

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Solderless connections –

Part 9: Ultrasonically welded connections – General requirements, test methods and practical guidance

Connexions sans soudure –

Partie 9: Connexions soudées par ultrasons – Exigences générales, méthodes d'essai et guide pratique

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60352-9:2024



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2024 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Solderless connections –

Part 9: Ultrasonically welded connections – General requirements, test methods and practical guidance

Connexions sans soudure –

Partie 9: Connexions soudées par ultrasons – Exigences générales, méthodes d'essai et guide pratique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.220.10, 29.120.20

ISBN 978-2-8322-8216-8

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.....	7
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	10
2 Normative references	10
3 Terms and definitions	12
4 Wire and terminal information	16
4.1 Conductor materials.....	16
4.2 Conductor surface coating	16
5 Requirements for ultrasonic welding	16
5.1 Examples of ultrasonically welded connections	16
5.2 General requirements	19
5.3 Influence of wire length for welds at the other end of terminal connections	20
5.4 Design requirements.....	20
5.5 Mechanical and electrical protection of the weld package	22
5.6 Conductor combinations – requirements	23
5.7 Compaction ratio of ultrasonically welded connections	23
6 Specimens.....	25
6.1 General.....	25
6.2 Type A1 or A2 specimen	25
6.3 Type B1 or B2 specimen	25
6.4 Type C specimen	26
6.5 Type D specimen	27
7 Tests	27
7.1 General information about tests	27
7.1.1 General conditions for product qualification tests	27
7.1.2 Pre-conditioning	27
7.1.3 Recovery	27
7.2 Visual optical inspection (VOI) with dimensional checks.....	27
7.2.1 General.....	27
7.2.2 Magnification aids (visual optical inspection, VOI)	28
7.2.3 Visual inspection of the ultrasonic splice welding	28
7.2.4 Visual inspection of ultrasonically welded wire to terminal	29
7.3 Mechanical tests	31
7.3.1 Bending test inline splice	31
7.3.2 Bending test on ultrasonically welded wire to terminal	32
7.3.3 Peel test of the splice	32
7.3.4 Peel tests of the terminal-welded package	35
7.3.5 Pull-out force tests on ultrasonic splice-welded connections	36
7.3.6 Pull-out force tests of ultrasonically welded wire-to-terminal connections.....	38
7.3.7 Vibration test of ultrasonically welded splice connections	41
7.3.8 Vibration test of ultrasonically welded wire-to-terminal connections	42
7.3.9 Compaction force test of end splices	43
7.4 Microsection image inspections.....	44
7.5 Electrical tests	45
7.5.1 Voltage drop of the through or end splice (resistance)	45
7.5.2 Voltage drop of the wire-to-terminal connection (resistance)	46

7.5.3	Current-carrying capacity.....	47
7.5.4	Insulation resistance.....	49
7.5.5	Voltage proof.....	49
8	Climatic tests.....	50
8.1	General information on climatic tests	50
8.2	Rapid change of temperature	50
8.3	Dry heat.....	51
8.4	Cold.....	51
8.5	Damp heat	51
8.6	Climatic sequence.....	52
8.7	Flowing mixed gas corrosion.....	52
9	Classification into product classes	53
9.1	General.....	53
9.2	Class A product	53
9.3	Class B product	53
9.4	Class C product	53
10	Test schedules	53
10.1	Test schedule A (class A products, see 9.2).....	53
10.2	Test schedule B (class B product, see 9.3)	54
10.2.1	General	54
10.2.2	Mechanical tests of test schedule B	54
10.2.3	Electrical tests of test schedule B	55
10.2.4	Microsection tests of test schedule B	56
10.3	Test schedule C (class C products, see 9.4)	56
10.3.1	General	56
10.3.2	Mechanical tests according to test schedule C.....	57
10.3.3	Electrical tests according to test schedule C	57
10.3.4	Microsection of test schedule C	58
10.3.5	Climatic test for test schedule C	58
11	Additional applicable test groups (if required)	59
11.1	Dry heat test and voltage proof	59
11.2	Corrosion.....	59
12	Flow charts.....	60
Annex A	(informative) Practical guidance.....	64
A.1	Ultrasonic welding system.....	64
A.2	Storage conditions and processing conditions.....	64
A.3	Processing technique.....	65
A.3.1	General tooling technology requirements	65
A.3.2	Monitoring	65
Bibliography		66

Figure 1	– Ultrasonic welding machine designed to make splices between at least two wires.....	13
Figure 2	– Ultrasonically welded splice of two wires protected by a shrinking tube	14
Figure 3	– Top view of an ultrasonically welded wire on a terminal.....	14
Figure 4	– Side view of an ultrasonically welded wire on a terminal.....	15
Figure 5	– Ultrasonically welded end compaction	15

Figure 6 – Ultrasonically welded end splice connection	16
Figure 7 – Welding zone (1) for two stripped wires with heat shrink tubing (2) for insulation	17
Figure 8 – Ultrasonically welded end compaction	17
Figure 9 – Ultrasonically welded end splice.....	17
Figure 10 – Ultrasonically welded inline splice Cu-Al	17
Figure 11 – Ultrasonically welded inline splice Cu-Cu	17
Figure 12 – Example 1 of ultrasonic welding on terminals	18
Figure 13 – Example 2 of ultrasonic welding on terminals	18
Figure 14 – Example 3 of ultrasonic welding on terminals	18
Figure 15 – Example 4 of ultrasonic welding on terminals	18
Figure 16 – Example of multiple wires welded to one terminals	18
Figure 17 – Illustration of the conductor length (3) between terminal (2) and welded package (1)	20
Figure 18 – Cross-sectional view of ultrasonic propagation through the sonotrode in the welding room, against passive surfaces with and without gap between the tools	20
Figure 19 – Cross-sectional view of recommended asymmetrical insertion for the individual conductors above the sonotrode in the welding room	21
Figure 20 – Cross-sectional alternative view of the recommended asymmetrical insertion for the individual conductors above the sonotrode	21
Figure 21 – Insulation measures at the inline splice from one conductor to several conductors	22
Figure 22 – Insulation measures at the feed-inline splice with several conductors on both sides	22
Figure 23 – Insulation measures at the end splice with several conductors (end sealed).....	23
Figure 24 – Cu-wire compaction ratio from strong to weak layout.....	24
Figure 25 – Conductor before and after welding	24
Figure 26 – Type A1 specimen.....	25
Figure 27 – Type A2 specimen.....	25
Figure 28 – Type B1 specimen, inline splice with two wires type 1 and type 2	26
Figure 29 – Type B2 specimen.....	26
Figure 30 – Type C specimen, end-splice connection with type 3 and type 4 wires	26
Figure 31 – Type D specimen at the wire to terminal connection	27
Figure 32 – Measurement of the ultrasonic weld height.....	30
Figure 33 – Measurement of the ultrasonic weld width (2).....	30
Figure 34 – Bending test setup schematic illustration.....	32
Figure 35 – Terminal bending test setup schematic illustration.....	32
Figure 36 – Test setup for peel tests	33
Figure 37 – Test setup for the peel test, fixation (4), side fixations with a protrusion of 1,0 mm each on the terminal surface, ultrasonically welded package (1), terminal (3).....	35
Figure 38 – Test setup for pull-out force test.....	36
Figure 39 – Test setup for the pull-out force test on welds with electrical conductors on terminal	39
Figure 40 – Test setup for vibration test of the splice	41
Figure 41 – Setup for vibration test of the ultrasonically welded package (1), vibration table (5), fixtures (2), terminal (4), reference wire with counter-contact connector (7)	42

Figure 42 – Aluminium single wire end splice (wire end compacted)	43
Figure 44 – Medium copper single wire end splice (wire end compacted).....	43
Figure 45 – Large copper single wire end splice (wire end compacted)	43
Figure 46 – Examples of test clamps of different sizes	43
Figure 47 – Example 1 of a valid microsection image of ultrasonically welded copper strands	44
Figure 48 – Example 2 of a valid microsection image of ultrasonically welded copper strands	45
Figure 49 – Example 3 of a valid microsection image of ultrasonically welded copper strands	45
Figure 50 – Set-up for measurement at the splice (from 2 to 20 wires).....	45
Figure 51 – Measurements of reference wires type 1 and type 2	45
Figure 52 – Setup for voltage drop measurement (U_1), at the terminal weld connections	46
Figure 53 – Voltage drop measurement (U_2) with the same reference wire (1).....	47
Figure 54 – Setup for temperature rise measurements at current load	48
Figure 55 – Temperature chamber with valve opening for current load measurements	49
Figure 56 – Diagram of dielectric voltage withstanding (voltage proof) test	50
Figure 57 – Test schedule A	60
Figure 58 – Test Schedule B	61
Figure 59 – Test schedule C part 1	62
Figure 60 – Test schedule C part 2	63
Figure A.1 – Ultrasonic welding process: 1) longitudinal, 2) torsional	64
Table 1 – Ultrasonically welded packages suggested values	22
Table 2 – Conductor combinations	23
Table 3 – Magnification suggestions for visual inspection	28
Table 4 – Example of good welds for end splices and inline splices	28
Table 5 – Representation of error characteristics for end splices and inline splices.....	29
Table 6 – Valid features of ultrasonically welded wire on terminal	30
Table 7 – Non-valid features of ultrasonically welded wire on terminal	31
Table 8 – Peel force values for ultrasonically welded splices of copper wires.....	33
Table 9 – Peel force values for ultrasonically welded splices of aluminium wires.....	34
Table 10 – Peel force values for ultrasonically welded copper wires on terminals	35
Table 11 – Peel force values for ultrasonically welded aluminium wires on terminals	36
Table 12 – Pull-out force values for ultrasonically welded splices of copper wires	37
Table 13 – Pull-out force values for ultrasonically welded splices of aluminium wires.....	38
Table 14 – Pull-out force values for ultrasonically welded copper wires on terminals	39
Table 15 – Dependence of package width on conductor cross-sectional area for copper wires (recommended)	40
Table 16 – Pull-out force values for ultrasonically welded aluminium wires on terminals	40
Table 17 – Dependence of package width on conductor cross-sectional area for aluminium wires (recommended).....	41
Table 18 – Vibration test (sinusoidal) parameters of ultrasonically welded splice connections	42

Table 19 – Requirements for single end compaction test	44
Table 20 – Test voltages for voltage proof test.....	50
Table 21 – Test group P0 – Initial inspection.....	53
Table 22 – Test group P1 – Bending test	54
Table 23 – Test group P2 – Peel test according to ISO 10447.....	55
Table 24 – Test group P3 – Pull-out force test	55
Table 25 – Test group P4 – Compaction-force for single wire end-splices	55
Table 26 – Test group P6 – Voltage drop (resistance).....	55
Table 27 – Test group P7 – Insulation resistance	55
Table 28 – Test group P10 – Microsection	56
Table 29 – Test group P0 – Initial inspection.....	56
Table 30 – Test group P2 – Peel tests	57
Table 31 – Test group P3 – Pull-out force tests.....	57
Table 32 – Test group P4 – Compaction-force test for single wire end-splices	57
Table 33 – Test group P5 – Vibration test (sinusoidal)	57
Table 34 – Test group P6 – Voltage drop (resistance).....	57
Table 35 – Test group P7 – Insulation resistance	58
Table 36 – Test group P8 – Current-carrying capacity.....	58
Table 37 – Test group P10 – Microsection	58
Table 38 – Test group P11 – Climatic tests	58
Table 39 – Test group P9 – Voltage proof.....	59
Table 40 – Test group P12 – Corrosion.....	59

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60352-9:2024

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

SOLDERLESS CONNECTIONS –**Part 9: Ultrasonically welded connections –
General requirements, test methods and practical guidance****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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60352-9 has been prepared by subcommittee 48B: Electrical connectors, of IEC technical committee 48: Electrical connectors and mechanical structures for electrical and electronic equipment. It is an International Standard.

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

Draft	Report on voting
48B/3080/FDIS	48B/3084/RVD

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

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

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

A list of all parts in the IEC 60352 series, published under the general title *Solderless connections*, can be found on the IEC website.

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

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60352-9:2024

INTRODUCTION

This part of IEC 60352 covers ultrasonically welded connections and includes requirements, tests and practical guidance information.

Ultrasonic welding is a form of cold friction welding that is becoming increasingly popular in many industries. This type of welding uses ultrasonic vibration to join materials together, creating a bond that is both strong and reliable. Ultrasonic welding has been identified as a process in ISO 4063-41 by the International Organization for Standardization (ISO).

The process of ultrasonic welding relies on high frequency ultrasound waves being used to create frictional heat at the connection point. High temperature is not required for this special method of welding, making it one of the most cost-effective ways to join two materials together.

It also requires fewer steps than traditional methods, meaning it can be completed quickly and with minimal resources.

Ultrasonic welding has been around for decades but only recently has become more widely utilized due to advances in technology and its availability at lower cost. It can be used on many different materials including plastics, rubbers, metals, textiles, and composites. Due to its precision and strong bonds it creates, it has become extremely popular in manufacturing processes such as automotive industry, electronics industry, furniture production and even medical device production.

This document outlines a system of product classification according to the intended use of the end-product. Three general end-product levels, known as class A, B, and C products, are identified. Class A products are for general use and include consumer products, computers, and computer peripherals for applications where the major requirement is function of the assembly. Class B products are dedicated service electronic items providing high performance and extended life. Finally, Class C products are for high performance with zero tolerance for equipment downtime; this includes life support systems and other critical systems. The developer or user of ultrasonically welded connections should determine the class to which their end-product belongs.

This document outlines the test requirements for ultrasonically welded connections deemed to be used in class A, B and C products. Test groups P0-P11 are specified, with additional optional test groups P9 and P12 available if required by the manufacturer and user.

Three test schedules – A (basic), B (intermediate) and C (full) - are provided, based on a specific selection of test groups, each representing the minimum requirements for each correspondingly identified end-product class.

SOLDERLESS CONNECTIONS –

Part 9: Ultrasonically welded connections – General requirements, test methods and practical guidance

1 Scope

This part of IEC 60352 covers ultrasonically welded connections and includes requirements, tests and practical guidance information.

This document covers ultrasonically welded connections made with stranded or flexible wires (class 2, 5 or 6 per IEC 60228) of copper or copper alloy, as well as of aluminium or aluminium alloy.

These welded metal-to-metal connections shall employ wires with cross-sectional area of 0,08 mm² to 160 mm² and shall not exceed a total cross-sectional area, in case of wire bundle, of 200 mm².

For aluminium or aluminium alloy wires, the minimum required cross-sectional area is 2,5 mm².

Additionally, information on materials, data from industrial experience and test procedures are included to ensure electrically stable connections under prescribed environmental conditions.

Lastly, this document aims to achieve comparable results when using ultrasonic welding equipment with similar performance and specifications as specified by the termination manufacturer.

NOTE Figures in this document show examples of possible solutions of ultrasonically welded connections of rectangular shape, but solutions are not restricted to the shape displayed.

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 60050-581, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 581 – Electromechanical components for electronic equipment*

IEC 60068-1:2013, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 60068-2-1, *Environmental testing – Part 2-1: Tests – Test A: Cold*

IEC 60068-2-2, *Environmental testing – Part 2-2: Tests – Test B: Dry heat*

IEC 60068-2-6, *Environmental testing – Part 2-6: Tests – Test Fc: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60068-2-14, *Environmental testing – Part 2-14: Tests – Test N: Change of temperature*

IEC 60068-2-30, *Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle)*

IEC 60068-2-60, *Environmental testing – Part 2-60: Tests – Test Ke: Flowing mixed gas corrosion test*

IEC 60228, *Conductors of insulated cables*

IEC 60512-1, *Connectors for electrical and electronic equipment – Tests and measurements – Part 1: Generic specification*

IEC 60512-1-1, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 1-1: General examination – Test 1a: Visual examination*

IEC 60512-1-2, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 1-2: General examination – Test 1b: Examination of dimension and mass*

IEC 60512-2-1, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 2-1: Electrical continuity and contact resistance tests – Test 2a: Contact resistance – Millivolt level method*

IEC 60512-2-2, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 2-2: Electrical continuity and contact resistance tests – Test 2b: Contact resistance – Specified test current method*

IEC 60512-2-5, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 2-5: Electrical continuity and contact resistance tests – Test 2e: Contact disturbance*

IEC 60512-3-1, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 3-1: Insulation tests – Test 3a: Insulation resistance*

IEC 60512-4-1, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 4-1: Voltage stress tests – Test 4a: Voltage proof*

IEC 60512-5-2, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 5-2: Current-carrying capacity tests – Test 5b: Current-temperature derating*

IEC 60512-6-4, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 6-4: Dynamic stress tests – Test 6d: Vibration (sinusoidal)*

IEC 60512-11-1, *Connectors for electrical and electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-1: Climatic tests – Test 11a – Climatic sequence*

IEC 60512-11-4, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-4: Climatic tests – Test 11d: Rapid change of temperature*

IEC 60512-11-7, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-7: Climatic tests – Test 11g: Flowing mixed gas corrosion test*

IEC 60512-11-9, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-9: Climatic tests – Test 11i: Dry heat*

IEC 60512-11-10, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-10: Climatic tests – Test 11j: Cold*

IEC 60512-11-12, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 11-12: Climatic tests – Test 11m: Damp heat, cyclic*

IEC 60512-16-4, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 16-4: Mechanical tests on contacts and terminations – Test 16d: Tensile strength (crimped connections)*

IEC 60512-16-7, *Connectors for electronic equipment – Tests and measurements – Part 16-7: Mechanical tests on contacts and terminations – Test 16g: Measurement of contact deformation after crimping*

IEC 60947-1:2020, *Low-voltage switchgear and controlgear – Part 1: General rules*

IEC 60999-1, *Connecting devices – Electrical copper conductors – Safety requirements for screw-type and screwless-type clamping units – Part 1: General requirements and particular requirements for clamping units for conductors from 0,2 mm² up to 35 mm² (included)*

IEC 61191-1:2018, *Printed board assemblies – Part 1: Generic specification – Requirements for soldered electrical and electronic assemblies using surface mount and related assembly technologies*

ISO 1463:2021, *Metallic and oxide coatings – Measurement of coating thickness –*

Microscopical method

ISO 6722-1, *Road vehicles – 60 V and 600 V single-core cables – Part 1: Dimensions, test methods and requirements for copper conductor cables*

ISO 6722-2, *Road vehicles – 60 V and 600 V single-core cables – Part 2: Dimensions, test methods and requirements for aluminium conductor cables*

ISO 10447, *Resistance welding – Testing of welds – Peel and chisel testing of resistance spot and projection welds*

ISO 21747:2006, *Statistical methods – Process performance and capability statistics for measured quality characteristics*

3 Terms and definitions

For the purpose of this document, the terms and definitions of IEC 60050-581, IEC 60512-1 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminology databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

3.1

ultrasonic welding

welding with pressure in which mechanical vibrations of high frequencies and of low amplitude, superimposed on a static force, make a weld between the two workpieces to be joined at a temperature well below the melting point of the material

[SOURCE: ISO /TR 25901-3:2016, 2.2.1.6.1]

3.2

ultrasonic welding machine – ultrasonic welding system

system for ultrasonic welding consisting of an ultrasonic generator, an ultrasonic converter, a sonotrode and the necessary electrical and mechanical accessories to operate it

Note 1 to entry: Figure 1 shows the construction of an ultrasonic welding system specifically designed for splicing wire.

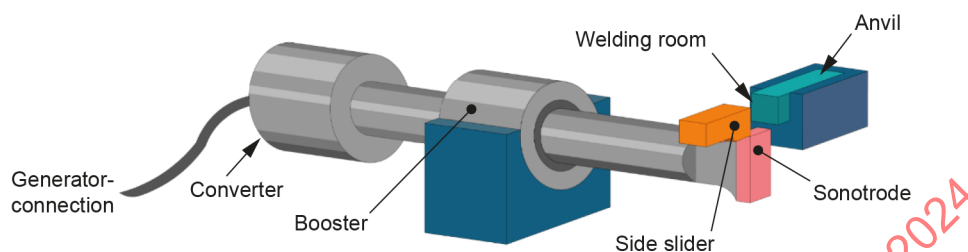


Figure 1 – Ultrasonic welding machine designed to make splices between at least two wires

3.3

ultrasonic generator

source that generates high frequency electrical energy to the ultrasonic transducers

3.4

ultrasonic converter

device that takes electrical energy at an ultrasonic frequency and converts it into mechanical oscillations

3.5

sonotrode

component that transmits ultrasonic vibrations directly to the parts to be welded

3.6

vibration booster

intermediate member between the converter and the sonotrode, amplifying the ultrasonic oscillations

3.7

surface plate

anvil plate

a passive wall located below or to the side of the anvil and separated from the sonotrode by a defined gap to prevent contact and any possible damage to tools

Note 1 to entry: A surface or anvil plate is foreseen only in a splice welding machine, which is a subset of ultrasonic welding machine.

3.8

ultrasonic side slider

device used to adjust the welding width

Note 1 to entry: The ultrasonic side slider is a device used to control the width of welding and can be positioned either over the sonotrode or above the anvil depending on the type of ultrasonic welding machine.

3.9

anvil

a component of the ultrasonic welding machine, located on the opposite side of the horn and forming one wall of the welding room

3.10

ultrasonic welding room

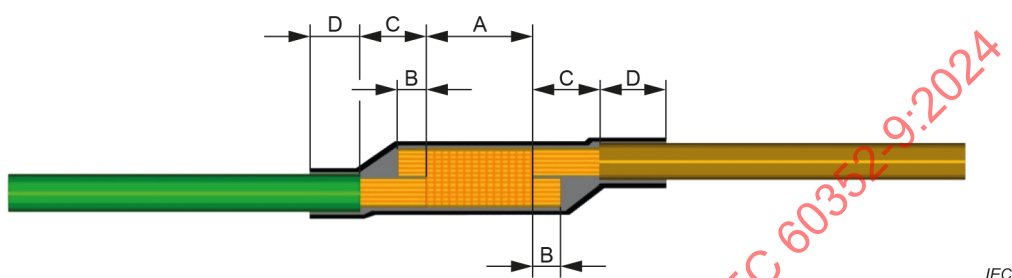
application specific area designed for inserting the materials and components that need to be welded together

3.11

ultrasonically welded splice length

system-specific area of the sonotrode, which defines the length of the weld package

Note 1 to entry: See Figure 2.



