs entre repères, un glissement peut induire des dommages et provoquer des ruptures d'accrochage qui sont difficiles à évaluer. La fréquence de ces ruptures peut souvent varier en fonction du taux de contrainte ou de déformation. Un examen soigneux des morceaux de fibres restants, ou un autre moyen, est exigé pour empêcher toute possibilité d'inclure des ruptures 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 de ruptures dues à un glissement ou au cabestan dépend de l'interaction du revêtement de la fibre et de la matière constituant la surface du cabestan, de son épaisseur et du nombre de boucles. Un essai préliminaire soigneux est exigé pour confirmer le choix de la surface du 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 types à gaine silice, les contraintes dues à la courbure ne doivent pas dépasser 0,175 GPa.

EXEMPLE Pour une fibre en silice type présentant une gaine de 125 µm/un revêtement de 250 µm, le diamètre minimal du cabestan est alors de 50 mm.

Une mise en œuvre d'accrochage particulière est indiquée à l'Annexe B.

5.3 Support d'échantillon

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

Lorsque plusieurs fibres sont soumises simultanément à essai, comme représenté sur la Figure A.5, un montage en chicane est exigé pour empêcher une fibre rompue de fouetter ou de perturber d'une quelconque autre manière les autres fibres soumises à essai.

5.4 Tension de la fibre

Tendre la fibre à un taux de déformation nominal fixe jusqu'à sa rupture. Le taux de déformation nominal s'exprime sous forme de pourcentage d'augmentation de longueur par minute, par rapport à la longueur entre repères.

Il existe deux variantes 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 entre repères (Figure A.2).
- Méthode B: Faire tourner un cabestan à vitesse constante pour enrouler la fibre et déformer la section entre les cabestans (Figures A.3 à A.5). La rotation ne doit pas produire de croisements sur le cabestan.

Etalonner le taux de déformation à $\pm 10\%$ du taux de déformation nominal. Certaines configurations d'équipement sont commandées par ordinateur et permettent un contrôle dynamique du mouvement du cabestan, permettant d'obtenir un taux de contrainte constant. Une mise en œuvre particulière d'une telle configuration est indiquée à l'Annexe C.

Le taux de déformation doit faire l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur. La plage de taux de déformation typiquement utilisée est de 2,5 % à 5 %, ou de 15 % à 25 %.

5.5 Mesure de la force au moment de la rupture

Mesurer la charge de traction (force en tension) au moment de la rupture 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 le taux de contrainte. Ceci n'est pas exigé pour chacun des essais mais doit être effectué occasionnellement.

Etalonner la cellule d'effort à moins de 0,5 % de la rupture, ou de la charge maximale, pour chaque plage de charges de rupture, 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 l'éprouvette, et doit être d'un diamètre comparable. Trois poids d'étalonnage au minimum, englobant les ruptures types, sont recommandés.

5.6 Equipement de contrôle de l'environnement

Il est établi que les caractéristiques mesurées de contrainte de rupture et de fatigue varient avec la température et avec l'humidité de la fibre. Ces deux paramètres doivent être régulés à la fois pendant le préconditionnement et l'essai. Un grand nombre de configurations d'équipement peuvent être utilisées pour fournir les commandes exigées, incluant les commandes permettant de réguler l'ensemble du local dans lequel l'essai est réalisé.

Les exigences de commande types sont les suivantes:

- température: $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$,
- humidité relative: $50\% \pm 5\%$.

Des environnements d'essai en variante, par exemple une forte humidité sans précipitation, peuvent être obtenus en enfermant l'éprouvette 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.

6 Préparation des échantillons

6.1 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 du présent document, le terme «nombre d'échantillons» est utilisé pour indiquer le nombre de spécimens soumis à essai.

Pour une fibre optique 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.

6.2 Nombre d'échantillons et longueur entre repères

Le résultat d'un essai est une répartition statistique de valeurs de contrainte de rupture. Ainsi, tous les paramètres déclarés sont de nature statistique, avec une variabilité inhérente qui est fonction du nombre d'échantillons 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 rupture, et la contrainte de rupture type diminue lorsque la longueur entre repères augmente.

Une population donnée peut présenter des défauts générés par de multiples causes. Un exemple: une répartition bimodale d'agrégats comme représenté sur le tracé de Weibull de la Figure 1 (voir aussi 8.2) obtenue pour un montage basé sur une longueur entre repères 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.

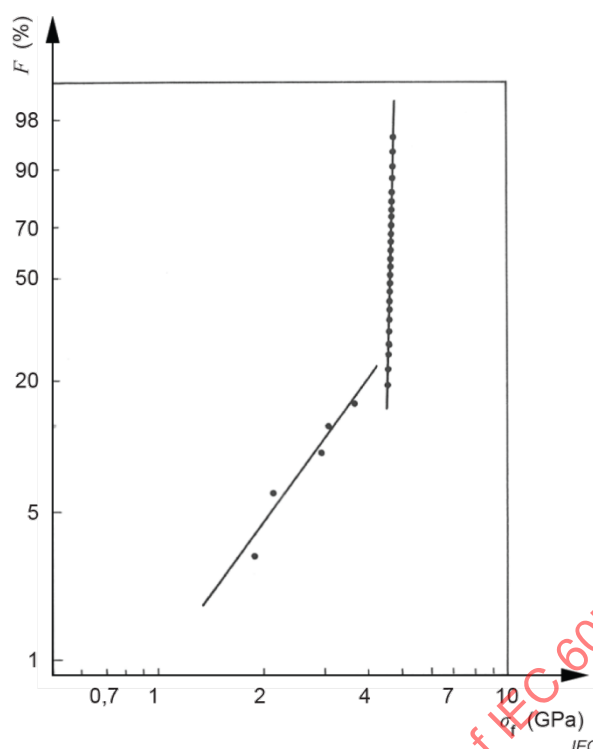


Figure 1 – Tracé de Weibull de résistance à la traction bimodale pour un montage d'essai basé sur une longueur entre repères de 20 m avec un taux de déformation de 5 %/min

Un essai sur des longueurs entre repères de 0,5 m ne produit généralement pas de mesure de défaut depuis la région extrinsèque. Toutefois, la contrainte de rupture d'un défaut extrinsèque peut être mesurée de temps en temps; 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 uniformes sont recommandées.

Pour des essais conçus pour mesurer les caractéristiques de la région extrinsèque, des nombres d'échantillons importants (plusieurs centaines de spécimens) et de grandes longueurs entre repères (20 m) sont recommandés. Pour la caractérisation de la région intrinsèque selon le présent document, une longueur entre repères de 0,5 m est souvent utilisée. Pour la résistance dynamique, un nombre d'échantillons de 30 est souvent utilisé. Tout écart par rapport à ces valeurs doit être mentionné dans la spécification particulière.

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

6.3 Mesures auxiliaires

Les calculs de contrainte de rupture exigent 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 conformément à l'IEC 60793-1-20, doit être utilisé dans ce calcul pour en déterminer la section transversale. Le revêtement supporte également une partie de la charge de traction, ce qui diminue la contrainte sur la section transversale en verre. Le paragraphe 8.1 contient des formules de calcul de contrainte.

Le facteur de correction du revêtement est fonction de l'épaisseur du revêtement, mesurée conformément à l'IEC 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 exigée (voir 8.1). Après cela, la contrainte de rupture déclarée dépasse la contrainte réelle d'un pourcentage fixe. Lorsque les effets du revêtement sont compensés, des valeurs moyennes ou nominales peuvent être utilisées pour tous les spécimens. La contribution du module du revêtement à la contrainte de rupture peut varier en fonction du taux de contrainte ou de déformation. Si la contribution à un quelconque taux de contrainte ou de déformation est supérieure à 5 % de la charge totale, l'effet du revêtement doit alors être inclus dans le calcul.

6.4 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 exigé. 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 un quelconque vieillissement et avant un quelconque essai, il convient de préconditionner les spécimens de fibre dans l'environnement d'essai pendant au moins 12 h.

L'environnement d'essai type correspond à une température de $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ et à une humidité relative de $50\% \pm 5\%$. D'autres environnements tels qu'une humidité relative élevée sans précipitation peuvent donner des valeurs de contrainte entraînant une défaillance significativement différente.

7 Procédure

7.1 Étapes préliminaires

- 1) Faire vieillir les spécimens si cela est exigé.
- 2) Préconditionner les spécimens.