Key

- A splice's length
- B wire overhang at the end of the splice
- C distance between insulation and splice
- D overlapping length of the shrinking tube and wire insulation

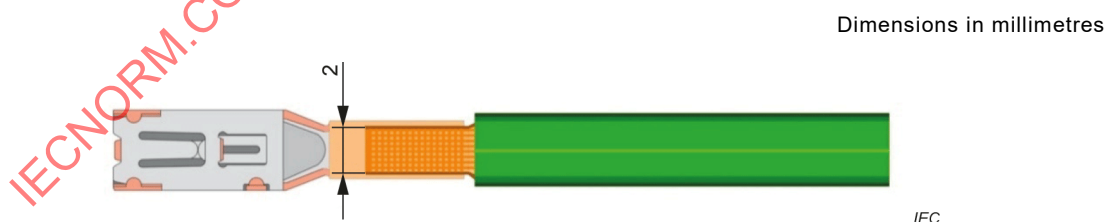
Figure 2 – Ultrasonically welded splice of two wires protected by a shrinking tube

3.12

ultrasonic weld width

is defined by the passive tools of the welding machine that form the welding room

Note 1 to entry: See Figure 3.



Key

- 2 weld width

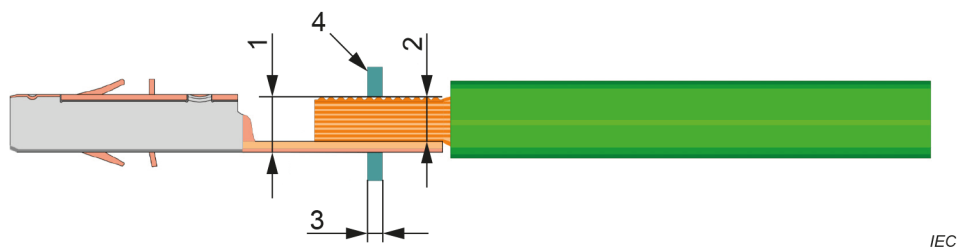
Figure 3 – Top view of an ultrasonically welded wire on a terminal

3.13

ultrasonic weld height

height of the weld material (i.e., strands)

Note 1 to entry: See Figure 4.

**Key**

- 1 height including welding pad
- 2 welding height
- 3 measuring tool width
- 4 measuring tool

Figure 4 – Side view of an ultrasonically welded wire on a terminal

3.14**ultrasonically welded end compaction**

wire whose strands are welded together at one non-insulated end

Note 1 to entry: See Figure 5.



Figure 5 – Ultrasonically welded end compaction

3.15**ultrasonic compaction ratio**

ratio of the cross-sectional area of the welded wires to the cross-sectional area of the sum of all strands to be welded

3.16**ultrasonic weld package**

welded connection of strands with each other or in connection with components, in relation to package length and package width

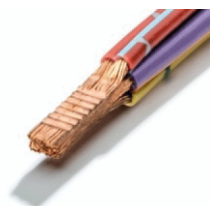
3.17**ultrasonically welded splice connection****inline splice**

package that has two or more wires welded together in the axial direction

3.18**ultrasonically welded end splice**

way to securely connect two or more wires together in one direction

Note 1 to entry: See Figure 6.



IEC

Figure 6 – Ultrasonically welded end splice connection

4 Wire and terminal information

4.1 Conductor materials

Stranded (class 2), flexible (class 5) and more flexible than class 5 (class 6) conductors (as defined in IEC 60228) are normally used for ultrasonically welded connections.

The maximum total cross-sectional area of copper wire in a bundle should not exceed 200 mm², while the smallest size allowed is 0,08 mm². Conductors made from aluminium or its alloys should be at least 2,5 mm² in size. Experience shows that these materials may not work safely at smaller sizes.

The conductor insulation shall have a defined distance from the weld so that the heating during welding does not change the physical properties of the insulation.

During ultrasonic welding, it is important to remember that the temperature of the conductor insulation should not reach the flash point of the material. If there are single melting points or slight melts in the insulation, then this should be accepted as it has no effect on the function.

The suitability of the materials of the electrical conductors and terminals to be welded shall be tested (e.g., ultrasonically weld two pieces of the same wire together to perform the peel force test, 7.3.3. For terminals with the largest and smallest cross-sectional area, perform the pull force test 7.3.5).

4.2 Conductor surface coating

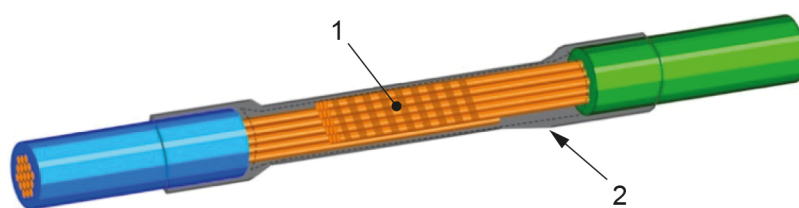
Bare (plain) conductors are normally used.

Conductors with tin surface coatings shall be not used, all other coatings shall be tested.

5 Requirements for ultrasonic welding

5.1 Examples of ultrasonically welded connections

Examples of ultrasonically welded connections covered by this document are provided in Figure 1 through Figure 16.



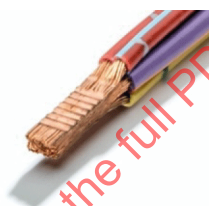
IEC

Figure 7 – Welding zone (1) for two stripped wires with heat shrink tubing (2) for insulation



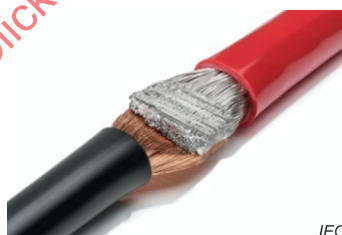
IEC

Figure 8 – Ultrasonically welded end compaction



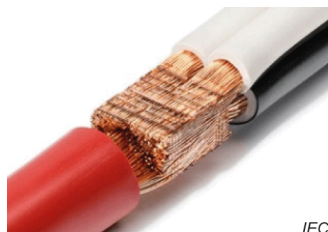
IEC

Figure 9 – Ultrasonically welded end splice



IEC

Figure 10 – Ultrasonically welded inline splice Cu-Al



IEC

Figure 11 – Ultrasonically welded inline splice Cu-Cu



Figure 12 – Example 1 of ultrasonic welding on terminals



Figure 13 – Example 2 of ultrasonic welding on terminals



Figure 14 – Example 3 of ultrasonic welding on terminals



Figure 15 – Example 4 of ultrasonic welding on terminals



Figure 16 – Example of multiple wires welded to one terminal

5.2 General requirements

Materials of the wires to be welded shall fulfil the following design requirements.

Only wires that are proved as weldable shall be used.

Many wire manufacturers now provide information on the ultrasonic weldability of their wires, at least upon request. If the wire manufacturer does not provide any information on this, you can also perform the test yourself. The peel test described in 7.3.3 is very suitable for testing a wire. Weld two pieces of the wire to be tested together. Three specimens should exceed the values given in Table 9 or Table 10.

While it is ideal to store cut or stripped wires in temperatures between +15 °C and +35 °C and with a relative humidity of 75 %, it is often difficult to maintain such conditions in practice. In order to prolong the lifespan of the wire, even if these requirements are not always met, the functionality of the wire should be tested regularly. This can help to ensure that wires stay reliable, despite any environmental obstacles.

In welding processes, FOD (foreign object debris) can be a major concern. FOD can come from many sources: a wire manufacturer's manufacturing process, the environment, or even improper handling before welding. To ensure that there is minimal contamination in the weld area, it is important to try and remove any foreign particles when possible. Unfortunately, this is not always possible with wires due to their inherent nature of bringing particles into the weld zone. Insulating residues present on the wire could cause heavy contamination if not removed. In these cases, a solution should be considered to minimize the risk of damage caused by these contaminants.

Cracks or fractures in the weld package shall be not allowed.

The tool imprint shall be clearly visible on the package surface.

To reduce the possibility of failure during ultrasonic welding, it is important to ensure that there are no missing, loose, squeezed, or protruding strands from the wire cutting and stripping process. Unfortunately, although this criterion can be set in theory, it is practically impossible to achieve and guarantee optimum results. As a result of the ultrasonic welding process, metal undergoes deformation which may cause individual strands to show traces outside of the welding zone. While this is an unavoidable factor, every effort should be made to minimize potential breakages or shearing off of strands.

All lubricants or other external influences in the process shall be avoided.

When inserting the wires, the larger cross-sectional areas shall be inserted at the sonotrode side (most splice welders at the bottom, on terminal welding machines usually at the top).

The delivered wires should comply with the wire manufacturer's specifications and shall not be twisted, reworked, or altered in any other way by manual operation or the machine.

All strands of a conductor shall lie completely lengthwise in the welding zone.

The wires should be inserted asymmetrically, because symmetrically welded wires have a lower peel strength.

The constructional dimensions, the mechanical peeling protection (for multi-core connections) and the insulation specifications shall be observed.

After the ultrasonic welding process, a visual inspection of the package shall be carried out.

5.3 Influence of wire length for welds at the other end of terminal connections

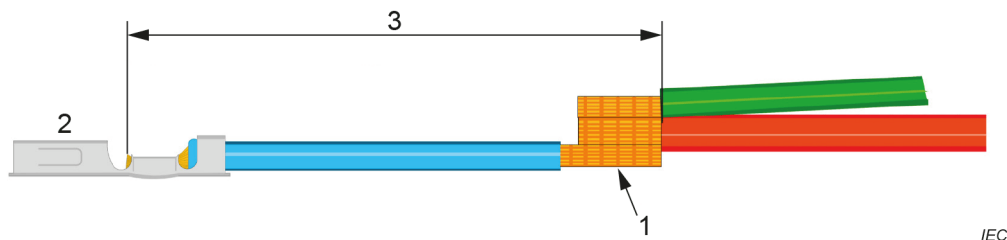


Figure 17 – Illustration of the conductor length (3) between terminal (2) and welded package (1)

When ultrasonic welding a wire that already has a termination at the opposite end (Figure 10), part of the ultrasonic excitation is transmitted along the wire and may induce potential functional/quality issues with the existing termination.

The probability of such changes in the terminal increases:

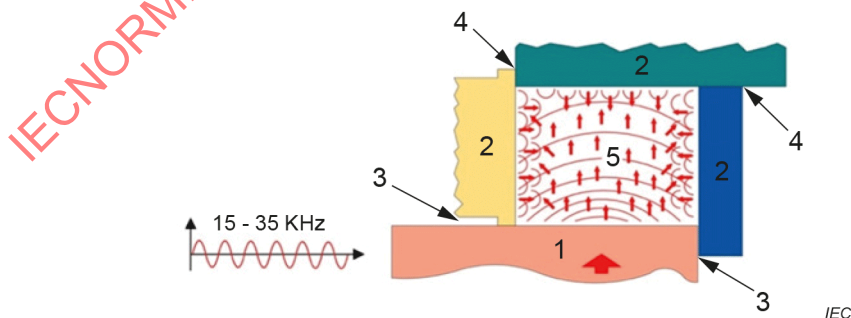
- the shorter the conductor is,
- the larger the total cross-sectional area of the welded termination is.

It is recommended to check the lengths specified by the contact part manufacturer before selecting a minimum length specification for wires between the first welded terminal and the second weld, as effects on the terminals may be observed at lengths below 400 mm (see Figure 17).

Make sure to use an adequate inspection tool when examining the termination at the opposite end for defects. This could include a magnifying glass or microscope, as certain types of damage may not be visible without the help of magnification.

5.4 Design requirements

The red arrow in Figure 18 illustrates the direction of propagation of the ultrasound, and not the movement of the sonotrode or a direction of force. The ultrasonic energy is then transmitted through the sonotrode (1) and can be seen radiating outwards in a cylindrical pattern, impacting surfaces (2) with gap (3) and without gap (4) in the welding room (5).

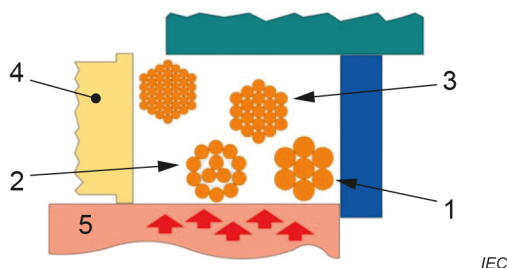


Key

- 1 sonotrode
- 2 surfaces
- 3 with gap
- 4 without gap
- 5 welding room

Figure 18 – Cross-sectional view of ultrasonic propagation through the sonotrode in the welding room, against passive surfaces with and without gap between the tools

Figure 19 shows in cross-sectional view the recommended asymmetrical insertion for the individual conductors above the sonotrode (5) in the welding room, large-sized wires (1), medium-sized wires (2), small-sized wires (3), smallest-sized wires (4).

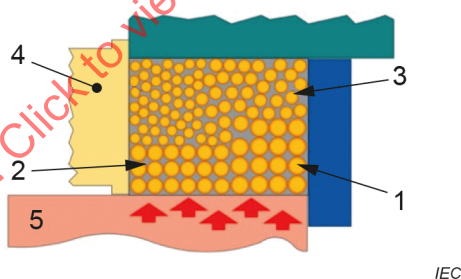


Key

- 1 large-sized wires
- 2 medium-sized wires
- 3 small-sized wires
- 4 smallest-sized wires
- 5 sonotrode

Figure 19 – Cross-sectional view of recommended asymmetrical insertion for the individual conductors above the sonotrode in the welding room

Figure 20 shows in cross-section an alternative view of the recommended insertion/placement of the individual conductors above the sonotrode (5) in the welding room: wires with large-sized strands (1), wires with medium-sized strands (2), wires with small-sized strands (3), wires with smallest-sized strands (4).



Key

- 1 large-sized wires
- 2 medium-sized wires
- 3 small-sized wires
- 4 smallest-sized wires
- 5 sonotrode

Figure 20 – Cross-sectional alternative view of the recommended asymmetrical insertion for the individual conductors above the sonotrode

Table 1 provides empirical values that can be used as a guide for the application shown in Figure 21.

These values should not be considered as requirements. The table serves as a starting point or guide for decision making, but further research and analysis may be required for more specific applications.

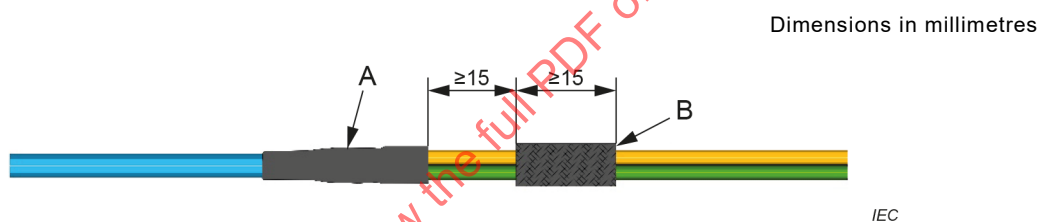
Table 1 – Ultrasonically welded packages suggested values

Splice cross-sectional area S mm ²		S < 1	1 ≤ S < 4	4 ≤ S < 10	10 ≤ S < 25	S ≥ 25
A	Splice length ^a mm	5 – 16	5 – 16	7 – 16	10 – 16	10 – 19
B	Wire overhang at end mm	> 0,5	< 1	> 1	< 1,5	< 2
C	Insulation distance mm	1	2	3	4	< 5
D	Insulation overlap mm	3	4	> 5	> 8	> 10
^a Heat shrink tubing should not be pierced, or an adhesive tape can be used as an alternative. Values given in Table 1 are only indicative and wire lengths can remain the same regardless of cross-section. This depends on the tool used by the machine manufacturer.						

5.5 Mechanical and electrical protection of the weld package

The welding package shall be insulated with approved materials according to the design specifications.

For optimal safety, welds should be protected with a peel guard and aim for at least 80 N of peeling force. For strands smaller than 0,35 mm², additional wrapping with adhesive tape is advised, see Figure 21, Figure 22 and Figure 23.

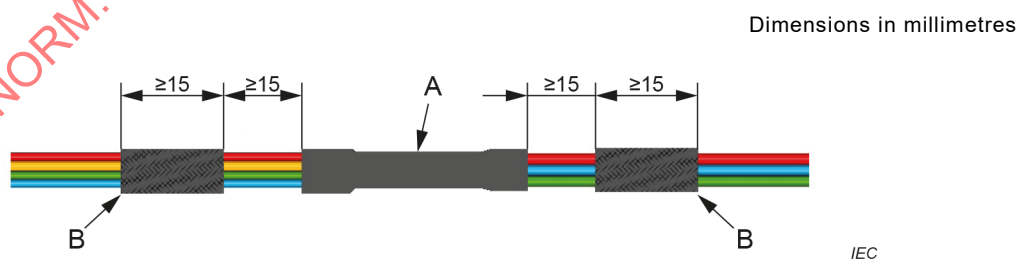


NOTE 1 For A, use heat shrinkable tubing or fabric tape, using at least 2,5 layers of tape.

NOTE 2 For A, use fabric tape, using at least 2,5 layers of tape.

NOTE 3 Fabric tape can only be used for dry applications.

**Figure 21 – Insulation measures at the inline splice
from one conductor to several conductors**



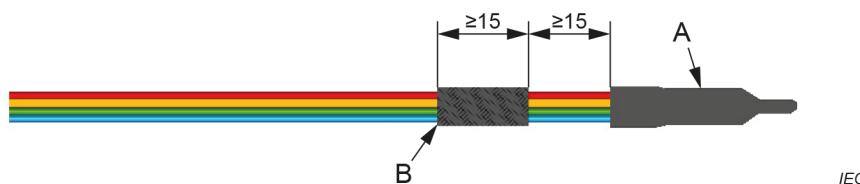
NOTE 1 For A, use heat shrinkable tubing or fabric tape, using at least 2,5 layers of tape.

NOTE 2 For A, use fabric tape, using at least 2,5 layers of tape.

NOTE 3 Fabric tape can only be used for dry applications.

**Figure 22 – Insulation measures at the feed-inline splice
with several conductors on both sides**

Dimensions in millimetres



NOTE 1 for A, use heat shrinkable tubing or fabric tape, using at least 2,5 layers of tape.

NOTE 2 for A, use fabric tape, using at least 2,5 layers of tape.

NOTE 3 fabric tape can only be used for dry applications.

Figure 23 – Insulation measures at the end splice with several conductors (end sealed)

5.6 Conductor combinations – requirements

It is recommended that no more than 20 conductors be allowed in a splice, as it is not feasible for an operator to handle more than 8 wires when running series production.

It is recommended that the smallest conductor be assigned to the splice cross-sectional area according to Table 2. This allows for a theoretical minimum of 9 % reliability in detecting missing wires and can potentially go down as low as 5 %. However, a weld package of 5 mm² makes it difficult to detect a 0,35 mm² wire, which is the limit of current technology.

Table 2 – Conductor combinations

Smallest permissible wire in welding splice / permissible number of conductors mm ²						
Splice cross-sectional area	1 to 5	>5 to 10	>10 to 15	>15 to 20	>20 to 30	>30 to 50
Cross-sectional area smallest wire	0,35	0,5	0,75	1	1,5	2,5
It is recommended that no more than 20 conductors be allowed in a splice, as it is not feasible for an operator to handle more than 8 wires when running series production.						

If a splice does not fulfil the above conditions, it shall be split into several splices.

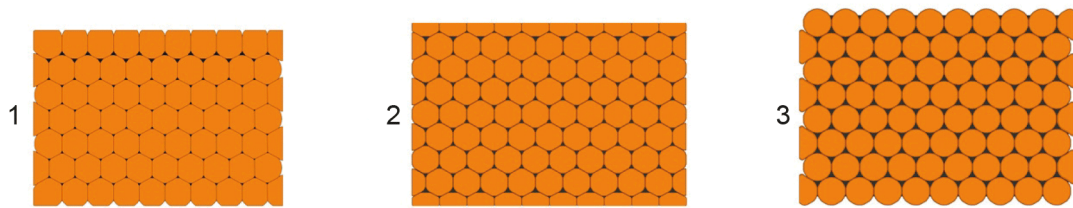
For connecting wires, the maximum cross-sectional area which fulfils the combination conditions of the splices considering the permissible current load of this wire.

It is recommended that splices be arranged at a minimum distance of 50 mm apart to prevent them from affecting each other.

5.7 Compaction ratio of ultrasonically welded connections

It is recommended that pull-off force measurements be used as the primary criterion for evaluation, while compaction ratio measurements should be conducted only during the release process and not during regular production. All strands of the individual cores shall be deformed and connected to each other.

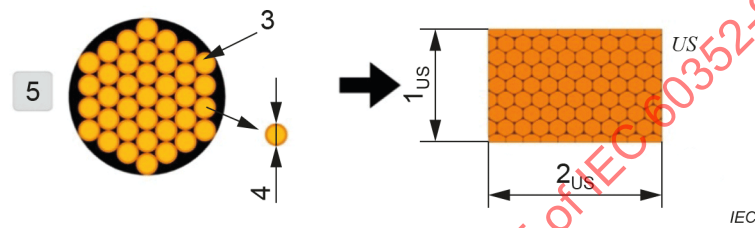
The degree of compaction ratio (V) should be between 95 % and 120 % and between 60 % and 115 % for aluminium wires. Figure 24 shows schematically the cross-section of ultrasonically welded Cu-wire with strong 95 % (1), balanced 107 % (2) and weak 120 % (3) compaction ratio.



IEC

Figure 24 – Cu-wire compaction ratio from strong to weak layout

Figure 25 shows conductor before and after welding with weld height (1), weld width (2), strand (3), strand diameter (4) and conductor cross-sectional area A_5 (5).



IEC

Key

- 1 weld height
- 2 weld width
- 3 strand
- 4 strand diameter
- 5 conductor cross-sectional area

Figure 25 – Conductor before and after welding

Calculation of the conductor area shall be according to formula (1) or calculate per weight method in ISO 6722-1 or ISO 6722-2.

$$A_5 = \frac{n_3 \times d_4^2 \times \pi}{4} \quad (1)$$

where

- A_5 is the conductor area;
- n_3 is the number of strands;
- d_4 is the diameter of each strand.