7.2 Procédure pour un spécimen unique

- 1) 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 entre repères.
- 2) Vérifier les réglages de l'équipement pour le taux de déformation nominal souhaité.
- 3) Réinitialiser l'affichage d'enregistrement de la tension.
- 4) Démarrer le mouvement du cabestan. Pour des taux de déformation nominaux inférieurs ou égaux à $0,03\text{ %/min}$, le spécimen peut être préchargé à $0,3\text{ %/min}$ jusqu'à environ la moitié de la contrainte de rupture attendue au taux inférieur. La contrainte de rupture attendue peut être projetée d'après les résultats pour des taux de déformation supérieurs. Lors de l'essai d'une fibre endommagée, la précharge n'est pas recommandée sauf si la durée attendue jusqu'à la rupture dépasse 4 h.
- 5) Lorsque la rupture se produit, arrêter le cabestan et consigner la charge de rupture, et si nécessaire, le taux de contrainte.
- 6) Vérifier que la rupture ne s'est pas produite sur le cabestan. Si elle s'est produite sur le cabestan, marquer la mesure de façon à ne pas la prendre en compte dans les calculs.
- 7) Retirer la fibre résiduelle des cabestans et terminer toutes les mesures auxiliaires, si nécessaire, conformément à 6.3.

7.3 Procédure de traitement de tous les échantillons pour un taux de déformation nominal donné

- 1) Consigner le taux de déformation nominal et toutes les identifications de population.
- 2) Déterminer si les effets du revêtement seront compensés. Si oui, consigner les paramètres appropriés du revêtement (voir 8.1). Consigner le diamètre de gaine nominal si la valeur nominale est utilisée pour calculer la contrainte.
- 3) Appliquer la procédure décrite en 5.2 pour chaque spécimen.
- 4) Calculer, en se basant sur 8.1, la contrainte de rupture pour chaque spécimen et effectuer un tri par ordre croissant.
- 5) Effectuer le tracé de Weibull (voir Figure 1) si cela est exigé, en se basant sur 8.2. Si cela est exigé, calculer les paramètres de Weibull, m_d et S_0 , en se basant sur 8.3.
- 6) Si cela est exigé par les exigences de manœuvrabilité, calculer la contrainte de rupture médiane σ_{50} et la contrainte de rupture au 15^e percentile σ_{15} conformément à 8.2.

8 Calculs

8.1 Conversion de la charge de traction en contrainte de rupture

Les symboles et unités suivants sont utilisés:

- dimensions des fibres: mm;
- longueur entre repères: m;
- contrainte σ et contrainte de rupture σ_f : GPa;
- tension T et tension de rupture T_f : N.

Méthode A

Lorsque la charge est substantiellement alignée avec la tension T et si D_g est le diamètre du revêtement, la Formule (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 formules suivantes sont utilisées. Calculer la fraction

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

où

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

A_0 désigne l'aire de la section transversale de la fibre de verre.

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

La contrainte à revêtement compensé est donnée par

$$\sigma_c = \sigma R \quad (3)$$

8.2 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 les tracés de Weibull soient généralement utilisés pour présenter les données pour un taux de déformation nominal donné, la répartition réelle peut ne pas correspondre à une distribution de Weibull.

- 1) Trier les valeurs de contrainte de rupture par ordre croissant.
- 2) Soit k le rang d'une contrainte de rupture donnée, par exemple $k = 1, 2, 3, \dots, N$, et σ_{fk} la k^{e} contrainte de rupture.
- 3) Soit

$$x_k = \ln \sigma_{fk} \quad (4)$$

et

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

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

NOTE La contrainte de rupture médiane, σ_{50} , et la contrainte de rupture au 15^e percentile, σ_{15} , sont calculées le cas échéant.

Si $0,5N + 0,5$ 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 $0,15N + 0,5$ 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.

8.3 Calcul des paramètres de Weibull

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

$$F = 1 - \exp \left[- \left(\frac{\sigma}{S_0} \right)^{m_d} \right] \quad (6)$$

où F correspond à $\frac{k-0,5}{N}$ de la Formule (5). En conséquence,

$$y_k = m_d \ln \left(\frac{\sigma_{fk}}{S_0} \right) \quad (7)$$

Méthode A – Méthode de rang simple

Pour les nombres d'échantillons généralement utilisés (voir 6.1), la méthode suivante peut être utilisée. Déterminer les valeurs suivantes

$$\begin{aligned}
 k_1 &= 0,15N + 0,5 \\
 k_2 &= 0,85N + 0,5 \\
 k_3 &= 0,5N + 0,5
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Calculer

$$m_d = \frac{y_{k_2} - y_{k_1}}{x_{k_2} - x_{k_1}} \tag{9}$$

et

$$S_0 = \exp \left[\frac{0,366512}{m_d} + x_{k_3} \right] \tag{10}$$

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

Le logarithme de la fonction de vraisemblance est le suivant:

$$\ln[L(m_d, S_0)] = N \ln(m_d) - N m_d \ln(S_0) + (m_d - 1) \sum_{k=1}^N \ln(\sigma_{fk}) - S_0^{-m_d} \sum_{k=1}^N \sigma_{fk}^{m_d} \tag{11}$$

Définir m_d et S_0 de façon à maximiser la Formule (11). Pour une valeur donnée de m_d , la valeur optimale de S_0 est:

$$S_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sigma_{fk}^{m_d} \tag{12}$$

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

9 Résultats

9.1 Détails à déclarer

Déclarer les informations suivantes pour 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).