Calculation of the ultrasonically welded cross-sectional area:

$$A_{US} = 1_{US} \times 2_{US} \quad (2)$$

where

- A_{US} is the splice area;

1_{US} is the package height;

2_{US} is the package width.

Calculation of the compaction ratio:

$$V_{US} = \frac{A_{US}}{A_5} \times 100 \quad (3)$$

where

V_{US} is the compaction ratio (%);

A_{US} is the welded cross-sectional area;

A_5 is the conductor area.

6 Specimens

6.1 General

If assembly is required for a test, the specimens shall be fixed using the usual assembly technique, unless otherwise specified by the detail product specification.

Before testing, the required types of specimens shall be prepared in the specified number.

6.2 Type A1 or A2 specimen

For electrical measurements, type A1 and A2 specimens (see Figure 26 and Figure 27) are recommended for use with a length of 200 mm. For mechanical tests, the length can be chosen freely as long as all the wires in the group have the same length; this should be noted in the test report. All wires should be identical; it is not recommended to mix different types.



Figure 26 – Type A1 specimen



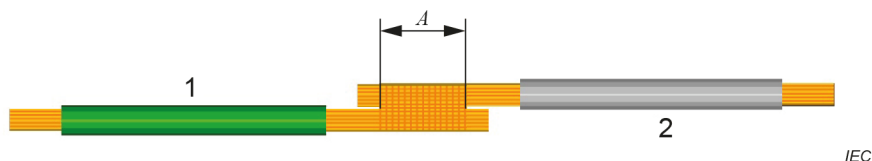
Figure 27 – Type A2 specimen

NOTE Several different wire types e.g. (1), (2), (3) and (4).

To achieve an optimal electrical connection, A1 or A2 specimens should have their stripped ends prepared by compacting, welding, soldering, crimping, or using another suitable method.

6.3 Type B1 or B2 specimen

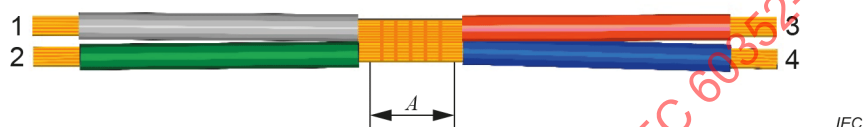
A type B1 or B2 specimen consists of at least two wires (type 1 and type 2, maximum 20, see 5.6) at a splice.



Key

- 1 wire type 1
- 2 wire type 2
- A length of ultrasonically welded splice

Figure 28 – Type B1 specimen, inline splice with two wires type 1 and type 2



NOTE Inline splice with four wires type 1, type 2, type 3 and type 4.

Figure 29 – Type B2 specimen

Specimen type B1 or B2, grade 1, 2, 3, 4 (and following, maximum 20 cores).

For electrical measurements, type B1 and B2 specimens (see Figure 28 and Figure 29) are recommended for use with a length of 200 mm. For mechanical tests, the length can be chosen freely as long as all the wires in the group have the same length; this should be noted in the test report. All wires should be identical please do not mix different types.

To achieve an optimal electrical connection, B1 or B2 specimens should have their stripped ends prepared by compacting, welding, soldering, crimping, or using another suitable method.

6.4 Type C specimen

A type C specimen consists of at least two wires (type 1 and type 2, maximum 20 cores, see 5.6) at a wire end splice connection.

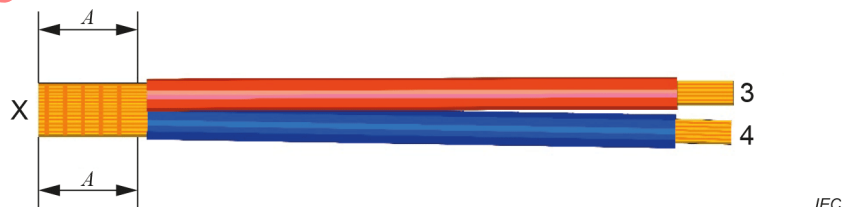


Figure 30 – Type C specimen, end-splice connection with type 3 and type 4 wires

Type C specimen at the end splice (X), grade: 1, 2, 3, 4 (and following, maximum 20 cores).

For electrical measurements, specimens are recommended for use with a length of 200 mm, see Figure 30. For mechanical tests, the length can be chosen freely as long as all the wires in the group have the same length; this should be noted in the test report. All wires should be identical, do not mix different types.

To achieve an optimal electrical connection, specimens should have their stripped ends prepared by compacting, welding, soldering, crimping, or using another suitable method.

6.5 Type D specimen

A type D specimen, see Figure 31, consists of a wire to terminal welded connection.



Figure 31 – Type D specimen at the wire to terminal connection

For electrical measurements, specimens are recommended for use with a length of 200 mm. For mechanical tests, the length can be chosen freely as long as all the wires in the group have the same length; this should be noted in the test report. All wires should be identical, do not mix different types.

To achieve an optimal electrical connection, specimens should have their stripped ends prepared by compacting, welding, soldering, crimping, or using another suitable method.

7 Tests

7.1 General information about tests

7.1.1 General conditions for product qualification tests

All tests should be performed under the general test conditions outlined in IEC 60512-1. These conditions involve temperatures from -15°C to 35°C , relative humidity from 25 % to 75 %, and atmospheric pressure from 86 kPa to 106 kPa. The test report should also include the temperature and relative humidity that were measured during the test.

In case of disagreement on test results, the test shall be repeated in a standard atmosphere for referee measurements according to 4.2 of IEC 60068-1:2013.

7.1.2 Pre-conditioning

Unless otherwise specified by the detail specification, the welded packages shall be pre-treated under the general test conditions for 24 h in accordance with IEC 60512-1.

7.1.3 Recovery

Unless otherwise specified by the detail specification, the specimens shall recover after exposure for a period of 1 h to 2 h under the general test conditions before further testing or application.

7.2 Visual optical inspection (VOI) with dimensional checks

7.2.1 General

These tests shall be performed in accordance with test 1a of IEC 60512-1-1 and test 1b of IEC 60512-1-2.

7.2.2 Magnification aids (visual optical inspection, VOI)

Visual inspection is an important part of ensuring the quality of components. Table 3 recommends optical magnifications that should be used to select the appropriate test equipment for the task. The capabilities of all measuring instruments that may be used should be taken into account and magnification aids should be kept calibrated and up to date before starting visual inspection. Doing so can ensure accurate results and a successful visual inspection.

Table 3 – Magnification suggestions for visual inspection

Wire cross-sectional area mm ²	Magnification	Reference magnification ^a
> 1,5	1,5	1,75x
0,75 ≤ 1,5	1,5x to 3x	4x
0,35 ≤ 0,75	3x to 7,5x	10x
0,08 ≤ 0,35	10x	20x
^a Reference magnification should only be used when a defect is discovered and cannot be identified in its entirety.		

7.2.3 Visual inspection of the ultrasonic splice welding

All specimens shall be visually inspected according to test 1a of IEC 60512-1-1.

Dimensions shall be checked according to test 1b of IEC 60512-1-2.

Type B1 or B2 or C specimens shall be used.

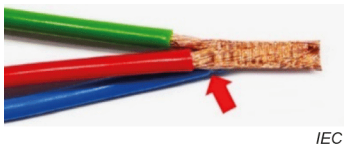
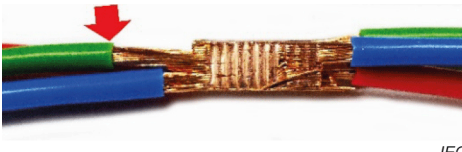
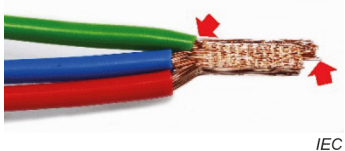
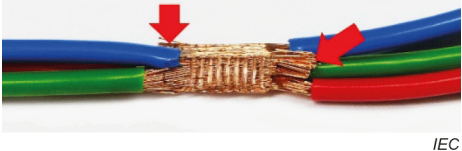
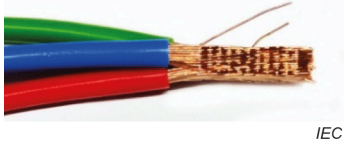
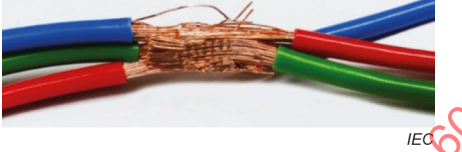
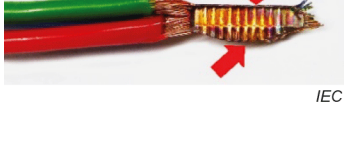
The visual inspection includes the measurement of the specified dimensions (see 7.2.3) and the calculation of the compaction ratio of the ultrasonic weld according to 5.7, Figure 23 and Figure 24, and formulae (1), (2) and (3).

The visual examination of each ultrasonic splice weld (inline or end splice) is performed in accordance with the instructions of Table 4 and Table 5.

Table 4 – Example of good welds for end splices and inline splices

End splice	Inline splice	Comment
 IEC	 IEC	correct good welding

Table 5 – Representation of error characteristics for end splices and inline splices

No.	End splice	inline splice	Comment
(a)			Wire too far outside
(b)			Wire too far inside
(c)			Single loose strands
(d)			Insulation in the weld splice
(e)			Welding splice over welded Deformations or insulation melted Colour changes are not a quality criterion

7.2.4 Visual inspection of ultrasonically welded wire to terminal

All specimens shall be visually inspected according to test 1a of IEC 60512-1-1.

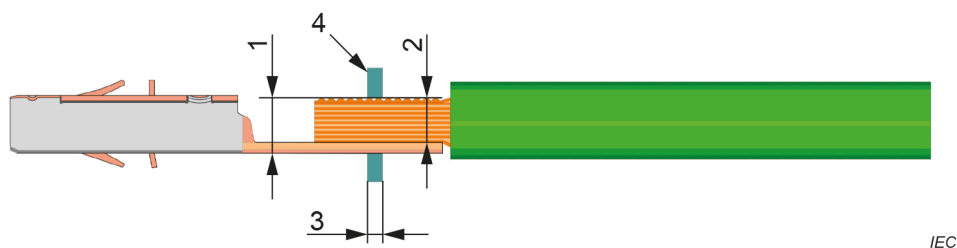
The dimensions shall be checked according to test 1b of IEC 60512-1-2.

Type D specimens shall be used.

All requirements shall be checked according to the terminal manufacturer's specifications.

The visual inspection includes the measurement of the specified dimensions (see 7.2.3) and the calculation of the compaction ratio with height (2) in Figure 32 of the ultrasonic weld according to 5.7, Figure 24 and Figure 25, and formulae (1), (2) and (3).

The height (Figure 32 (2)) of the weld, in this document only the welded material (i.e., strands) is meant. Many application specifications will specify the welding height (Figure 32 (1)), along with the sheet thickness of the contact. This is because it is simpler to measure the welding height accurately by using either a calliper gauge (Figure 32 (4)) or an outside micrometre. For both instruments to be up to the task, their discs (Figure 32 (3)) should be larger than the distance between hills for accurate measurements to be taken. See also Figure 33.



Key

- 1 height including welding pad
- 2 welding height
- 3 measuring tool width
- 4 measuring tool

Figure 32 – Measurement of the ultrasonic weld height

Dimensions in millimetres



Figure 33 – Measurement of the ultrasonic weld width (2)

In addition, the requirements, and notes in Table 6 and Table 7 shall be applied.

Table 6 – Valid features of ultrasonically welded wire on terminal

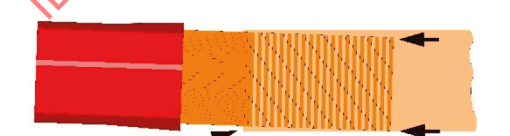
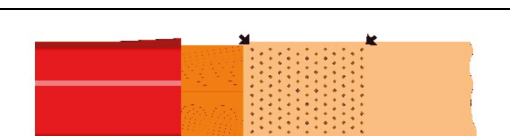
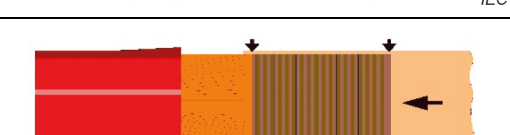
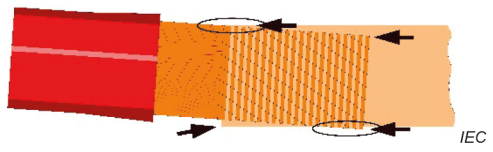
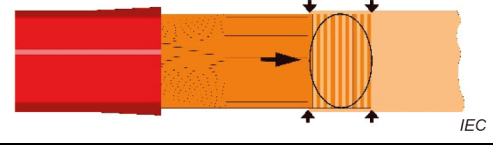
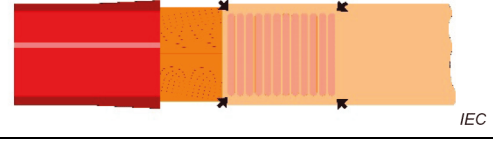
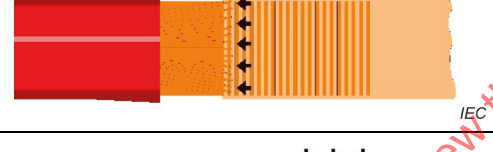
No.	Figure	Note	Comment
(a)		Requirements fulfilled according to the dimensions	Correct Good welding
(b)		Offset: edge completely visible on both sides, Dimensions fulfilled	Good welding
(c)		Inclined position: edge completely visible on both sides and dimensions fulfilled	Good welding
(d)		Imprint of the anvil visible on the component (In special applications when the component is fixed sideways, there are no imprints)	Good welding
(e)		Colour changes are not a quality criterion	Good welding

Table 7 – Non-valid features of ultrasonically welded wire on terminal

No.	Figure	Note	Comment
(a)		Sloping position: edge only visible on one side	Bad – Part
(b)		Incorrect tool alignment: weld no longer completely on the terminal	Bad – Part
(c)		Insertion depth of the wire too short	Bad – Part
(d)		Tool wear: no clear indication of the anvil profile on the component	Bad – Part
(e)		More than 3 % strands cut off after the welding process	Bad – Part
(f)		Protruding, too long wires shall not protrude beyond the welding zone	Bad – Part
(g)		Protruding wires at the lower part (base) of the welded package are not allowed	Bad – Part
(h)		Overhanging wires that are too long shall not project beyond the welding zone	Bad – Part

7.3 Mechanical tests

7.3.1 Bending test inline splice

Type B1 or B2 specimens shall be used.

Figure 34 shows schematic the bending test with one wire (1), second wire (2), fixation (3) and the actuation point (4).

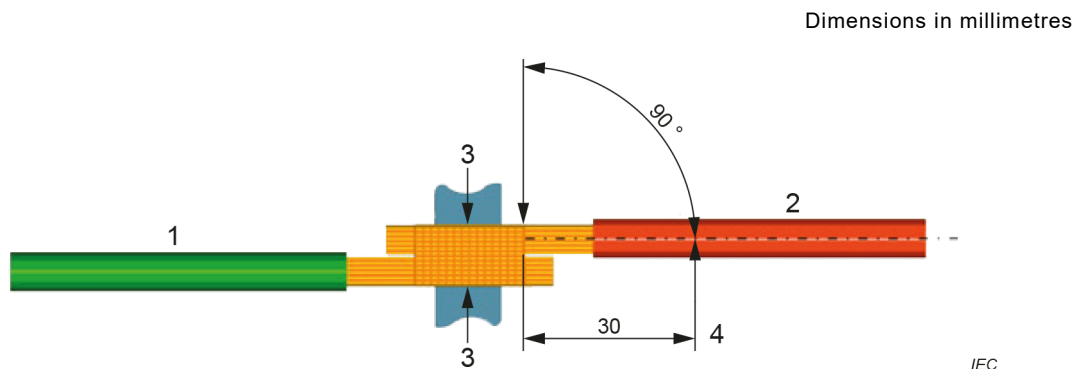


Figure 34 – Bending test setup schematic illustration

The splice is in a fixed position and cannot be moved. Its top wire is bent twice at a 90° angle, then returned to its original position with an actuation point 30 mm away from the splice.

The following requirements shall be met:

- no strands shall break at the transition to the welding zone;
- no strands shall become loose at the package.

7.3.2 Bending test on ultrasonically welded wire to terminal

Type D specimens shall be used. Tests should be conducted on cross-sectional areas of up to and including 35 mm².

Figure 35 shows schematic setup for the bending test with weld package (1), fixation (2), wire (3), terminal (4) and actuation point (5).

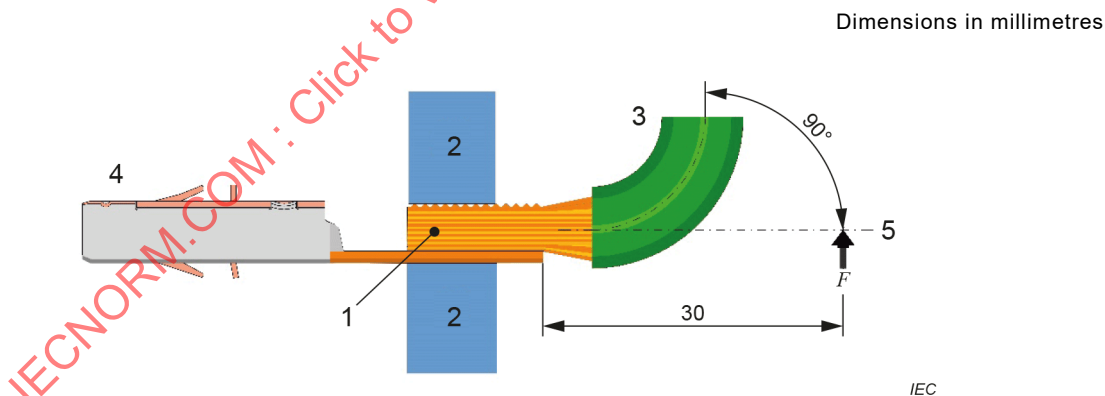


Figure 35 – Terminal bending test setup schematic illustration

The terminal is in a fixed position and cannot be moved. Its top wire is bent twice at a 90° angle, then returned to its original position with an actuation point 30 mm away from the terminal.

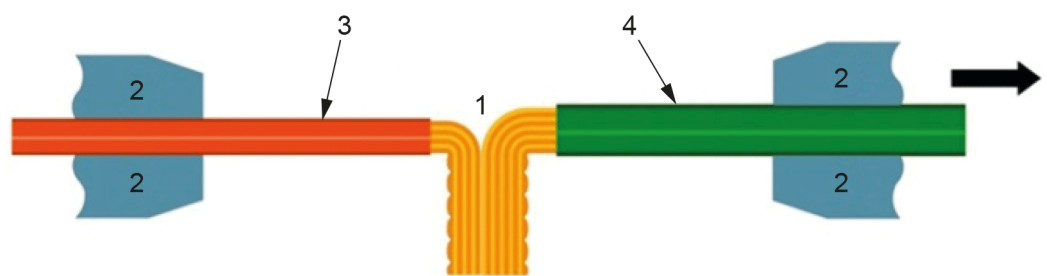
The following requirements shall be met:

- no strands shall break at the transition to the welding zone;
- no strands shall become loose at the weld package.

7.3.3 Peel test of the splice

The peel test shall be carried out in accordance with ISO 10447 and according to the setup shown in Figure 36.

Type C specimens shall be used.



IEC

Key

- 1 splice
- 2 fixation
- 3 conductor type 1
- 4 conductor type 2

Figure 36 – Test setup for peel tests

In each splice type, the smallest conductor cross-sectional area shall be checked (see also Table 4 and Table 5).

Pulling speed: 50 ± 5 mm/min.

Select wires at the splice with the strands lying on the anvil-side package surface.

The cross-sectional area of the second conductor shall be larger than that of the conductor to be tested; if necessary, several conductors are combined and fixed.

Table 8 – Peel force values for ultrasonically welded splices of copper wires

Cu-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum peeling force N
0,08	28	4
0,15	26	5
0,35	22	12
0,5	21	15
0,6	20	18
0,75	19	23
1	18	35
1,5	16	45
2	14	58
2,5	13	70
4	12	100
6	10	130
10	8	150
12	7	200
14	6	240
16	5	270
20		330

Cu-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum peeling force N
25	4	410
35	3	570
40	2	650
50	1	800
70	0	1 100
85	2/0	1 300
95	3/0	1 500
110		1 750
120	4/0	1 900
150	250	2 400
160	300	2 500
200	400	3 200

Table 9 – Peel force values for ultrasonically welded splices of aluminium wires

Al-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum peeling force N
2,5	13	40
4	12	48
6	10	52
10	8	56
12	7	60
14	6	65
16	5	70
20		77
25	4	90
35	3	100
40	2	116
50	1	135
70	0	175
85	2/0	200
95	3/0	222
110		250
120	4/0	270
150	250	330
160	300	350
200	400	430

Missing values (X) shall be investigated according to the materials and agreed between customer and manufacturer.

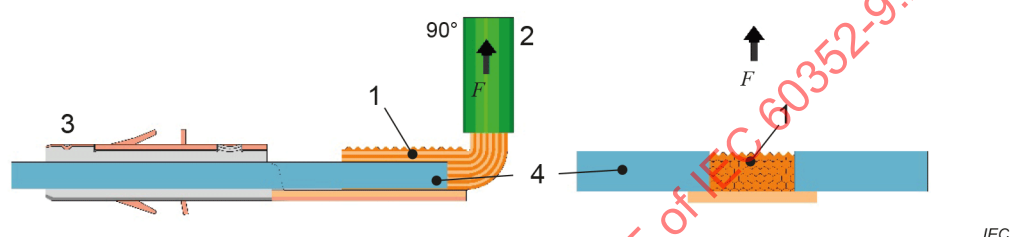
Peel test values for cross-sectional areas above the values given in Table 8 and Table 9 shall be determined by tests, as defined peelings cannot always be achieved due to the higher cross-sectional areas. Abrupt tearing/breaking can occur without any visible peeling.

7.3.4 Peel tests of the terminal-welded package

Perform the peel tests according to ISO 10447, using the setup as shown in Figure 37.

Type D specimens shall be used. Tests shall be conducted on cross-sectional areas up to 35 mm². However, for big cross-sections, reliable results from a peel test cannot be assured because the welded package needs to be torn down completely rather than in small increments.

The test shall be performed with a speed of 50 ± 5 mm/min. See Table 10 and Table 11 for peel force values for copper and aluminium wires.



Key

- 1 ultrasonically welded package
- 2 wire
- 3 terminal
- 4 fixations

Figure 37 – Test setup for the peel test, fixation (4), side fixations with a protrusion of 1,0 mm each on the terminal surface, ultrasonically welded package (1), terminal (3)

Table 10 – Peel force values for ultrasonically welded copper wires on terminals

Cu-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum peeling force N
0,08	28	3
0,22	24	10
0,35	22	11
0,5	21	17
0,6	20	18
0,75	19	24
1	18	34
1,5	16	45
2	14	50
2,5	13	55
4	12	70
6	10	75
10	8	80
12	7	100
14	6	130

Cu-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum peeling force N
16	5	150
20		180
25	4	220
35	3	300

Table 11 – Peel force values for ultrasonically welded aluminium wires on terminals

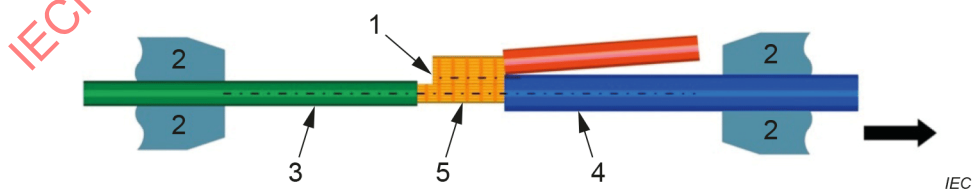
Al-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum peeling force N
2,5	13	40
4	12	48
6	10	52
10	8	56
12	7	60
14	6	65
16	5	70
20		77
25	4	87
35	3	100

7.3.5 Pull-out force tests on ultrasonic splice-welded connections

The test shall be carried out in accordance with test 16d of IEC 60512-16-4, using the setup as shown in Figure 38.

Type B1 or B2 specimens shall be used for this test.

Pull-out force test should be used to check the achieved connection strength of ultrasonically welded "inline-splice".



Key

- 1 splice
- 2 fixations
- 3 conductor type 1
- 4 conductor type 2
- 5 tensile axis

Figure 38 – Test setup for pull-out force test

When clamping the wires, make sure that the two clamped wires are aligned so that no bending moment affects the measurement result.

Likewise, the axial symmetry line of the splice should run parallel to the clamped wires. For a splice type, each conductor cross-sectional area shall be checked.

The test shall be performed with a speed of 50 ± 5 mm/min. See Table 12 and Table 13 for pull-out force values for copper and aluminium wires.

Table 12 – Pull-out force values for ultrasonically welded splices of copper wires

Cu-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum pull-out force N
0,08	28	15
0,35	22	60
0,5	21	80
0,6	20	100
0,75	19	120
1	18	160
1,5	16	225
2	14	250
2,5	13	275
4	12	375
6	10	435
8	9	500
10	8	800
12	7	1 000
14	6	1 025
16	5	1 050
18		1 100
20	4	1 200
25	3	1 350
35	2	1 700
40	1	1 850
50	0	2 200
70	0	3 250
85	2/0	3 400
95	3/0	4 400
110		5 000
120	4/0	5 500
150	250	6 800
160	300	7 200
200	400	9 000

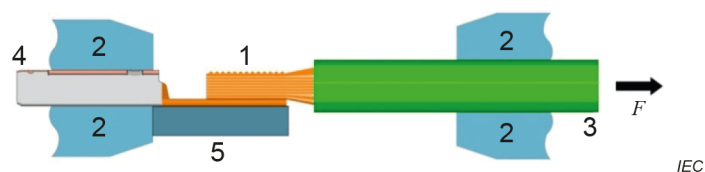
Table 13 – Pull-out force values for ultrasonically welded splices of aluminium wires

Al-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum pull-out force N
2,5	13	200
4	12	260
6	10	300
8	9	350
10	8	400
12	7	450
14	6	500
16	5	550
18		600
20	4	667
25	3	833
35	2	1 155
40	1	1 330
50	0	1 650
70	0	2 200
85	2/0	2 700
95	3/0	3 000
110		3 400
120	4/0	3 700
150	250	4 600
160	300	5 000
200	400	6 000

7.3.6 Pull-out force tests of ultrasonically welded wire-to-terminal connections

The test shall be carried out in accordance with test 16d of IEC 60512-16-4, using the setup as shown in Figure 39. For this test, type D specimens shall be used.

The test shall be performed with a speed of 50 ± 5 mm/min. See Table 14 and Table 16 for pull-out force values for copper and aluminium wires. Table 15 and Table 17 show width package width values and corresponding cross-sectional area for copper and aluminium wires.

**Key**

- 1 weld package
- 2 fixations
- 3 terminal
- 4 terminal
- 5 terminal support

Figure 39 – Test setup for the pull-out force test on welds with electrical conductors on terminal

Table 14 – Pull-out force values for ultrasonically welded copper wires on terminals

Cu-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum pull-out force
		N
0,08	28	15
0,35	22	60
0,5	21	85
0,6	20	102
0,75	19	128
1	18	170
1,5	16	225
2	14	250
2,5	13	275
4	12	375
6	10	480
8	9	640
10	8	800
12	7	1 000
14	6	1 025
16	5	1 050
18		1 100
20	4	1 200
25	3	1 350
35	2	1 700
40	1	1 850
50	0	2 200
70	2/0	3 080
85	3/0	3 740
95		4 180
110	4/0	4 500
120	250	4 800
150	300	6 200
160	400	6 600

Table 15 – Dependence of package width on conductor cross-sectional area for copper wires (recommended)

Cu-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum package width mm
8	9	4
10	8	4
12	7	7
14	6	7
16	5	8
18		8
20	4	9
25	3	9
35	2	11
40	1	13
50	0	15
70	2/0	17
85	3/0	17
95		17
110	4/0	18
120	250	19

Table 16 – Pull-out force values for ultrasonically welded aluminium wires on terminals

Al-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum pull-out force N
2,5	13	200
4	12	260
6	10	300
8	9	350
10	8	400
12	7	450
14	6	500
16	5	550
18		600
20	4	667
25	3	833
35	2	1 167
40	1	1 333
50	0	1 650
70	2/0	1 880
85	3/0	2 000
95		2 050
110	4/0	2 150
120	250	2 600
150	300	3 200
160	400	3 500

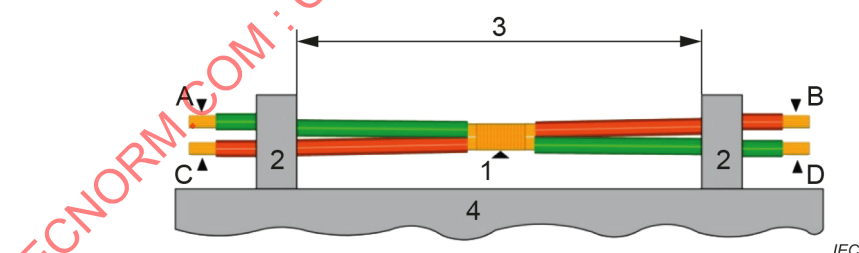
Table 17 – Dependence of package width on conductor cross-sectional area for aluminium wires (recommended)

Cu-wire cross-sectional area mm ²	Equivalent in AWG	Minimum package width mm
8	9	2
10	8	3
12	7	3
14	6	3
16	5	4
18		5
20	4	7
25	3	7
35	2	7
40	1	10
50	0	12
70	2/0	17
85	3/0	20
95		21
110	4/0	25

7.3.7 Vibration test of ultrasonically welded splice connections

This test shall be performed according to test 6d of IEC 60512-6-4 and test Fc of IEC 60068-2-6, using the setup shown in Figure 40 and test conditions in Table 18.

Type B1 or B2 specimens shall be used.

**Key**

- 1 splice
- 2 fixtures
- 3 fixture distance 200 mm
- 4 vibration table

Figure 40 – Test setup for vibration test of the splice

Contact disturbance test shall be performed during the vibration test according to test 2e of IEC 60512-2-5. Unless otherwise specified by the detail product specification, the maximum duration of contact interruption is 1 µs. The duration of the vibration test is 2 h, 4 h or 8 h. The duration is determined according to the type.

Table 18 – Vibration test (sinusoidal) parameters of ultrasonically welded splice connections

Frequency range Hz	10 to 55	10 to 500	10 to 2 000
Crossover frequency Hz	-	57 to 62	57 to 62
Deflection amplitude below the transition frequency mm	0,35	0,35	1,5
Acceleration amplitude above the transition frequency m/s ²	-	50 (5g)	200 (20g)
Test axes	3	3	3
Number of sweeps	5	5	5

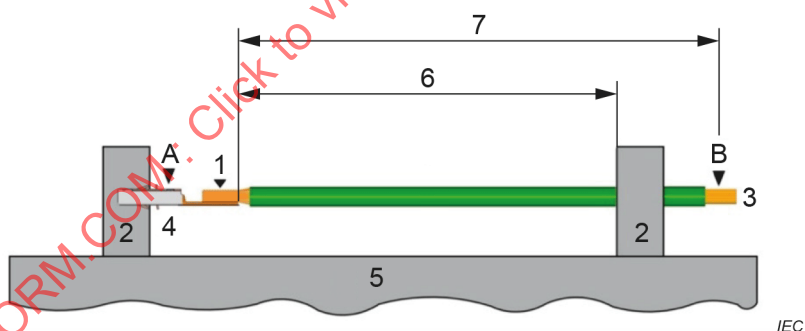
The test severity to be applied and the number of test items shall be specified in the detail specification.

7.3.8 Vibration test of ultrasonically welded wire-to-terminal connections

This test shall be performed according to test 6d of IEC 60512-6-4 and test Fc of IEC 600068-2-6, using the setup shown in Figure 41.

Type D specimens shall be used.

During vibration, wire-to-terminal contact disturbance measurements shall be performed according to test 2e of IEC 60512-2-5.



Key

- 1 ultrasonically welded package
- 2 fixed locations on vibration table
- 3 wire
- 4 terminal
- 5 vibration table
- 6 distance from part to fixed location on vibration table
- 7 length of reference wire with counter-contact connector

Figure 41 – Setup for vibration test of the ultrasonically welded package (1), vibration table (5), fixtures (2), terminal (4), reference wire with counter-contact connector (7)

The duration of the vibration test shall be 2 h, 4 h or 8 h according to the detail product specification.

7.3.9 Compaction force test of end splices

The test shall be performed according to IEC 60512-6-4 and IEC 60999-1 and the test requirements in Table 19.

The test requirements of the relevant standards shall be applied for testing the compressive strength in terminals.

NOTE Single wire end splice, i.e., wires ultrasonically welded to themselves, are generally used in switch cabinet construction in terminal points, as a substitute for wire-end preparation e.g., crimped ferrules.

Type A1 or A2 specimens shall be used. Figure 42 through Figure 45 show examples of properly compacted wires. See also Figure 46.



Figure 42 – Aluminium single wire end splice (wire end compacted)



Figure 43 – Small copper single wire end splice (wire end compacted)



Figure 44 – Medium copper single wire end splice (wire end compacted)



Figure 45 – Large copper single wire end splice (wire end compacted)

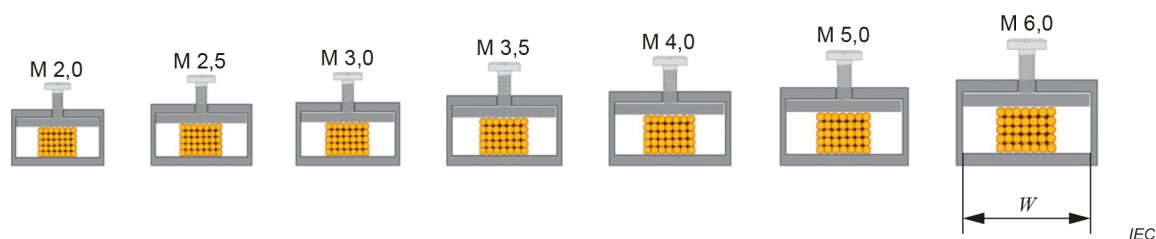


Figure 46 – Examples of test clamps of different sizes

Table 19 – Requirements for single end compaction test

Test values for the pull-out and splicing tests of welded Single-End-Splice-Compaction						
Splice cross-sectional area mm ²	0,35	0,5	0,75	1	1,5	2,5
Pull-out force N	15	20	30	35	40	50
Test terminal	M 2	M 2	M 2,5	M 2,5	M 2,5	M 3
Nominal torque Nm	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0,5
Splice cross-sectional area mm ²	4	6	10	16	25	35
Pull-out force N	60	80	90	100	135	190
Test terminal	M 3,5	M 4	M 4	M 5	M 6	M 6
Nominal torque Nm	0,8	1,2	1,2	2	2,5	2,5

The test requirements for cross-sectional areas not included in the table shall be determined according to the materials and agreed between manufacturer and user.

For test values for terminals, refer to IEC 60947-1:2020, Tables 4,5 and 7.

The pull-out force shall act without jolting in the direction of the axis for at least 1 min.

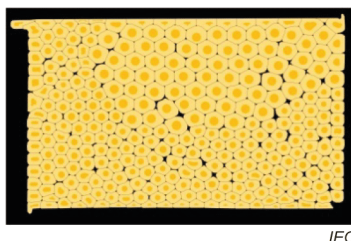
The conductor shall be connected and disconnected 2 times (without screw retightening).

The metal test terminals are at least 1,5 to 2 times wider than the splice width of the sample to be tested.

The weld shall not break during and after the test.

7.4 Microsection image inspections

For a welding splice qualification, a microsection image analysis according to the requirements is necessary. See Figure 47 through Figure 49.



IEC

Figure 47 – Example 1 of a valid microsection image of ultrasonically welded copper strands

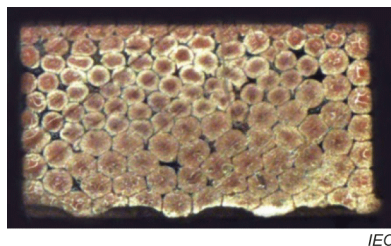


Figure 48 – Example 2 of a valid microsection image of ultrasonically welded copper strands

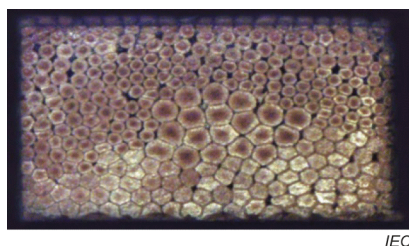


Figure 49 – Example 3 of a valid microsection image of ultrasonically welded copper strands

The cut should be made approximately in the middle of the package.

The evaluation shall be carried out according to the requirements of 5.7.

No contiguous hollow spaces shall be visible.

All strands shall be mechanically connected to other surrounding wires. Figure 47 through Figure 49 show examples of well compacted strands.

7.5 Electrical tests

7.5.1 Voltage drop of the through or end splice (resistance)

For this test, type B1 or B2 or C specimens and type A1 or A2 specimens shall be used. See Figure 50 for the measurement setup and Figure 51 for the Type 1 and Type 2 reference wires.

The resistance test shall be performed according to test 2a of IEC 60512-2-1 or test 2b of IEC 60512-2-2. Minimum requirements shall be provided in the detail product specification.

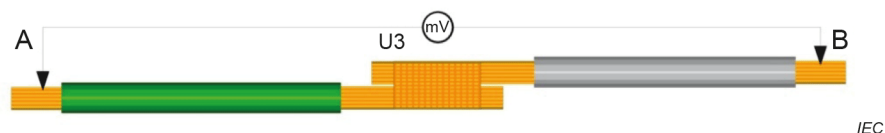


Figure 50 – Set-up for measurement at the splice (from 2 to 20 wires)



Figure 51 – Measurements of reference wires type 1 and type 2

A current density of 1 A/mm² shall be set in relation to the smallest cross-sectional area in the splice.

$$\Delta U = U_3 - (U_1 + U_2) \quad (4)$$

where

ΔU the voltage drop is in mV;

U_1 is in mV;

U_2 is in mV;

$$R_{US} = \frac{\Delta U}{I} \quad (5)$$

where

R_{US} is in mΩ;

ΔU is in mV;

I is in A;

Formula (4): the voltage drop ΔU for the contact resistance of the weld without the influence of the wire.

Formula (5): calculation of resistance.

The voltage drop between ΔU should not exceed 0,5 mV before loading and 1,5 mV after aging.

The temperature range for these tests shall be determined in advance.

7.5.2 Voltage drop of the wire-to-terminal connection (resistance)

Type D and A specimens shall be used for this test.

The transfer resistance test shall be performed according to test 2a of IEC 60512-2-1 or test 2b of IEC 60512-2-2, using the test setup in Figure 52 and Figure 53. Minimum requirements shall be provided in the detail product specification.



IEC

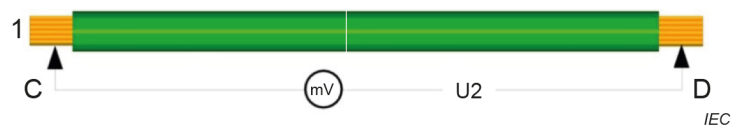
Key

A measuring point

B measuring point

U_1 voltage drop between measuring point A and measuring point B

Figure 52 – Setup for voltage drop measurement (U_1), at the terminal weld connections

**Key**

C measuring point

D measuring point

 U_2 voltage drop between measuring point C and measuring point D**Figure 53 – Voltage drop measurement (U_2) with the same reference wire (1)**

The test current is 1 A/mm².

$$\Delta U = U_1 - U_2 \quad (6)$$

where

 ΔU the voltage drop is in mV; U_1 is in mV; U_2 is in mV;

$$R_{US} = \frac{\Delta U}{I} \quad (7)$$

where

 R_{US} is in mΩ; ΔU is in mV; I is in A;

Formula (6): the voltage drop ΔU for the contact resistance of the weld without the influence of the wire.

Formula (7): calculation of resistance in the weld connection (R_{US}).

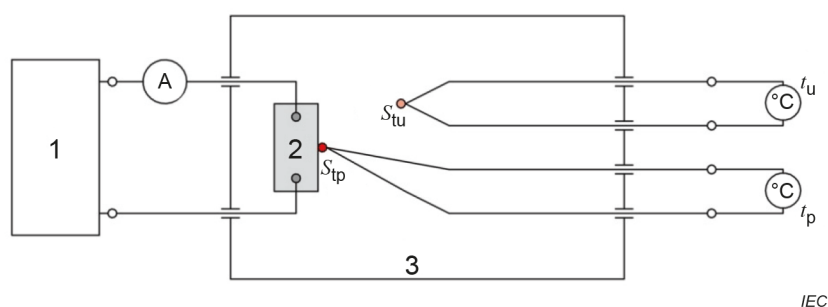
By subtracting the voltage U_2 of the reference wire from the voltage U_1 of the specimen to be measured, you can obtain the voltage drop ΔU as shown in formula 6. The voltage drop ΔU should not exceed 0,5 mV before loading and 1,5 mV after aging.

The temperature range for these tests shall be determined in advance.

7.5.3 Current-carrying capacity

This test shall be performed in accordance with test 5b of IEC 60512-5-2, according to the setup shown in Figure 54 and Figure 55.

Type B1 or B2, C or D specimens shall be used for this test.



Key

- 1 constant current source
- 2 DUT
- 3 temperature chamber
- S_{tp} temperature sensor on DUT
- S_{tu} temperature sensor of environment

Figure 54 – Setup for temperature rise measurements at current load

The test conditions are the following:

- at least 3 specimens for 3 measurements for mean value determination shall be used;
- test voltage: AC (type specific) with 50 Hz to 60 Hz or DC with reverse current;
- pauses between measurements maximum 5 min, deviation > 2 K;
- determination of the room temperature t_r ;
- end temperature (t_e) = room temperature $t_r + n$ [K] (The value for the temperature increase n is type specific. For example, the maximum allowed operational temperature of the wire minus the room temperature.);
- holding the end temperature for 1 h;
- maximum permissible operating current I_b (derating).

$$I_b = I(t_e) \times 0,8 \quad (8)$$

where

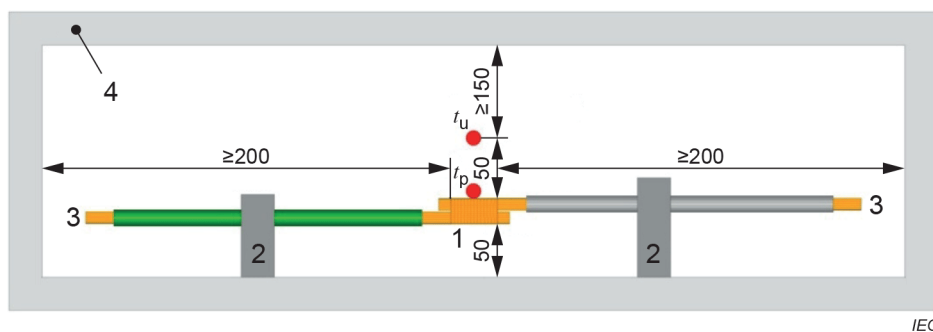
$$t_e = t_r + n \text{ K}$$

The value for the temperature increase is to be determined type-specific (e.g. 30 K).

The wire length L of the specimens shall be adapted; it depends on the conductor cross-sectional area S :

- $S < 0,5 \text{ mm}^2$: $L = 200 \text{ mm}$,
- $0,5 \leq S < 5,0 \text{ mm}^2$: $L = 500 \text{ mm}$,
- $S > 5,0 \text{ mm}^2$: $L = 1\,400 \text{ mm}$.

Dimensions in millimetres

**Key**

- 1 specimen
- 2 fixtures
- 3 connector to constant current source
- 4 housing temperature chamber

Figure 55 – Temperature chamber with valve opening for current-load measurements**7.5.4 Insulation resistance**

For this test, specimens of type B1 or B2, C or D shall be used.

This test shall be performed in accordance with test 3a of IEC 60512-3-1.

The test areas are:

If no specification is provided in the detail, the following test ranges apply:

- 10 V ± 1 V,
- 100 V ± 15 V,
- 500 V ± 50 V.

The value shall be read when it is stable, at least 60 s.

Method A: Each welded connection shall be checked against every other welded connection and against PE (protective earth) if applicable.