9.2 Détails à consigner

Fournir les informations suivantes pour chaque essai:

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

10 Informations à mentionner dans la spécification

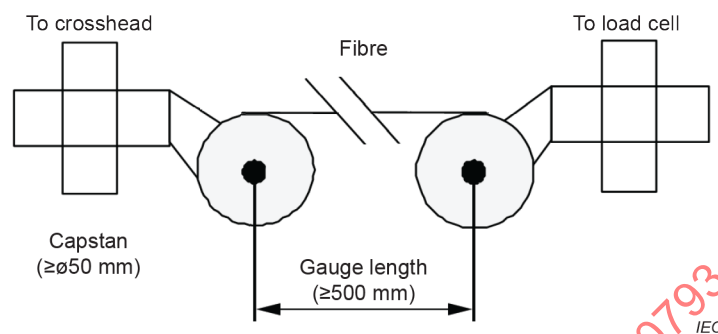
La spécification particulière doit spécifier les informations suivantes:

- tout écart applicable par rapport à la procédure,
- les critères de refus ou d'acceptation.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60793-1-31:2019

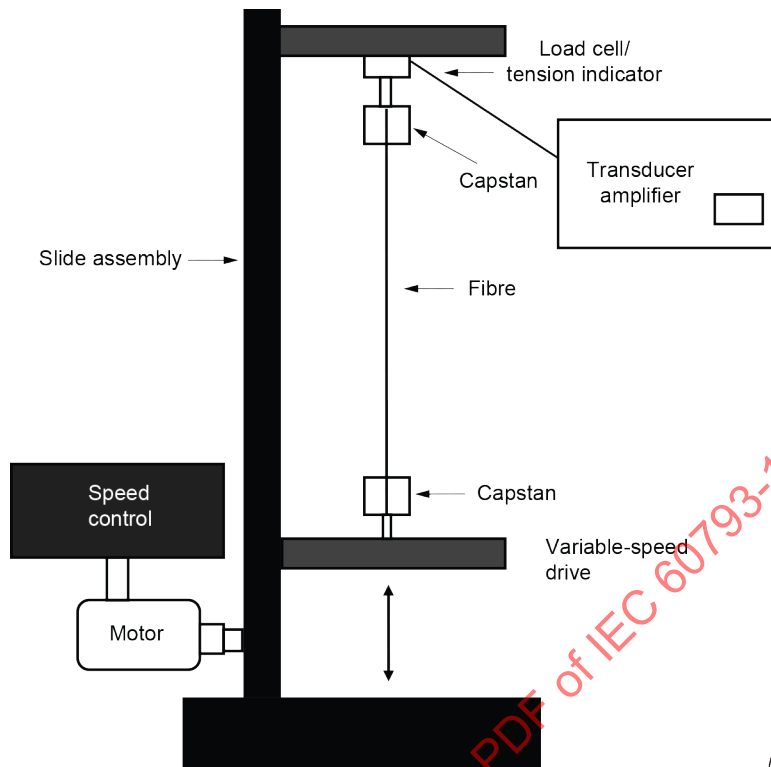
Annexe A (informative)

Appareillage d'essai type pour la résistance à la traction sous une charge dynamique



Anglais	Français
To crosshead	Vers le coulisseau
Capstan (≥ 50 mm)	Cabestan (≥ 50 mm)
Fibre	Fibre
Gauge length (≥ 500 mm)	Longueur entre repères (≥ 500 mm)
To load cell	Vers cellule d'effort

Figure A.1 – Conception du cabestan



Anglais	Français
Slide assembly	Montage coulissant
Speed control	Commande de vitesse
Motor	Moteur
Load cell/tension indicator	Cellule d'effort/indicateur de tension
Capstan	Cabestan
Fibre	Fibre
Transducer amplifier	Capteur et amplificateur
Variable-speed drive	Entraînement à vitesse variable

Figure A.2 – Appareillage d'essai de translation