The insulation resistance shall be at least 200 MΩ.

7.5.5 Voltage proof

For this test, specimens of type B1 or B2, C or D shall be used.

The tests shall be performed according to test 4a of IEC 60512-4-1.

Test voltages: 500 V, 1 000 V, 1 500 V AC (U_{eff} 50 Hz to 60 Hz); see Table 20.

Maximum permissible creepage current = 2 mA.

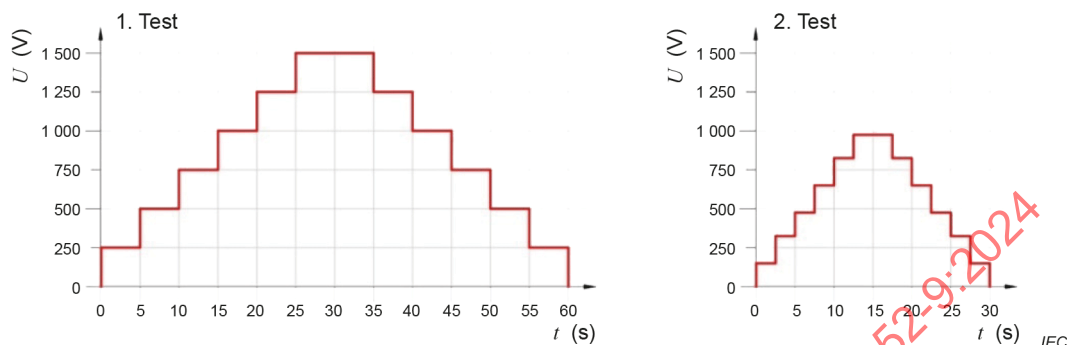
Voltage application: Every connection against every other connection and against PE.

First test: time 60 s, application in steps increasing every 5 s (5x), then holding for 10 s and then descending every 5 s (5x) to zero, as shown in Figure 56.

In the event of a breakdown, the test shall be terminated and shall be considered failed.

If a repeat test is required, the following applies:

Second test: voltage and time reduced (maximum 65 % of test voltage, time 30 s).



Key

- 1 test: maximum 85 % test voltage corresponding to weakest component
- 2 test: if necessary, only 65 % of the values from test 1

Figure 56 – Diagram of dielectric voltage withstanding (voltage proof) test

Table 20 – Test voltages for voltage proof test

Voltage strength / flashover tests on welded connections				
Nominal voltage (DC or AC effective value)	$U_n \leq 36 \text{ V}$	$U_n \leq 72 \text{ V}$	$U_n \leq 120 \text{ V}$	$U_n \leq 240 \text{ V}$
Test voltage, U_p (AC 50 – 60 Hz effective)	$U_p = 500 \text{ V}$	$U_p = 750 \text{ V}$	$U_p = 1\,000 \text{ V}$	$U_p = 1\,500 \text{ V}$

Test voltages shall only be used up to 85 % of the maximum allowable test voltage of the weakest component in the assembly.

NOTE If dielectric withstand tests (high potential test) are performed in the test field, the sequence and the parameters are defined by the type specification.

8 Climatic tests

8.1 General information on climatic tests

Unless otherwise specified, the following upper and lower limit temperatures shall be used in the tests:

- upper limit temperature: + 125 °C;
- lower limit temperature: – 40 °C.

8.2 Rapid change of temperature

For this test, specimens of type B1 or B2, C or D shall be used.

The test shall be performed in accordance with test 11d of IEC 60512-11-4 and test Na of IEC 60068-2-14. If other standards are cited in these standards, they shall also be applied.

The following parameters shall be applied:

- lower temperature: T_A = lower limit temperature ± 2 K;
- upper temperature: T_B = upper limit temperature ± 2 K;
- dwell time: t_1 = 30 min;
- number of cycles: 5;
- air speed: max. 0,5 m/s;
- chamber transfer time: maximum 3 min;
- preconditioning and recovery: 1 h each;
- total test time: maximum 7,5 h.

NOTE This test is not valid for testing the properties of the conductor insulation or the external insulation of pre-insulated crimp ferrules.

8.3 Dry heat

For this test, specimens of type B1 or B2, C or D shall be used.

The test shall be performed in accordance with test 11i of IEC 60512-11-9 and test Bb of IEC 60068-2-2. If other standards are cited in these standards, they shall also be applied.

The following parameters shall be applied:

Test temperature: T_B = upper limit temperature ± 2 K.

Test duration: 96 h.

For intermediate measurements, the test voltage on the test object shall be switched on.

NOTE This test is not valid for testing the properties of the conductor insulation or the external insulation of pre-insulated crimp ferrules.

8.4 Cold

For this test, specimens of type B1 or B2, C or D shall be used.

The test shall be performed in accordance with test 11j of IEC 60512-11-10 and test Ab of IEC 60068-2-1. If other standards are cited in these standards, they shall also be applied.

The following parameters shall be applied:

- lower temperature: T_A = lower limit temperature ± 3 K;
- dwell time: t_1 2 h / 16 h / 72 h / 96 h (type-specific specification);
- air speed: max. 0,5 m/s;
- preconditioning and recovery: 1 h each;
- total test time: min. 5,5 h / max. 99,5 h.

NOTE This test is not valid for testing the properties of the conductor insulation.

8.5 Damp heat

For this test, specimens of type B1 or B2, C or D shall be used.

The test shall be performed in accordance with test 11m of IEC 60512-11-12 and test Db of IEC 60068-2-30. If other standards are cited in these standards, they shall also be applied.

The following parameters shall be applied:

- upper temperature: +55 °C;
- dwell time: t_1 12 h + 12 h = 24 h;
- preconditioning and recovery: 1 h each;
- temperature adjustment: 3 h each;
- total examination time: 36 h.

NOTE This test is not valid for testing the properties of the conductor insulation.

8.6 Climatic sequence

For this test, specimens of type B1 or B2, C or D shall be used.

The test shall be performed in accordance with test 11a of IEC 60512-11-1. If other standards are cited in these standards, they shall also be applied.

The following parameters shall be applied:

- phase 1: dry heat – test temperature: upper limit temperature;
- phase 2: damp heat – upper test temperature: +55 °C;
- phase 3: cold – test temperature: lower limit temperature;
- phase 4: (low air pressure, product specific);
- damp heat, cyclic – upper test temperature: +55 °C.

Number of cycles: 6 variant 1 or 2 is to be determined.

Total test time: 12 days.

NOTE This test is not valid for testing the properties of the conductor insulation.

8.7 Flowing mixed gas corrosion

For this test, specimens of type B1 or B2, C or D shall be used.

The test shall be performed in accordance with test 11g of IEC 60512-11-7 and test K_e of IEC 60068-2-60. If other standards are cited in these standards, they shall also be applied.

The following parameters shall be applied:

- the tests shall be performed in accordance with IEC 60068-2-60 test K_e ;
- applicable method: Method 1;
- test duration: 10 days;
- gases: H_2S and SO_2 ;
- temperature: $25^\circ C \pm 1$;
- relative humidity: $75 \% \pm 3$;
- volume change per hour: 3 to 10;
- weight increase of copper platelet ($mg/dm^2/day$): 1 to 2.

After the visual inspection and before and after this corrosion test, the transfer resistance shall be measured.

9 Classification into product classes

9.1 General

The introduction of product classification allows the user to select production quality requirements according to the given end-user application.

This document recognizes that electrical and electronic equipment are classified according to their intended end-item use. IEC 61191-1:2018, 4.3 identifies three general end-product levels, which are defined to reflect differences in producibility, functional performance requirements and verification (inspection/test) frequency. Similarly, this document classifies ultrasonically welded connections or wire assemblies employing such solderless connection technology in end-products as connections for three different products classes.

The developer or the user of ultrasonically welded connections, and consequently the manufacturer of terminals deemed to use this connection technology, are responsible for determining the class to which the end-product in which they are deemed to be installed belongs.

9.2 Class A product

General use electrical or electronic products. It includes consumer products, some computers and computer peripherals, and hardware suitable for applications where the major requirement is function of the completed assembly.

9.3 Class B product

Dedicated service electrical or electronic products. They include communications equipment, sophisticated business machines and instruments where high performance and extended life is required, and for which uninterrupted service is desired but not mandatory. Typically, the end-use environment would not cause failures.

9.4 Class C product

High performance electrical or electronic products. Includes all equipment where continued performance or performance-on-demand is mandatory. Equipment downtime cannot be tolerated, end-use environment may be uncommonly harsh, and the equipment shall function when required, such as life support systems and other critical systems.

10 Test schedules

10.1 Test schedule A (class A products, see 9.2)

This test schedule consists of test groups P0 and P1 (Table 21 and Table 22) and represents the minimum test requirements for ultrasonically welded connections deemed to be used in class A products.

Number of test specimens: 6 pieces per specimen type, total number: 6 pieces.

Table 21 – Test group P0 – Initial inspection

Test phase	Standard	Test	Title	Splices	Terminals
P0.1	IEC 60512-1-1	1a	Visual examination	7.3.1	7.3.2
P0.2	IEC 60512-1-2	1b	Examination of dimensions and mass	7.3.1	7.3.2
P0.3	IEC 60512-16-7	16g	Terminal deformation after welding	-	-

For test phase P0.2, the compaction ratio of the ultrasonically welded connection shall also be checked.

If the detail specification of the component containing terminals for ultrasonically welded connections requires a test of terminal deformation after welding, this shall be performed – as far as applicable – in accordance with test 16g of IEC 60512-16-7.

Test 16g covers contact deformation after crimping and requires adjustment in some cases as it includes measurements that cannot directly apply to ultrasonically welded connections, which are mostly characterized by rectangular cross-section (for example measurement of contact runout is hardly applicable).

For test group P1 of Table 22, the same specimens of test group P0 shall be used.

Table 22 – Test group P1 – Bending test

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P1.1	---	---	Bending test, splice connection	7.3.1	B or C
P1.2	---	---	Bending test, terminal connection	7.3.2	D

The bending test applies either to ultrasonically welded connections with splice welds (7.3.1) or with terminal welds (7.3.2).

10.2 Test schedule B (class B product, see 9.3)

10.2.1 General

This test schedule, consisting of test groups P0, P1, P2, P3, P4, P6, P7 and P10 (Table 23 through Table 25), represents the minimum test requirements for ultrasonically welded connections deemed to be used in class B products.

If further tests are required for a specific type of product, these can be selected from test schedule C (e.g.: test groups P5 and/or P8 and/or P10) or from Clause 12 (providing additional optional test groups P9 and P12).

Total number of specimens: 43.

Number of specimens: 10 pieces per specimen type.

For test phase P0.2, the compaction ratio of the weld shall also be checked.

If the detail product specification for the component containing welded terminals requires a test of terminal deformation after welding, this shall be performed – as far as applicable – in accordance with test 16g of IEC 60512-16-7.

Test 16g covers contact deformation after crimping and may require adjustment as it includes measurements that cannot directly apply to ultrasonically welded connections, which are mostly characterized by rectangular cross-section (for example measurement of contact runout is hardly applicable).

10.2.2 Mechanical tests of test schedule B

For test group P1 the same specimens used in test group P0 shall be used.

The bending test applies either to ultrasonically welded connections with splice welds (7.3.1) or with terminal welds (7.3.2).

Depending on the requirement in the detail product specification, either test group P2, or P3 or P5 shall be performed.

Number of specimens: 10 pieces per specimen type.

Table 23 – Test group P2 – Peel test according to ISO 10447

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P2.1	ISO 10447	-	Peel force test, splice connection	7.3.3	B or C
P2.2	ISO 10447	-	Peel force test, terminal connection	7.3.4	D

Number of specimens: 10 pieces per specimen type.

Table 24 – Test group P3 – Pull-out force test

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P3.1	IEC 60512-16-4	16d	Pull-out force test, splice connection	7.3.5	B or C
P3.2	IEC 60512-16-4	16d	Pull-out force test, terminal connection	7.3.6	D

Number of specimens: 10 pieces per specimen type.

Table 25 – Test group P4 – Compaction force for single wire end-splices

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P4.1	IEC 60512-16-4	16d	Compaction force, single wire end splice	7.3.9	A

10.2.3 Electrical tests of test schedule B

Number of specimens: 10 pieces per specimen type. The tests are shown in Table 26, Table 27 and Table 28.

Table 26 – Test group P6 – Voltage drop (resistance)

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P6.1	IEC 60512-2-1	2a	Resistance (millivolt level method)	7.5.1/7.5.2	B, C, D
P6.2	IEC 60512-2-2	2b	Terminal resistance (at 1 A per mm ² of cross-sectional area)	7.5.1/7.5.2	B, C, D

Test phase P6.1 or P6.2 shall be required by the detail product specification (type B1 or B2, C or D specimens depending on requirements).

Specimens used for test group P6 shall be used also for test group P7.

Table 27 – Test group P7 – Insulation resistance

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P7.1	IEC 60512-3-1	3a	Insulation resistance	7.5.4	B, C, D

10.2.4 Microsection tests of test schedule B

Number of specimens: 3 pieces per specimen type.

Table 28 – Test group P10 – Microsection

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P10.1	ISO 1463	-	Microsection evaluation	7.4	B, C, D

10.3 Test schedule C (class C products, see 9.4)

10.3.1 General

This test schedule, which may be also seen as the full test schedule, consisting of test groups P0, P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8, P10, and P11 (from Table 29 to Table 36), represents the minimum test requirements for ultrasonically welded connections deemed to be used in class C products.

Moreover, if materials other than those specified in this document are used (copper and aluminium conductors), ultrasonically welded connections deemed to be used in class A or B products shall also be tested according to this test schedule.

If further tests are required and agreed upon between manufacturer and user for a specific type of product, these can be selected from Clause 11 (providing additional optional test groups P9 and P12).

Total number of specimens: 213 (B or C), 263 (D).

Number of specimens: 20 pieces per specimen type.

Table 29 – Test group P0 – Initial inspection

Test phase	Standard	Test	Title	Splices	Terminals
P0.1	IEC 60512-1-1	1a	Visual examination	7.2.3	7.2.4
P0.2	IEC 60512-1-2	1b	Examination of dimensions and mass	7.2.3	7.2.4
P0.3	IEC 60512-16-7	16g	Terminal deformation after welding	-	-

For test phase P0.2, the compaction ratio of the ultrasonically welded connection shall also be checked.

For test phase P0.2, the compression ratio of the ultrasonically welded connection shall also be checked.

If the detail product specification for the component containing welded terminals requires a test of terminal deformation after welding, this shall be performed – as far as applicable – in accordance with test 16g of IEC 60512-16-7.

Test 16g covers contact deformation after crimping and in some cases needs to be adapted as it includes measurements that are not directly applicable to ultrasonically welded connections, which are mostly characterised by a rectangular cross section (e.g. measurement of contact runout is hardly applicable).

The bending test applies either to ultrasonically welded connections with splice welds (7.3.1) or with terminal welds (7.3.2).

10.3.2 Mechanical tests according to test schedule C

Depending on the product, either P2, P3, or P5 shall be performed. (For terminal P2 and P3). The test groups P2 and P3 shall fulfil the process performance index Cpk of 1,67 according to ISO 21747.

Number of specimens: 50 pieces per specimen type.

Table 30 – Test group P2 – Peel tests

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P2.1	ISO 10447	-	Peel force test, splice connection	7.3.3	B or C
P2.2	ISO 10447	-	Peel force test, terminal connection	7.3.4	D

Number of specimens: 50 pieces per specimen type.

Table 31 – Test group P3 – Pull-out force tests

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P3.1	IEC 60512-16-4	16d	Pull-out force test, splice connection	7.3.5	B or C
P3.2	IEC 60512-16-4	16d	Pull-out force test, terminal connection	7.3.6	D

Number of specimens: 30 pieces per specimen type.

Table 32 – Test group P4 – Compaction force test for single wire end-splices

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P4.1	IEC 60512-16-4	16d	Compaction force, single end splice	7.3.9	A

Number of specimens: 30 pieces per specimen type.

Table 33 – Test group P5 – Vibration test (sinusoidal)

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P5.1	IEC 60512-6-4	6d	Vibration, splice connection	7.3.7	B or C
P5.2	IEC 60512-6-4	6d	Vibration, terminal connection	7.3.8	D

10.3.3 Electrical tests according to test schedule C

Number of specimens: 30 pieces per specimen type.

Table 34 – Test group P6 – Voltage drop (resistance)

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P6.1	IEC 60512-2-1	2a	Resistance (millivolt level method)	7.5.1/7.5.2	B, C, D
P6.2	IEC 60512-2-2	2b	Terminal resistance (at 1 A per mm ² of cross-sectional area)	7.5.1/7.5.2	B, C, D

Test phase P6.1 or P6.2 shall be selected by the detail product specification (specimens' type B1 or B2, C or D depending on requirements).

Specimens from test group P6 shall be used also for test group P7.

Table 35 – Test group P7 – Insulation resistance

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P7.1	IEC 60512-3-1	3a	Insulation resistance test	7.5.4	B, C, D

Number of specimens: 30 pieces per specimen type.

Table 36 – Test group P8 – Current-carrying capacity

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P8.1	IEC 60512-5-2	5b	Current-temperature derating	7.5.3	B, C, D

10.3.4 Microsection of test schedule C

Number of specimens: 3 pieces per specimen type; per Table 37.

Table 37 – Test group P10 – Microsection

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P10.1	ISO 1463	-	Microsection evaluation	7.4	B, C, D

10.3.5 Climatic test for test schedule C

Number of specimens: 30 pieces per specimen type, per conditions in Table 38.

Test phases P11.1 or P11.2 shall be required by the detail product specification (type B1 or B2, C or D specimens depending on requirements).

Table 38 – Test group P11 – Climatic tests

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P11.1	IEC 60512-2-1	2a	Resistance (millivolt level method)	7.5.1/7.5.2	B, C, D
P11.2	IEC 60512-2-2	2b	Resistance (at 1 A per mm ² of cross-sectional area)	7.5.1/7.5.2	B, C, D
P11.3	IEC 60512-11-4	11d	Rapid temperature change	8.2	B, C, D
P11.4	IEC 60512-11-1	11a	Climate sequence	8.6	B, C, D
P11.5	IEC 60512-11-9	11i	Dry heat	8.3	B, C, D
P11.6	IEC 60512-11-12	11m	Damp heat, 1 cycle	8.5	B, C, D
P11.7	IEC 60512-11-10	11j	Cold	8.4	B, C, D
P11.8	IEC 60512-11-12	11m	Damp heat, 5 cycles	8.5	B, C, D
P11.9	IEC 60512-2-1	2a	Resistance (millivolt level method)	7.5.1/7.5.2	B, C, D
P11.10	IEC 60512-2-2	2b	Resistance (at 1 A per mm ² of cross-sectional area)	7.5.1/7.5.2	B, C, D

Test phases P11.9 or P11.10 shall be required by the detail product specification (type B1 or B2, C or D specimens depending on requirements).

11 Additional applicable test groups (if required)

11.1 Dry heat test and voltage proof

Perform tests per Table 39.

Number of specimens: 10 pieces per specimen type.

Table 39 – Test group P9 – Voltage proof

Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P9.1	IEC 60512-2-1	2a	Resistance (millivolt level method)	7.5.1/7.5.2	B, C, D
P9.2	IEC 60512-2-2	2b	Resistance (at 1A/mm ² cross-sectional area)	7.5.1/7.5.2	B, C, D
P9.3	IEC 60512-11-9	11i	Dry heat	8.3	B, C, D
P9.4	IEC 60512-4-1	4a	Voltage proof	7.5.5	B, C, D
P9.5	IEC 60512-2-1	2a	Resistance (millivolt level method)	7.5.1/7.5.2	B, C, D
P9.6	IEC 60512-2-2	2b	Resistance (at 1 A per mm ² of cross-sectional area)	7.5.1/7.5.2	B, C, D

Test phases P9.1/P9.5 or P9.2/P9.6 shall be required by the detail product specification (type B1 or B2, C or D specimens depending on requirements).

Number of specimens: 10 pieces per specimen type.

11.2 Corrosion

Perform tests and measurements per 8.7 and Table 40.

Table 40 – Test group P12 – Corrosion

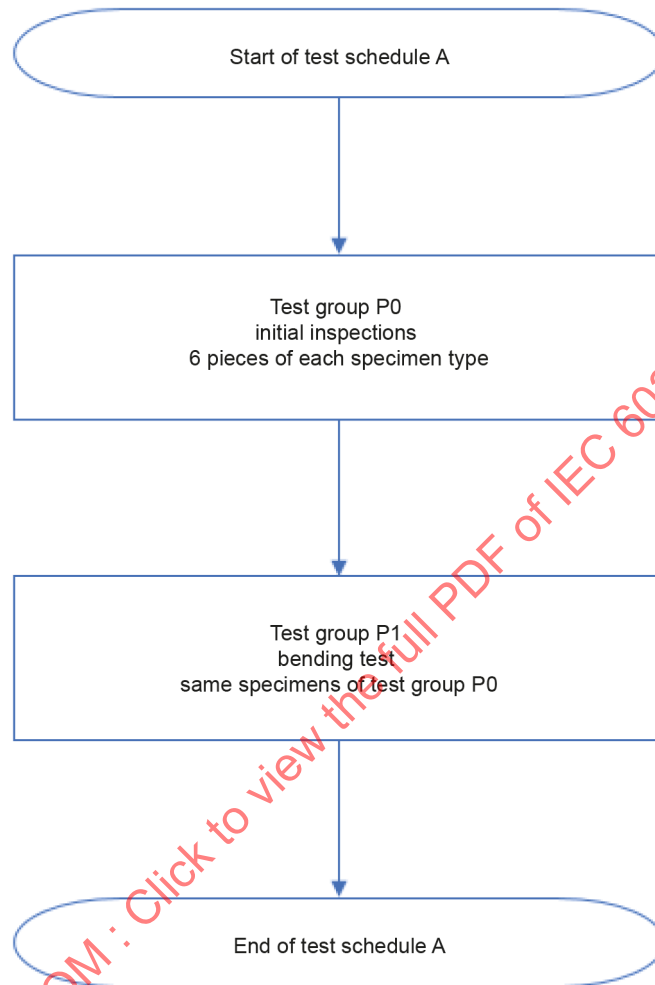
Test phase	Standard	Test	Title	Clause	Specimen
P12.1	IEC 60512-2-1	2a	Resistance (millivolt level method)	7.5.1/7.5.2	B, C, D
P12.2	IEC 60512-2-2	2b	Resistance (at 1 A per mm ² of cross-sectional area)	7.5.1/7.5.2	B, C, D
P12.3	IEC 60512-11-7	11g	Flowing mixed gas, method 1	8.7	B, C, D
P12.5	IEC 60512-2-1	2a	Resistance (millivolt level method)	7.5.1/7.5.2	B, C, D
P12.6	IEC 60512-2-2	2b	Resistance (at 1 A per mm ² of cross-sectional area)	7.5.1/7.5.2	B, C, D

Test group P12, if required by the detail product specification.

Test phases P12.1/P12.5 or P12.2/P12.6 shall be required by the detail product specification, (type B1 or B2, C or D specimens depending on requirements).

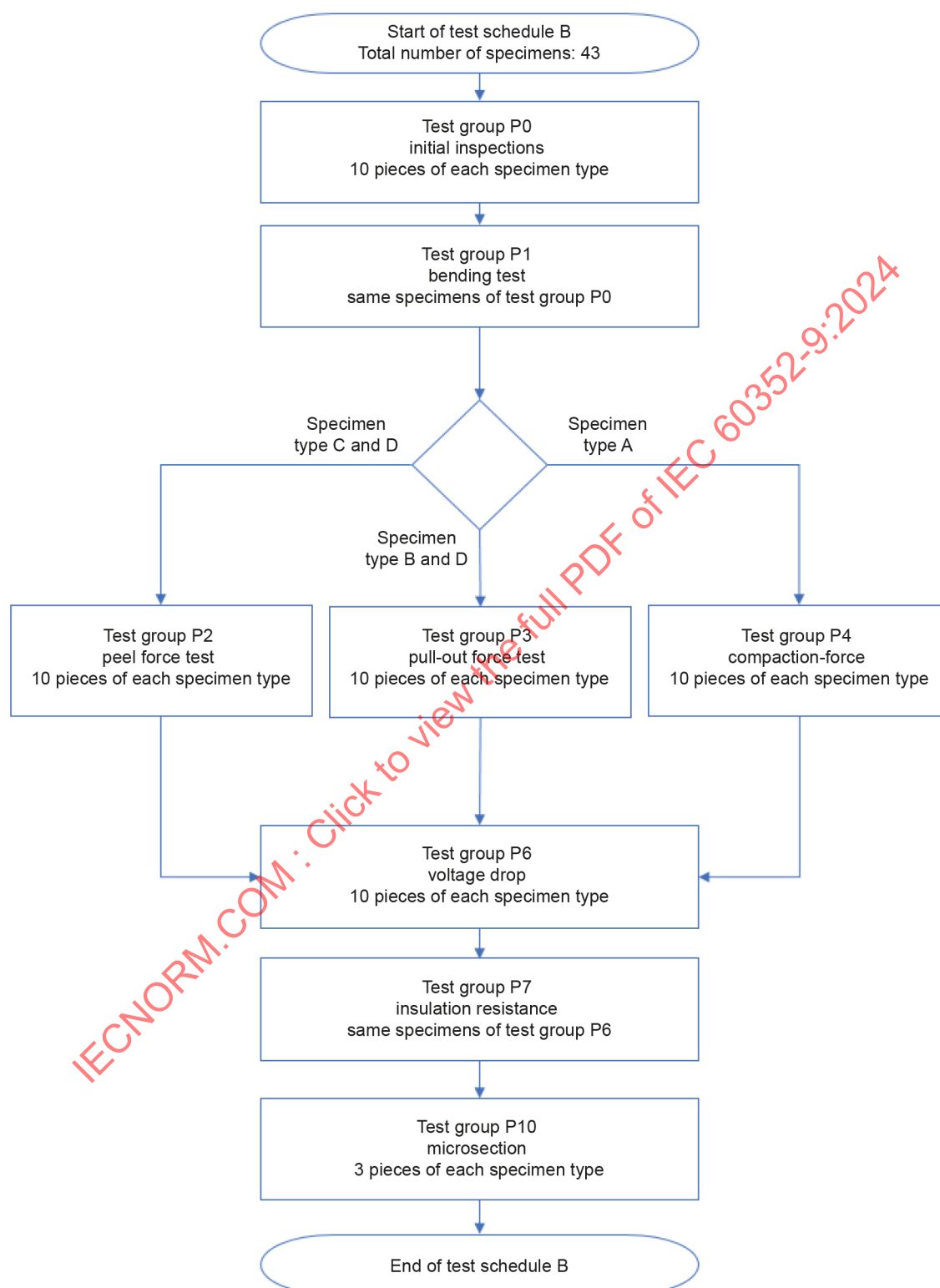
12 Flow charts

Figure 57 through Figure 60 show flow charts for test schedules A, B and C.



IEC

Figure 57 – Test schedule A

**Figure 58 – Test Schedule B**

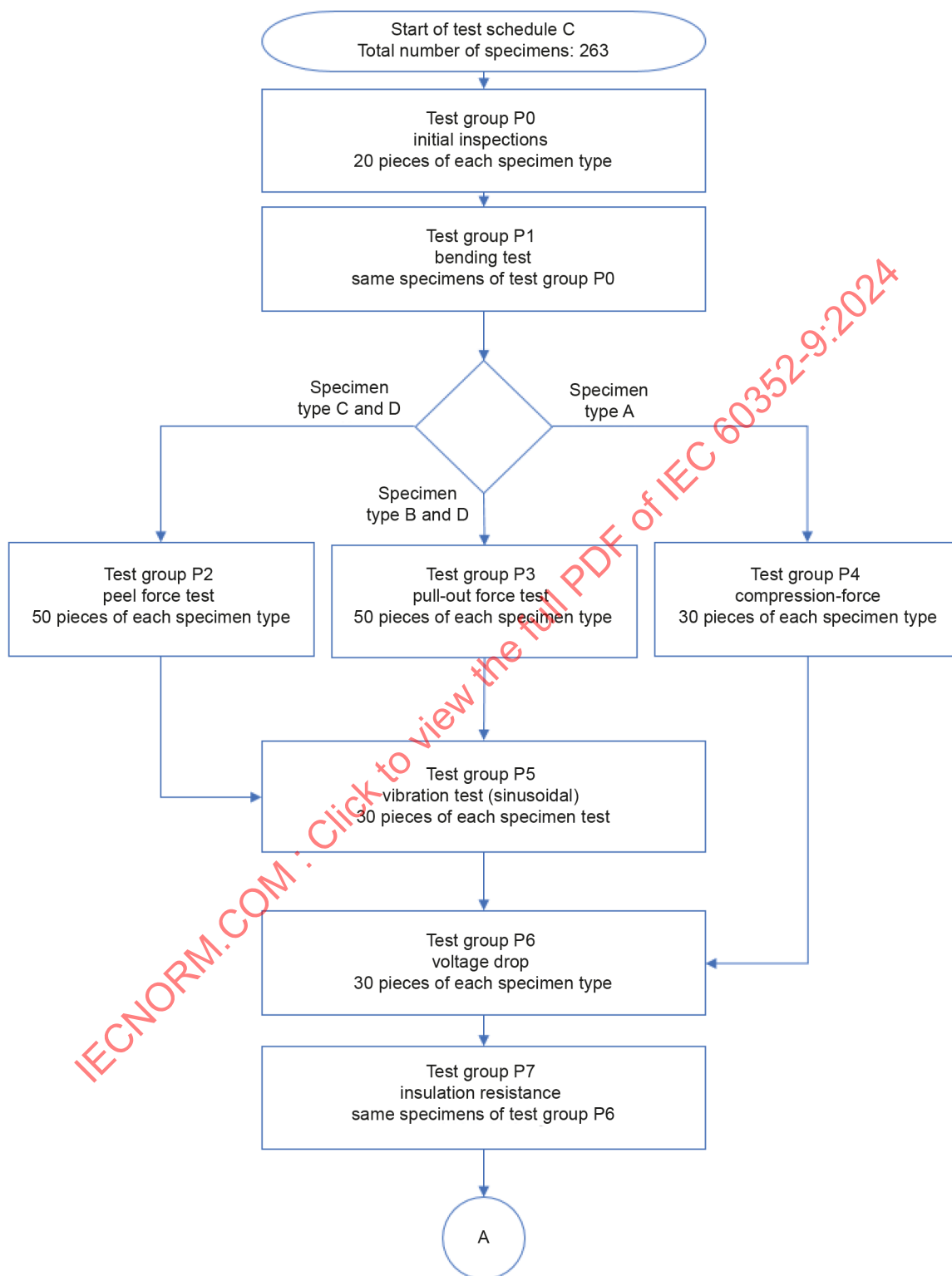
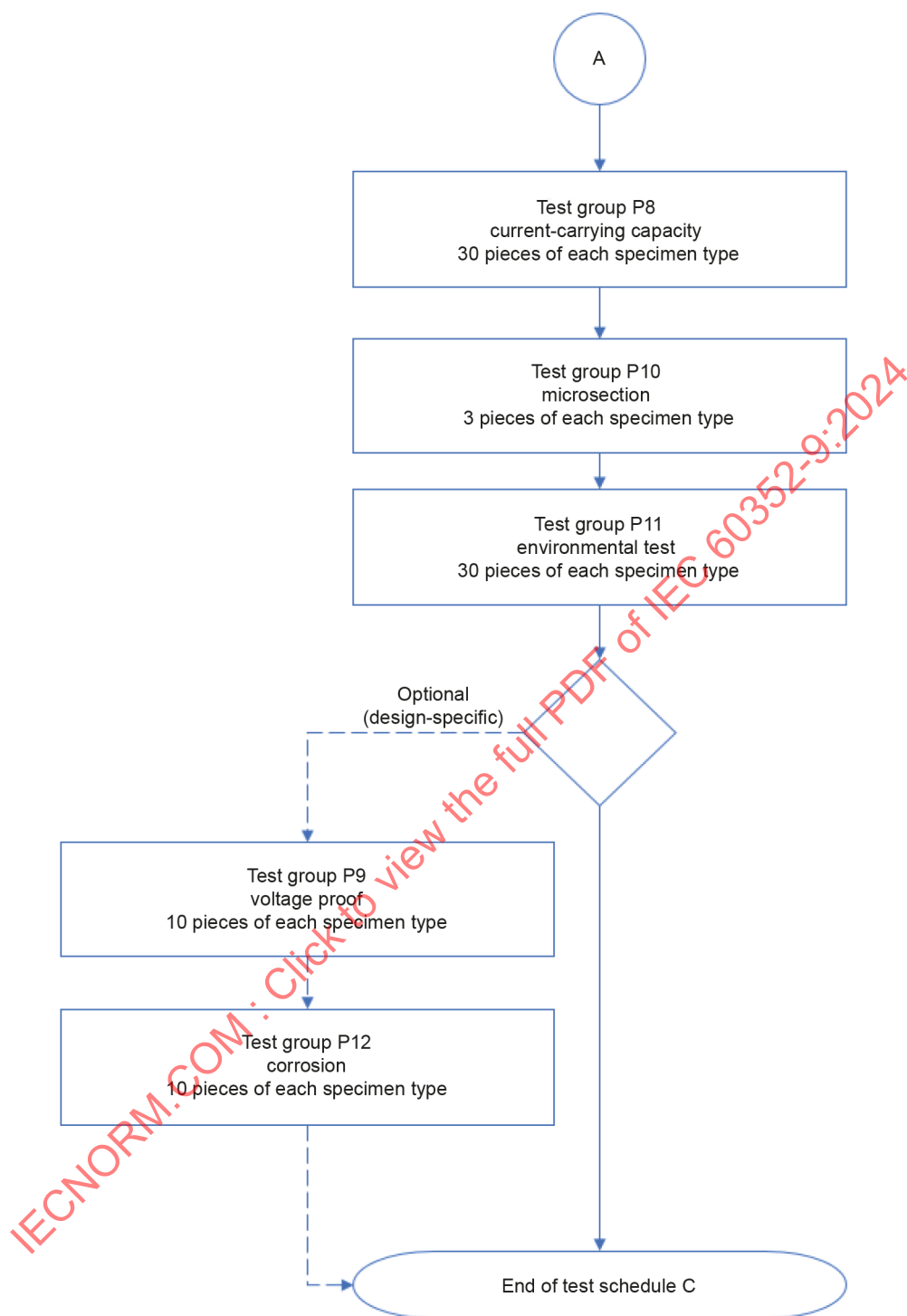


Figure 59 – Test schedule C part 1



IEC

Figure 60 – Test schedule C part 2

Annex A (informative)

Practical guidance

A.1 Ultrasonic welding system

Ultrasonic metal welding is a process that uses mechanical oscillations with a small amplitude and frequency in the ultrasonic range, as well as static pressure, to join materials at temperatures lower than their melting point. This process produces elastic-mechanical vibration at frequencies ranging from 15 kHz to 35 kHz. Ultrasonic welding is used to join metals, glass and other materials together using ultrasound, allowing for the creation of a permanent, solid and metallurgically pure joint with outstanding physical properties without thermally stressing the components. Typical applications include high-voltage wire connections, busbar applications, battery cell connectors, connection terminals, plug contacts and stranded wire splicing. The system for ultrasonic welding includes an ultrasonic generator, converter, sonotrode and related electrical and mechanical components. There are two kinds of ultrasonic welding processes which can be used: longitudinal welding using longitudinal waves and torsional welding using transverse waves in two different axes with outputs ranging from 500 W to 13 kW.

Figure A.1 shows examples for the two kinds of ultrasonic welding process:

- 1) – longitudinal welding – using longitudinal waves.
- 2) – torsional welding – using transverse waves in two different axes.

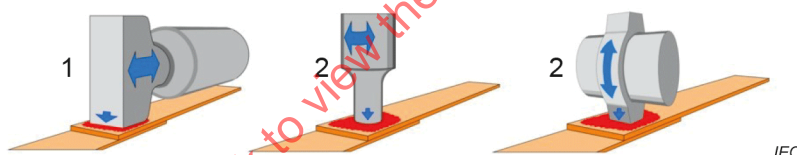


Figure A.1 – Ultrasonic welding process: 1) longitudinal, 2) torsional

Ultrasonic welding systems offer adjustable friction speed up to 2,0 m/s and adjustable contact pressure up to 30 N/mm². The machine sets the pressure for the pneumatic cylinder that moves the sonotrode, resulting in a force with which it is pressed against the weld metal, usually from up to 8 000 N. The size of the area at the sonotrode's horn determines contact pressure and a display on the machine's control system can show the force curve over time after completion of the weld.

Ultrasonic welding requires several key parameters to be taken into consideration, such as the amplitude of the tool (sonotrode), the contact pressure between sonotrode and anvil, the transmitted energy (electrical energy from generator in Ws) and path (relative and absolute). The two main welding modes used are energy or path controlled and influence which parameters are necessary and what results will be obtained. Additionally, when setting up a machine with a new sonotrode its oscillation amplitude should be measured for accuracy.

A.2 Storage conditions and processing conditions

Splicing protection of the wire should be removed immediately prior to processing, and terminals should be stored and transported on a spool in protective packaging. Age of the wires is important to consider when storing them before welding, as well as environmental factors such as temperature and period restrictions. High temperatures and longer storage times can reduce weldability.

NOTE More information can be found in ZVEI-TLF 0100:2019, 5.2.

When processing and storing products, it is important to adhere to the IEC 60721-3-1 environmental conditions. Allow an acclimatization time for terminals and wires to adjust to the temperature of the environment, and make sure there is no condensation on surfaces. The temperature of products should not vary more than 5 K from the temperature of the processing environment, and shall be above 5°C. Do not touch the welding area of terminals or stripped wires and when cutting the carrier strip off, make sure to avoid creating any burrs or sharp edges. If a burr is unavoidable, ensure that strands are not damaged during or after the welding process.

A.3 Processing technique

A.3.1 General tooling technology requirements

All welding processes should be done and monitored according to the instructions provided by the manufacturer. The technology used should ensure consistent and reliable welding results through its service life. In addition, any neighbouring machines or processes should not have a negative effect on the welding results, such as voltage spikes or silicone spray for lubrication.

A.3.2 Monitoring

The harness maker is responsible for ensuring the welding technology and tools used in production and preparatory areas are suitable, regularly monitored, and kept clean and maintained. Detailed work instructions and maintenance plans should be created for tools that require calibration or adjustment. Records of calibration and functional tests should also be documented. Objective documentation is necessary to show reliability when tools are changed. The welding process should be integrated into an ultrasonic system that continuously monitors all relevant parameters in order to detect errors, with no possibility of deactivation by the operator. Faulty parts should be sorted out, and excessive tool temperatures can be prevented through cycle time restrictions or additional cooling methods. Finally, the incoming inspection of material batches for weldability is a necessary condition for effective process monitoring.

Bibliography

IEC 60050-841:2004, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 841: Industrial electroheat*

IEC 60050-841:2004/AMD1:2021

IEC 60721-3-1, *Classification of environmental conditions – Part 3-1: Classification of groups of environmental parameters and their severities – Storage*

ISO 1463, *Metallic and oxide coatings – Measurement of coating thickness – Microscopical method*

ISO 4063:2023, *Welding, brazing, soldering and cutting – Nomenclature of processes and reference numbers*

ZVEI-TLF 0100:2019, *Technical Guideline – Application notes for Automotive Cables (TLF 0100)*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60352-9:2024

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60352-9:2024

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	73
INTRODUCTION.....	75
1 Domaine d'application	76
2 Références normatives	76
3 Termes et définitions	78
4 Informations sur les fils et les sorties.....	82
4.1 Matériaux des âmes.....	82
4.2 Revêtement de surface des âmes	82
5 Exigences relatives au soudage par ultrasons	83
5.1 Exemples de connexions soudées par ultrasons	83
5.2 Exigences générales.....	85
5.3 Influence de la longueur de fil pour les soudures à l'autre extrémité des connexions des sorties	86
5.4 Exigences de conception	86
5.5 Protection mécanique et électrique de la jonction soudée.....	88
5.6 Âmes combinées – Exigences.....	89
5.7 Rapport de compactage des connexions soudées par ultrasons.....	90
6 Spécimens.....	92
6.1 Généralités	92
6.2 Spécimen de type A1 ou A2	92
6.3 Spécimen de type B1 ou B2	93
6.4 Spécimen de type C.....	93
6.5 Spécimen de type D.....	94
7 Essais	94
7.1 Informations générales sur les essais	94
7.1.1 Conditions générales pour les essais de qualification de produits	94
7.1.2 Préconditionnement.....	94
7.1.3 Rétablissement.....	95
7.2 Examen optique visuel avec vérifications dimensionnelles	95
7.2.1 Généralités.....	95
7.2.2 Instruments grossissants (examen optique visuel)	95
7.2.3 Examen visuel d'un soudage par ultrasons d'une épissure	95
7.2.4 Examen visuel du soudage par ultrasons d'un fil à une sortie	96
7.3 Essais mécaniques	100
7.3.1 Essai de courbure d'épissure en ligne	100
7.3.2 Essai de courbure d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie	100
7.3.3 Essai de pelage de l'épissure	101
7.3.4 Essais de pelage de la jonction soudée sur une sortie	103
7.3.5 Essais de force d'arrachement sur les connexions dont l'épissure est soudée par ultrasons	105
7.3.6 Essais de force d'arrachement sur les connexions d'un fil à une sortie soudées par ultrasons	107
7.3.7 Essai de vibration des connexions d'épissure soudées par ultrasons.....	111
7.3.8 Essai de vibrations sur les connexions d'un fil à une sortie soudées par ultrasons	112
7.3.9 Essai de force de compactage des épissures d'extrémité	113
7.4 Examen d'images de coupe micrographique	115

7.5	Essais électriques.....	116
7.5.1	Chute de tension au niveau de l'épissure en ligne ou d'extrémité (résistance)	116
7.5.2	Chute de tension au niveau d'une connexion d'un fil à une sortie (résistance)	117
7.5.3	Courant admissible	118
7.5.4	Résistance d'isolement	120
7.5.5	Tenue en tension	120
8	Essais climatiques	121
8.1	Informations générales sur les essais climatiques	121
8.2	Variations rapides de température	121
8.3	Chaleur sèche	122
8.4	Froid	122
8.5	Chaleur humide	122
8.6	Séquence climatique	123
8.7	Essai de corrosion dans un flux de mélange de gaz	123
9	Classification dans les classes de produits	124
9.1	Généralités	124
9.2	Produit de classe A	124
9.3	Produit de classe B	124
9.4	Produit de classe C	124
10	Programmes d'essais	124
10.1	Programme d'essais A (produits de classe A, voir en 9.2)	124
10.2	Programme d'essais B (produits de classe B, voir en 9.3)	125
10.2.1	Généralités	125
10.2.2	Essais mécaniques du programme d'essais B	126
10.2.3	Essais électriques du programme d'essais B	126
10.2.4	Essais en coupe micrographique du programme d'essais B	127
10.3	Programme d'essais C (produits de classe C, voir en 9.4)	127
10.3.1	Généralités	127
10.3.2	Essais mécaniques selon le programme d'essais C	128
10.3.3	Essais électriques selon le programme d'essais C	129
10.3.4	Coupe micrographique du programme d'essais C	130
10.3.5	Essais climatiques selon le programme d'essais C	130
11	Groupes d'essais supplémentaires applicables (si cela est exigé)	131
11.1	Essai de chaleur sèche et de tenue en tension	131
11.2	Corrosion	131
12	Tableaux synoptiques	132
Annexe A (informative)	Recommandations pratiques	136
A.1	Système de soudage par ultrasons	136
A.2	Conditions de stockage et conditions de traitement	137
A.3	Technique de traitement	137
A.3.1	Exigences générales relatives aux technologies d'outillage	137
A.3.2	Surveillance	137
Bibliographie		138

Figure 2 – Épissurage de deux fils soudés par ultrasons, protégé par une gaine thermorétractable.....	80
Figure 3 – Vue de dessus d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie	80
Figure 4 – Vue latérale d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie	81
Figure 5 – Compactage d'extrémité soudé par ultrasons	81
Figure 6 – Connexion d'extrémité soudée par ultrasons	82
Figure 7 – Zone de soudage (1) pour deux fils dénudés avec isolation à base de gaine thermorétractable (2)	83
Figure 8 – Compactage d'extrémité soudé par ultrasons	83
Figure 9 – Épissure d'extrémité soudée par ultrasons	83
Figure 10 – Épissure en ligne cuivre-aluminium, soudée par ultrasons.....	83
Figure 11 – Épissure en ligne cuivre-cuivre, soudée par ultrasons	84
Figure 12 – Exemple 1 de soudage par ultrasons sur des sorties	84
Figure 13 – Exemple 2 de soudage par ultrasons sur des sorties	84
Figure 14 – Exemple 3 de soudage par ultrasons sur des sorties	84
Figure 15 – Exemple 4 de soudage par ultrasons sur des sorties	84
Figure 16 – Exemple de soudage de plusieurs fils sur une seule sortie	85
Figure 17 – Représentation de la longueur du conducteur (3) entre la sortie (2) et la jonction soudée (1)	86
Figure 18 – Vue en coupe de la propagation des ultrasons à travers la sonotrode dans la chambre de soudage, contre les surfaces passives associées ou non à un écartement avec les outils	87
Figure 19 – Vue en coupe de l'insertion asymétrique recommandée pour les différentes âmes au-dessus de la sonotrode dans la chambre de soudage	87
Figure 20 – Vue en coupe en variante de l'insertion asymétrique recommandée pour les différentes âmes au-dessus de la sonotrode.....	88
Figure 21 – Cotes d'isolement au niveau de l'épissure en ligne reliant une âme à plusieurs âmes	89
Figure 22 – Cotes d'isolement au niveau de l'épissure en ligne centrale avec plusieurs âmes des deux côtés	89
Figure 23 – Cotes d'isolement au niveau de l'épissure d'extrémité avec plusieurs âmes (extrémité étanche).....	89
Figure 24 – Rapport de compactage d'un fil de cuivre, allant d'un rapport prononcé à un rapport faible	90
Figure 25 – Âme avant et après soudage	91
Figure 26 – Spécimen de type A1	92
Figure 27 – Spécimen de type A2	92
Figure 28 – Spécimen de type B1, épissure en ligne avec deux fils de type 1 et de type 2	93
Figure 29 – Spécimen de type B2	93
Figure 30 – Spécimen de type C, connexion d'épissure d'extrémité avec fils de type 3 et de type 4.....	93
Figure 31 – Spécimen de type D, connexion d'un fil à une sortie.....	94
Figure 32 – Mesure de la hauteur de soudage par ultrasons	97
Figure 33 – Mesure de la largeur de soudage par ultrasons (2).....	97
Figure 34 – Représentation schématique du montage d'essai de courbure	100
Figure 35 – Représentation schématique du montage d'essai de courbure sur une sortie ...	100
Figure 36 – Montage d'essai pour les essais de pelage	101

Figure 37 – Montage d'essai pour l'essai de pelage mettant en œuvre la fixation (4), les fixations latérales avec pour chacune une saillie de 1,0 mm sur la surface de la sortie, la jonction soudée par ultrasons (1), la sortie (3).....	104
Figure 38 – Montage d'essai pour l'essai de force d'arrachement	105
Figure 39 – Montage d'essai pour l'essai de force d'arrachement sur les soudures avec des âmes électriques au niveau de la sortie.....	108
Figure 40 – Montage d'essai pour l'essai de vibrations de l'épissure.....	111
Figure 41 – Montage pour l'essai de vibrations mettant en œuvre la jonction soudée par ultrasons (1), la table de vibrations (5), les fixations (2), la sortie (4), le fil de référence avec connecteur de contre-contact (7)	112
Figure 42 – Épissure d'extrémité à un seul fil en aluminium (extrémité compactée).....	113
Figure 44 – Épissure d'extrémité à un seul fil en cuivre de moyenne section (extrémité compactée).....	113
Figure 45 – Épissure d'extrémité à un seul fil en cuivre de grande section (extrémité compactée).....	113
Figure 46 – Exemples de pinces d'essai de différentes tailles	114
Figure 47 – Exemple 1 d'une image de coupe micrographique valide de brins de cuivre soudés par ultrasons.....	115
Figure 48 – Exemple 2 d'une image de coupe micrographique valide de brins de cuivre soudés par ultrasons.....	115
Figure 49 – Exemple 3 d'une image de coupe micrographique valide de brins de cuivre soudés par ultrasons.....	115
Figure 50 – Montage pour la mesure au niveau de l'épissure (de 2 fils à 20 fils)	116
Figure 51 – Mesures des fils de référence de type 1 et de type 2.....	116
Figure 52 – Configuration pour la mesure de la chute de tension (U_1), au niveau des connexions soudées des sorties	117
Figure 53 – Mesure de la chute de tension (U_2) avec le même fil de référence (1).....	117
Figure 54 – Montage pour les mesures d'échauffement à la charge de courant.....	118
Figure 55 – Chambre de température avec ouverture à clapet pour les mesures de la charge de courant.....	119
Figure 56 – Schéma de l'essai de tenue à la tension diélectrique (tenue en tension)	121
Figure 57 – Programme d'essais A	132
Figure 58 – Programmes d'essais B.....	133
Figure 59 – Programme d'essais C, partie 1	134
Figure 60 – Programme d'essais C, partie 2	135
Figure A.1 – Procédé de soudage par ultrasons: 1) longitudinal, 2) torsionnel	136
Tableau 1 – Valeurs suggérées pour les jonctions soudées par ultrasons	88
Tableau 2 – Âmes combinées	90
Tableau 3 – Suggestions de grossissement pour l'examen visuel	95
Tableau 4 – Exemples de soudures conformes pour des épissures d'extrémité et en ligne ..	96
Tableau 5 – Représentation des caractéristiques d'erreur pour des épissures d'extrémité et en ligne.....	96
Tableau 6 – Caractéristiques valides d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie	98
Tableau 7 – Caractéristiques non valides d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie	99
Tableau 8 – Valeurs de la force de pelage pour les épissures de fils de cuivre soudées par ultrasons.....	102

Tableau 9 – Valeurs de la force de pelage pour les épissures de fils d'aluminium soudés par ultrasons.....	103
Tableau 10 – Valeurs de la force de pelage pour les fils de cuivre soudés par ultrasons sur des sorties.....	104
Tableau 11 – Valeurs de la force de pelage pour les fils d'aluminium soudés par ultrasons sur des sorties.....	105
Tableau 12 – Valeurs de la force d'arrachement pour les épissures de fils de cuivre soudés par ultrasons.....	106
Tableau 13 – Valeurs de la force d'arrachement pour les épissures de fils d'aluminium soudés par ultrasons.....	107
Tableau 14 – Valeurs de la force d'arrachement pour les fils de cuivre soudés par ultrasons sur des sorties.....	108
Tableau 15 – Rapport entre la largeur de jonction et la section d'âme des fils de cuivre (valeurs recommandées).....	109
Tableau 16 – Valeurs de la force d'arrachement pour les fils d'aluminium soudés par ultrasons sur des sorties.....	110
Tableau 17 – Rapport entre la largeur de jonction et la section d'âme des fils d'aluminium (valeurs recommandées).....	111
Tableau 18 – Paramètres d'essai de vibration (sinusoïdale) des connexions d'épissure soudées par ultrasons.....	112
Tableau 19 – Exigences relatives à l'essai de compactage d'une épissure d'extrémité à un seul fil.....	114
Tableau 20 – Tensions d'essai pour l'essai de tenue en tension.....	121
Tableau 21 – Groupe d'essais P0 – Examen initial.....	125
Tableau 22 – Groupe d'essais P1 – Essai de courbure.....	125
Tableau 23 – Groupe d'essais P2 – Essai de pelage conformément à l'ISO 10447.....	126
Tableau 24 – Groupe d'essais P3 – Essai de force d'arrachement.....	126
Tableau 25 – Groupe d'essais P4 – Force de compactage pour les épissures d'extrémité à un seul fil.....	126
Tableau 26 – Groupe d'essais P6 – Chute de tension (résistance).....	127
Tableau 27 – Groupe d'essais P7 – Résistance d'isolement.....	127
Tableau 28 – Groupe d'essais P10 – Coupe micrographique.....	127
Tableau 29 – Groupe d'essais P0 – Examen initial.....	128
Tableau 30 – Groupe d'essais P2 – Essais de pelage.....	128
Tableau 31 – Groupe d'essais P3 – Essais de force d'arrachement.....	129
Tableau 32 – Groupe d'essais P4 – Essai de force de compactage pour les épissures d'extrémité à un seul fil.....	129
Tableau 33 – Groupe d'essais P5 – Essai de vibrations (sinusoïdales).....	129
Tableau 34 – Groupe d'essais P6 – Chute de tension (résistance).....	129
Tableau 35 – Groupe d'essais P7 – Résistance d'isolement.....	130
Tableau 36 – Groupe d'essais P8 – Courant admissible.....	130
Tableau 37 – Groupe d'essais P10 – Coupe micrographique.....	130
Tableau 38 – Groupe d'essais P11 – Essais climatiques.....	130
Tableau 39 – Groupe d'essais P9 – Tenue en tension.....	131
Tableau 40 – Groupe d'essais P12 – Corrosion.....	131

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

CONNEXIONS SANS SOUDURE –

**Partie 9: Connexions soudées par ultrasons –
Exigences générales, méthodes d'essai et guide pratique**

AVANT-PROPOS

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

L'IEC 60352-9 a été établie par le sous-comité 48B: Connecteurs électriques, du comité d'études 48 de l'IEC: Connecteurs électriques et structures mécaniques pour les équipements électriques et électroniques. Il s'agit d'une .0Norme internationale.

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

Projet	Rapport de vote
48B/3080/FDIS	48B/3084/RVD

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

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60352, publiées sous le titre général *Connexions sans soudure*, se trouve 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 webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

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

INTRODUCTION

La présente partie de l'IEC 60352 couvre les connexions soudées par ultrasons et inclut des informations sur les exigences, les essais et les recommandations pratiques.

Le soudage par ultrasons est une forme de soudage par friction à froid qui est de plus en plus répandue dans de nombreux secteurs d'activité. Ce type de soudage utilise des vibrations ultrasoniques pour joindre les matériaux entre eux, en créant une liaison à la fois résistante et fiable. Le soudage par ultrasons a été identifié par l'Organisation internationale de normalisation (ISO) comme un procédé dans l'ISO 4063-41.

Le procédé de soudage par ultrasons s'appuie sur les ondes ultrasoniques haute fréquence utilisées pour générer une chaleur de friction au point de connexion. Il n'est pas exigé de température élevée pour cette méthode de soudage particulière, ce qui en fait l'une des façons les plus économiques de solidariser deux matériaux.

Ce procédé exige également moins d'étapes que les méthodes conventionnelles, ce qui signifie qu'il peut être achevé rapidement et en sollicitant un minimum de ressources.

Le soudage par ultrasons existe depuis des décennies, mais ce n'est que récemment que son usage est devenu plus répandu, en raison des avancées technologiques du procédé et de sa disponibilité à moindre coût. Il peut être utilisé sur de nombreux matériaux, comprenant les plastiques, les caoutchoucs, les métaux, les textiles et les matériaux composites. En raison de sa précision et de la résistance des liaisons qu'il définit, il est devenu extrêmement répandu dans les procédés de fabrication tels que ceux de l'industrie automobile, de l'électronique, de la fabrication de mobilier et même de la fabrication de dispositifs médicaux.

Le présent document décrit un système de classification de produits selon l'utilisation prévue du produit final. Trois niveaux génériques de produits finaux sont identifiés: les produits de classe A, de classe B et ceux de classe C. Les produits de classe A sont destinés à un usage général, et comprennent les biens de consommation, les ordinateurs et les périphériques informatiques, pour lesquels l'exigence majeure est la fonction de l'assemblage. Les produits de classe B sont des éléments électroniques de service spécifiques, qui offrent des performances élevées et une durée de vie étendue. Enfin, les produits de classe C ciblent des performances élevées associées à une tolérance zéro sur les temps d'arrêt des équipements; ils incluent les systèmes de maintien de la vie et les autres systèmes critiques. Il convient que le développeur ou l'utilisateur de connexions soudées par ultrasons détermine la classe à laquelle appartient son produit final.

Le présent document décrit les exigences d'essai relatives aux connexions soudées par ultrasons destinées à être utilisées dans des produits de classe A, B ou C. Des groupes d'essai P0 à P11 sont spécifiés, avec des groupes d'essai supplémentaires facultatifs P9 et P12, si cela est exigé par le fabricant et l'utilisateur.

Trois programmes d'essais – A (basique), B (intermédiaire) et C (complet) – sont fournis, sur la base d'une sélection spécifique de groupes d'essai, chacun représentant les exigences minimales pour chaque classe de produits finis identifiée correspondante.

CONNEXIONS SANS SOUDURE –

Partie 9: Connexions soudées par ultrasons – Exigences générales, méthodes d'essai et guide pratique

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60352 couvre les connexions soudées par ultrasons et inclut des informations sur les exigences, les essais et les recommandations pratiques.

Le présent document couvre les connexions soudées par ultrasons effectuées avec des fils toronnés ou souples (de classe 2, 5 ou 6 conformément à l'IEC 60228) en cuivre ou en alliage de cuivre, ainsi qu'en aluminium ou en alliage d'aluminium.

Ces connexions métal-métal soudées doivent utiliser des fils dont la section transversale est de 0,08 mm² à 160 mm² et ne doivent pas dépasser une section totale de 200 mm² dans le cas d'un faisceau de fils.

Pour les fils en aluminium ou en alliage d'aluminium, la section minimale exigée est de 2,5 mm².

En outre, des informations sur les matériaux, des données issues de l'expérience industrielle et des procédures d'essai sont incluses, afin d'assurer des connexions électriquement stables dans les conditions d'environnement prescrites.

Enfin, le présent document vise à obtenir des résultats comparables lorsque des équipements de soudage par ultrasons offrant des performances et des spécifications similaires à celles spécifiées par le fabricant de sorties sont utilisés.

NOTE Les figures du présent document donnent des exemples de solutions envisageables de connexions soudées par ultrasons de forme rectangulaire, sans pour autant restreindre les possibilités à la seule forme représentée.

2 Références normatives

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

IEC 60050-581, *Vocabulaire Électrotechnique International – Partie 581: Composants électromécaniques pour équipements électroniques*

IEC 60068-1:2013, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et lignes directrices*

IEC 60068-2-1, *Essais d'environnement – Partie 2-1: Essais – Essai A:Froid*

IEC 60068-2-2, *Essais d'environnement – Partie 2-2: Essais – Essai B:Chaleur sèche*

IEC 60068-2-6, *Essais d'environnement – Partie 2-6: Essais – Essai Fc: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60068-2-14, *Essais d'environnement – Partie 2-14: Essais – Essai N:Variation de température*

IEC 60068-2-30, *Essais d'environnement – Partie 2-30: Essais – Essai Db: Essai cyclique de chaleur humide (cycle de 12 h + 12 h)*

IEC 60068-2-60, *Essais d'environnement – Partie 2-60: Essais – Essai Ke: Essai de corrosion dans un flux de mélange de gaz*

IEC 60228, *Âmes des câbles isolés*

IEC 60512-1, *Connecteurs pour équipements électriques et électroniques – Essais et mesures – Partie 1: Spécification générique*

IEC 60512-1-1, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 1-1: Examen général – Essai 1a: Examen visuel*

IEC 60512-1-2, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 1-2: Examen général – Essai 1b: Examen de dimension et masse*

IEC 60512-2-1, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 2-1: Essais de continuité électrique et de résistance de contact – Essai 2a: Résistance de contact – Méthode du niveau des millivolts*

IEC 60512-2-2, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 2-2: Essais de continuité électrique et de résistance de contact – Essai 2b: Résistance de contact – Méthode du courant d'essai spécifié*

IEC 60512-2-5, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 2-5: Essais de continuité électrique et de résistance de contact – Essai 2e: Perturbation de contact*

IEC 60512-3-1, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 3-1: Essais d'isolement – Essai 3a: Résistance d'isolement*

IEC 60512-4-1, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 4-1: Essais de contrainte diélectrique – Essai 4a: Tension de tenue*

IEC 60512-5-2, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 5-2: Essais de courant limite – Essai 5b: Taux de réduction de l'intensité en fonction de la température*

IEC 60512-6-4, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 6-4: Essais de contraintes dynamiques – Essai 6d: Vibrations (sinusoïdales)*

IEC 60512-11-1, *Connecteurs pour équipements électriques et électroniques – Essais et mesures – Partie 11-1: Essais climatiques – Essai 11a – Séquence climatique*

IEC 60512-11-4, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 11-4: Essais climatiques – Essai 11d: Variations rapides de température*

IEC 60512-11-7, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 11-7: Essais climatiques – Essai 11g: Essai de corrosion dans un flux de mélange de gaz*

IEC 60512-11-9, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 11-9: Essais climatiques – Essai 11i: Chaleur sèche*

IEC 60512-11-10, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 11-10: Essais climatiques – Essai 11j: Froid*

IEC 60512-11-12, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 11-12: Essais climatiques – Essai 11m: Essai cyclique de chaleur humide*

IEC 60512-16-4, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 16-4: Essais mécaniques des contacts et des sorties – Essai 16d: Résistance à la traction (connexions serties)*

IEC 60512-16-7, *Connecteurs pour équipements électroniques – Essais et mesures – Partie 16-7: Essais mécaniques des contacts et des sorties – Essai 16g: Mesure de la déformation d'un contact après sertissage*

IEC 60947-1:2020, *Appareillage à basse tension – Partie 1: Règles générales*

IEC 60999-1, *Dispositifs de connexion – Conducteurs électriques en cuivre – Prescriptions de sécurité pour organes de serrage à vis et sans vis – Partie 1: Prescriptions générales et particulières pour les organes de serrage pour les conducteurs de 0,2 mm² à 35 mm² (inclus)*

IEC 61191-1:2018, *Ensembles de cartes imprimées – Partie 1: Spécification générique – Exigences relatives aux ensembles électriques et électroniques brasés utilisant les techniques de montage en surface et associées*

ISO 1463:2021, *Revêtements métalliques et couches d'oxyde – Mesurage de l'épaisseur de revêtement – Méthode par coupe micrographique*

ISO 6722-1, *Véhicules routiers – Câbles monoconducteurs de 60 V et 600 V – Partie 1: Dimensions, méthodes d'essai et exigences pour les câbles conducteurs en cuivre*

ISO 6722-2, *Véhicules routiers – Câbles monoconducteurs de 60 V et 600 V – Partie 2: Méthodes d'essai des dimensions et exigences pour les câbles conducteurs en aluminium*

ISO 10447, *Soudage par résistance – Essais des soudures – Essais de pelage et de déboutonnage au burin appliqués aux soudures par résistance par points et par bossages*

ISO 21747:2006, *Méthodes statistiques – Performances de processus et statistiques d'aptitude pour les caractéristiques de qualité mesurées*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'IEC 60050-581, l'IEC 60512-1 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

3.1

soudage par ultrasons

soudage avec pression au cours duquel des vibrations mécaniques à hautes fréquences et de faible amplitude, associées à un effort statique, permettent de souder deux pièces à une température très inférieure au point de fusion du matériau

[SOURCE: ISO/TR 25901-3:2016, 2.2.1.6.1]

3.2

machine de soudage par ultrasons – système de soudage par ultrasons

système de soudage par ultrasons se composant d'un générateur d'ultrasons, d'un convertisseur à ultrasons, d'une sonotrode et des accessoires électriques et mécaniques nécessaires pour la faire fonctionner

Note 1 à l'article: La Figure 1 représente la construction d'un système de soudage par ultrasons spécifiquement conçu pour l'épissurage de fils.

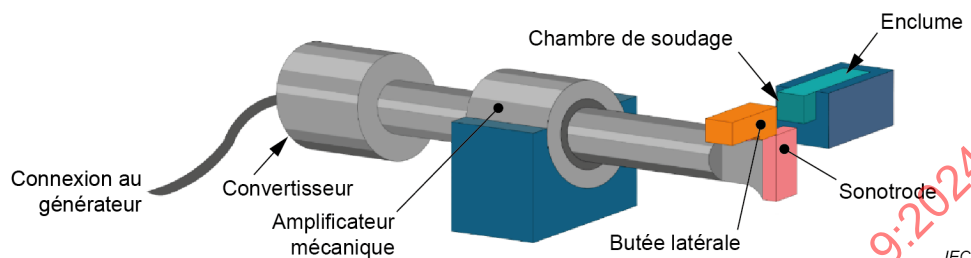


Figure 1 – Machine de soudage par ultrasons conçue pour réaliser des épissures entre au moins deux fils

3.3

générateur d'ultrasons

source qui génère de l'énergie électrique haute fréquence à destination des transducteurs à ultrasons

3.4

convertisseur à ultrasons

dispositif qui reçoit de l'énergie électronique à une fréquence ultrasonique et qui la convertit en oscillations mécaniques

3.5

sonotrode

composant qui transmet les vibrations ultrasoniques directement aux parties à souder

3.6

amplificateur mécanique de vibrations

élément intermédiaire disposé entre le convertisseur et la sonotrode, qui amplifie les oscillations ultrasoniques

3.7

plaque de surface

plaque enclume

paroi passive, située sous l'enclume ou sur le côté de celle-ci, et séparée de la sonotrode selon un écartement défini, afin d'éviter tout contact et tout dommage potentiel aux outils

Note 1 à l'article: Une plaque de surface ou enclume est prévue uniquement dans une machine de soudage destinée à l'épissurage, qui est un sous-ensemble de machine de soudage par ultrasons.

3.8

butée latérale d'ultrasons

dispositif utilisé pour ajuster la largeur de soudage

Note 1 à l'article: La butée latérale d'ultrasons est un dispositif utilisé pour contrôler la largeur de soudage, et qui peut être positionnée soit sur la sonotrode, soit au-dessus de l'enclume, selon le type de machine de soudage par ultrasons.

3.9

enclume

composant de la machine de soudage par ultrasons, située du côté opposé au cornet et constituant une paroi de la chambre de soudage

3.10

chambre de soudage par ultrasons

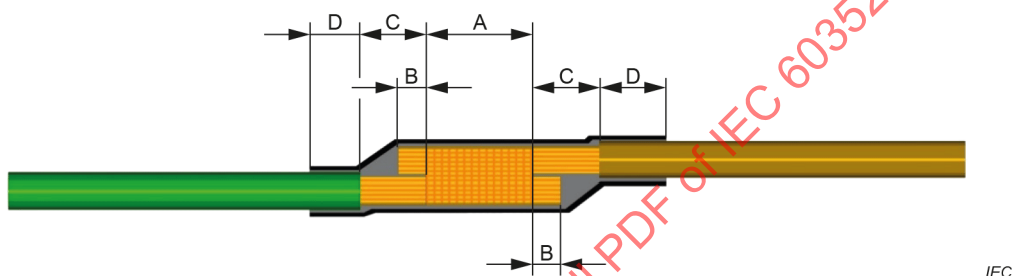
zone spécifique à l'application visée, conçue pour accueillir les matériaux et les composants nécessitant d'être soudés ensemble

3.11

longueur d'épissure soudée par ultrasons

zone de la sonotrode spécifique au système, qui définit la longueur de la jonction soudée

Note 1 à l'article: Voir la Figure 2.



Légende

- A longueur de l'épissure
- B excédent de fil en bout d'épissure
- C distance entre l'isolant et l'épissure
- D longueur de gaine thermorétractable qui chevauche l'isolant du fil

Figure 2 – Épissurage de deux fils soudés par ultrasons, protégé par une gaine thermorétractable

3.12

largeur de soudage par ultrasons

largeur de soudage définie par les outils passifs de la machine de soudage qui constituent la chambre de soudage

Note 1 à l'article: Voir la Figure 3.



Légende

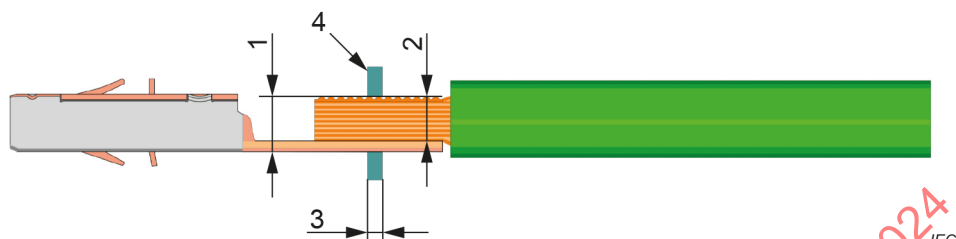
- 2 largeur de soudage

Figure 3 – Vue de dessus d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie

3.13**hauteur de soudage par ultrasons**

hauteur du matériau soudé (c'est-à-dire les brins)

Note 1 à l'article: Voir la Figure 4.

**Légende**

- 1 hauteur, incluant la pastille de soudage
- 2 hauteur de soudage
- 3 largeur de l'outil de mesure
- 4 outil de mesure

Figure 4 – Vue latérale d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie

3.14**compactage d'extrémité soudé par ultrasons**

fil dont les brins ont été soudés ensemble, à une extrémité non isolée

Note 1 à l'article: Voir la Figure 5.



Figure 5 – Compactage d'extrémité soudé par ultrasons

3.15**rapport de compactage soudé par ultrasons**

rapport de la section des fils soudés sur la section correspondant à la somme de tous les brins à souder

3.16**jonction soudée par ultrasons**

connexion soudée de brins, solidarisés entre eux ou reliés à des composants, définissant une longueur et une largeur de jonction

3.17**connexion d'épissure soudée par ultrasons****épissure en ligne**

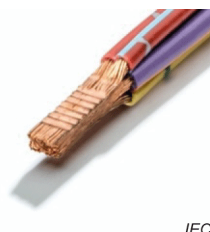
jonction qui comporte au moins deux fils soudés ensemble dans la direction axiale

3.18

épaisseur d'extrémité soudée par ultrasons

façon sûre de relier ensemble deux fils, ou davantage, qui suivent la même direction

Note 1 à l'article: Voir la Figure 6.



IEC

Figure 6 – Connexion d'extrémité soudée par ultrasons

4 Informations sur les fils et les sorties

4.1 Matériaux des âmes

Les âmes câblées (classe 2), les âmes souples (classe 5) et celles présentant une souplesse supérieure à la classe 5 (classe 6) (comme défini dans l'IEC 60228) sont normalement utilisées pour les connexions soudées par ultrasons.

Il convient que la section totale maximale du fil de cuivre dans un toron ne dépasse pas 200 mm^2 , tandis que la plus petite section autorisée est de $0,08 \text{ mm}^2$. Il convient que les âmes fabriquées à partir d'aluminium ou de ses alliages aient une section d'au moins $2,5 \text{ mm}^2$. L'expérience montre que ces matériaux peuvent ne pas fonctionner en toute sécurité avec des sections plus petites.

L'enveloppe isolante doit être distante de la soudure selon un écartement défini, de sorte que l'échauffement qui se produit pendant le soudage ne modifie pas les propriétés physiques de l'isolation.

Pendant le soudage par ultrasons, il est important de garder en tête qu'il convient que la température de l'enveloppe isolante n'atteigne pas le point d'éclair du matériau. Si l'isolation présente des points de fusion ponctuels ou de légères fusions, il convient alors de les accepter car cela n'a aucun effet sur la fonction.

L'aptitude des matériaux des âmes électriques et des sorties à souder doit être soumise à essai (par exemple en soudant par ultrasons deux morceaux du même fil ensemble pour réaliser l'essai de résistance au pelage en 7.3.3. Pour les sorties présentant les sections maximale et minimale, réaliser l'essai de force de traction en 7.3.5).

4.2 Revêtement de surface des âmes

Des âmes nues sont normalement utilisées.

Les âmes avec un revêtement de surface étamé ne doivent pas être utilisées; tous les autres revêtements doivent être soumis à essai.

5 Exigences relatives au soudage par ultrasons

5.1 Exemples de connexions soudées par ultrasons

Des exemples de connexions soudées par ultrasons couvertes par le présent document sont donnés aux figures allant de la Figure 1 à la Figure 16.

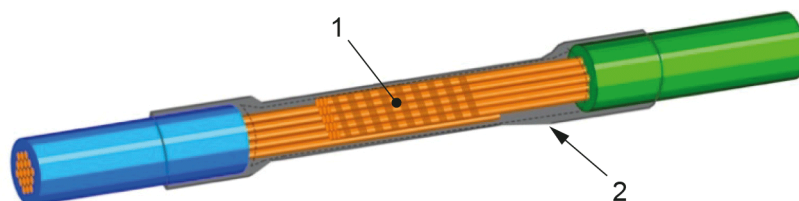


Figure 7 – Zone de soudage (1) pour deux fils dénudés avec isolation à base de gaine thermorétractable (2)



Figure 8 – Compactage d'extrémité soudé par ultrasons



Figure 9 – Épissure d'extrémité soudée par ultrasons

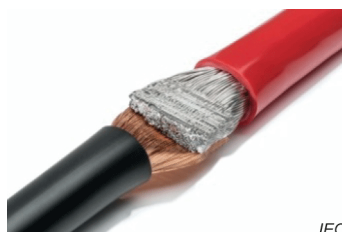


Figure 10 – Épissure en ligne cuivre-aluminium, soudée par ultrasons

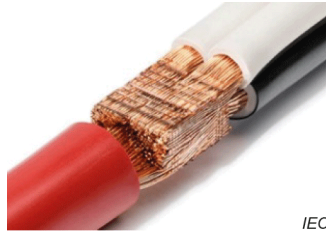


Figure 11 – Épissure en ligne cuivre-cuivre, soudée par ultrasons



Figure 12 – Exemple 1 de soudage par ultrasons sur des sorties



Figure 13 – Exemple 2 de soudage par ultrasons sur des sorties



Figure 14 – Exemple 3 de soudage par ultrasons sur des sorties

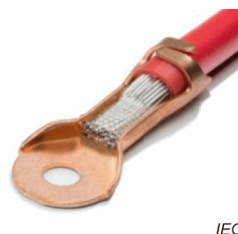


Figure 15 – Exemple 4 de soudage par ultrasons sur des sorties



Figure 16 – Exemple de soudage de plusieurs fils sur une seule sortie

5.2 Exigences générales

Les matériaux des fils à souder doivent satisfaire aux exigences de conception suivantes.

Seuls des fils qui sont attestés comme étant soudables doivent être utilisés.

De nombreux fabricants de fils fournissent désormais des informations sur la soudabilité par ultrasons de leurs fils, au moins sur demande. Si le fabricant de fils ne fournit aucune information à ce sujet, l'essai peut également être réalisé en non propre. L'essai de pelage décrit en 7.3.3 est particulièrement approprié pour soumettre un fil à essai. Souder ensemble deux morceaux du fil à soumettre à essai. Il convient que trois spécimens dépassent les valeurs données dans le Tableau 9 ou le Tableau 10.

Bien qu'il soit idéal de stocker les fils coupés ou dénudés à des températures comprises entre +15 °C et +35 °C, et soumis à une humidité relative de 75 %, il est souvent difficile de maintenir de telles conditions dans la pratique. Afin de prolonger la durée de vie du fil, même si ces exigences ne sont pas toujours satisfaites, il convient que la fonctionnalité du fil soit soumise à essai régulièrement. Cela peut contribuer à préserver la fiabilité des fils, en dépit de tous les obstacles d'environnement.

Dans les procédés de soudage, les débris de corps étrangers (FOD, Foreign Object Debris) peuvent être une préoccupation majeure. Les FOD peuvent provenir de nombreuses sources: un procédé de fabrication du fabricant de fils, l'environnement, ou même une manipulation incorrecte avant le soudage. Pour s'assurer d'un niveau de contamination minimal dans la zone de soudage, il est important d'essayer d'enlever toutes les particules étrangères lorsque cela est possible. Malheureusement, cela n'est pas toujours possible avec les fils, qui par nature introduisent des particules dans la zone de soudage. Les résidus d'isolant présents sur le fil peuvent causer une forte contamination s'ils ne sont pas retirés. Dans ces cas, il convient d'envisager une solution visant à réduire le plus possible les risques de dommages causés par ces contaminants.

Les fissures ou les ruptures au niveau de la jonction soudée ne doivent pas être autorisées.

L'empreinte de l'outil doit être clairement visible sur la surface de la jonction.

Pour réduire la probabilité de défaillance pendant le soudage par ultrasons, il est important de s'assurer qu'il n'y a pas de brins manquants, désolidarisés, pincés ou protubérants, résultant du procédé de découpe et de dénudage des fils. Malheureusement, bien que ce critère puisse être défini en théorie, il est impossible dans la pratique d'obtenir et d'assurer des résultats optimaux. Suite au procédé de soudage par ultrasons, le métal subit une déformation qui peut entraîner la formation de traces sur des brins individuels, à l'extérieur de la zone de soudage. Bien qu'il s'agisse d'un facteur inévitable, il convient de tout mettre en œuvre pour réduire le plus possible les ruptures potentielles ou le cisaillement des brins.

Tous les lubrifiants ou autres influences externes dans le procédé doivent être évités.

Lors de l'insertion des fils, les plus grandes sections doivent être insérées côté sonotrode (en bas sur la plupart des soudeuses d'épissures, et généralement en haut sur les machines de soudage de sorties).

Il convient que les fils livrés soient conformes aux spécifications du fabricant de fils et ils ne doivent pas être torsadés, réusinés ou modifiés d'une quelconque autre manière par une opération manuelle ou par la machine.

Tous les brins d'une âme doivent être entièrement disposés dans le sens de la longueur dans la zone de soudage.

Il convient d'insérer les fils de manière asymétrique, car les fils soudés symétriquement présentent une plus faible résistance au pelage.

Les dimensions de construction, la protection mécanique contre le pelage (pour les connexions multiconducteurs) et les spécifications d'isolation doivent être respectées.

Après le procédé de soudage par ultrasons, un examen visuel de la jonction doit être effectué.

5.3 Influence de la longueur de fil pour les soudures à l'autre extrémité des connexions des sorties

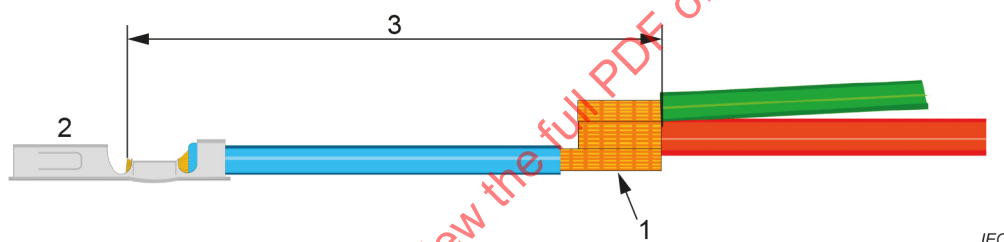


Figure 17 – Représentation de la longueur du conducteur (3) entre la sortie (2) et la jonction soudée (1)

Lors du soudage par ultrasons d'un fil qui dispose déjà d'une sortie à l'extrémité opposée (Figure 10), une partie de l'excitation ultrasonique est transmise le long du fil et peut potentiellement engendrer des problèmes fonctionnels/de qualité avec la sortie existante.

La probabilité de telles modifications dans la sortie augmente d'autant:

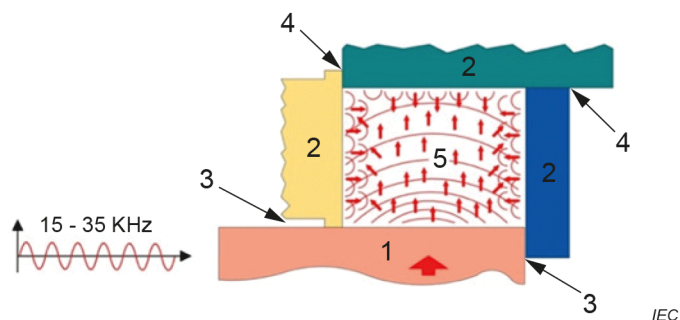
- que l'âme est courte;
- que la section totale de la sortie soudée est grande.

Il est recommandé de vérifier les longueurs spécifiées par le fabricant de la pièce de contact avant de choisir une spécification de longueur minimale pour les fils entre la première sortie soudée et la deuxième soudure, car des effets sur les sorties peuvent être observés à des longueurs inférieures à 400 mm (voir la Figure 17).

S'assurer d'utiliser un outil d'examen approprié lors de la recherche de défauts sur la sortie placée à l'extrémité opposée. Cela peut inclure une loupe ou un microscope, car certains types de dommages peuvent ne pas être visibles sans l'aide d'un grossissement.

5.4 Exigences de conception

La flèche rouge à la Figure 18 représente la direction de propagation des ultrasons, et non le mouvement de la sonotrode ou une direction de force. L'énergie ultrasonique est ensuite transmise par la sonotrode (1) et son rayonnement vers l'extérieur, selon un modèle cylindrique, peut être observé, qui vient frapper les surfaces (2) associées à un écartement (3) et celles non associées à un écartement (4) à l'intérieur de la chambre de soudage (5).

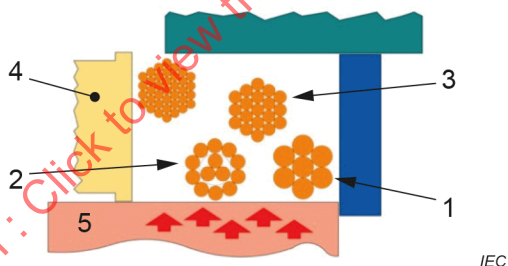


Légende

- 1 sonotrode
- 2 surfaces
- 3 avec écartement
- 4 sans écartement
- 5 chambre de soudage

Figure 18 – Vue en coupe de la propagation des ultrasons à travers la sonotrode dans la chambre de soudage, contre les surfaces passives associées ou non à un écartement avec les outils

La Figure 19 représente une vue en coupe de l'insertion asymétrique recommandée pour les différentes âmes au-dessus de la sonotrode (5) dans la chambre de soudage: fils de grande section (1), fils de section moyenne (2), fils de petite section (3) et fils de la plus petite section autorisée (4).

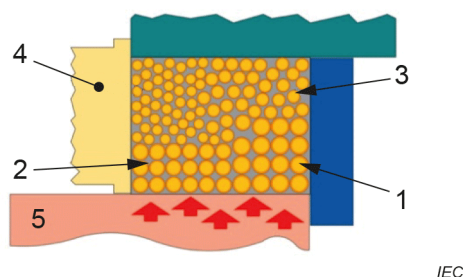


Légende

- 1 fils de grande section
- 2 fils de moyenne section
- 3 fils de petite section
- 4 fils de la plus petite section
- 5 sonotrode

Figure 19 – Vue en coupe de l'insertion asymétrique recommandée pour les différentes âmes au-dessus de la sonotrode dans la chambre de soudage

La Figure 20 représente une vue en coupe en variante de l'insertion ou du placement recommandés pour les différentes âmes au-dessus de la sonotrode (5) dans la chambre de soudage: fils avec des brins de grande section (1), fils avec des brins de moyenne section (2), fils avec des brins de petite section (3) et fils avec des brins de la plus petite section autorisée (4).



Légende

- 1 fils de grande section
- 2 fils de moyenne section
- 3 fils de petite section
- 4 fils de la plus petite section
- 5 sonotrode

Figure 20 – Vue en coupe en variante de l'insertion asymétrique recommandée pour les différentes âmes au-dessus de la sonotrode

Le Tableau 1 fournit des valeurs empiriques qui peuvent être utilisées comme guide pour l'application représentée à la Figure 21.

Il convient de ne pas considérer ces valeurs comme des exigences. Le tableau sert de point de départ ou de guide pour la prise de décision, mais d'autres recherches et analyses peuvent être exigées pour des applications plus spécifiques.

Tableau 1 – Valeurs suggérées pour les jonctions soudées par ultrasons

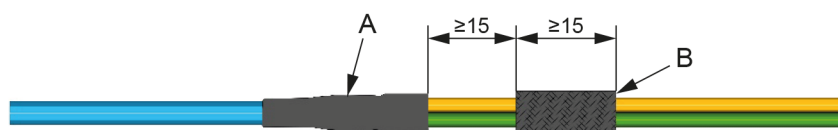
Section de l'épaisseur, S, en mm ²		$S < 1$	$1 \leq S < 4$	$4 \leq S < 10$	$10 \leq S < 25$	$S \geq 25$
A	Longueur d'épissure ^a , en mm	5 – 16	5 – 16	7 – 16	10 – 16	10 – 19
B	Dépassement de fil à l'extrémité, en mm	> 0,5	< 1	> 1	< 1,5	< 2
C	Distance par rapport à l'isolant, en mm	1	2	3	4	< 5
D	Chevauchement gaine/isolant, en mm	3	4	> 5	> 8	> 10
^a Il convient que les gaines thermorétractables ne soient pas percées; à défaut, du ruban adhésif isolant peut être utilisé en variante. Les valeurs données dans le Tableau 1 sont uniquement indicatives et les longueurs de fil peuvent rester identiques quelle que soit la section. Cela dépend de l'outil utilisé par le fabricant de machines.						

5.5 Protection mécanique et électrique de la jonction soudée

La jonction soudée doit être isolée avec des matériaux approuvés conformément aux spécifications de conception.

Pour une sécurité optimale, il convient de protéger les soudures par un dispositif antipelage, en tenant compte d'une force de pelage d'au moins 80 N. Pour les brins de section inférieure à 0,35 mm², un enveloppement supplémentaire avec du ruban adhésif est conseillé, voir la Figure 21, la Figure 22 et la Figure 23.

Dimensions en millimètres



IEC

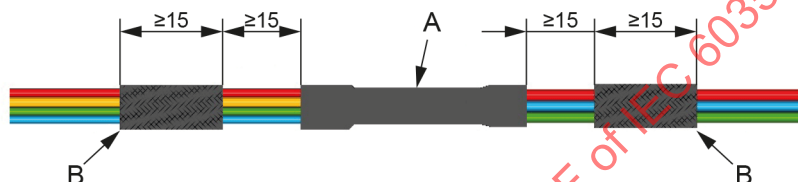
NOTE 1 Pour A, utiliser une gaine thermorétractable ou au moins 2,5 couches de ruban adhésif en tissu.

NOTE 2 Pour A, utiliser au moins 2,5 couches de ruban adhésif en tissu.

NOTE 3 Le ruban adhésif en tissu ne peut être utilisé que pour des applications sèches.

Figure 21 – Cotes d'isolement au niveau de l'épissure en ligne reliant une âme à plusieurs âmes

Dimensions en millimètres



IEC

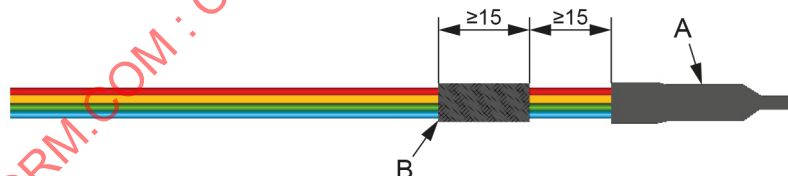
NOTE 1 Pour A, utiliser une gaine thermorétractable ou au moins 2,5 couches de ruban adhésif en tissu.

NOTE 2 Pour A, utiliser au moins 2,5 couches de ruban adhésif en tissu.

NOTE 3 Le ruban adhésif en tissu ne peut être utilisé que pour des applications sèches.

Figure 22 – Cotes d'isolement au niveau de l'épissure en ligne centrale avec plusieurs âmes des deux côtés

Dimensions en millimètres



IEC

NOTE 1 Pour A, utiliser une gaine thermorétractable ou au moins 2,5 couches de ruban adhésif en tissu.

NOTE 2 Pour A, utiliser au moins 2,5 couches de ruban adhésif en tissu.

NOTE 3 Le ruban adhésif en tissu ne peut être utilisé que pour des applications sèches.

Figure 23 – Cotes d'isolement au niveau de l'épissure d'extrémité avec plusieurs âmes (extrémité étanche)

5.6 Âmes combinées – Exigences

Il est recommandé de ne pas autoriser plus de 20 âmes dans une épissure, car il n'est pas possible pour un opérateur de manipuler plus de 8 fils lors de la production en série.

Il est recommandé de définir la plus faible section d'âme en fonction de la section de l'épissure, conformément au Tableau 2. Cela permet d'atteindre un taux de fiabilité théorique minimal de 9 % dans la détection des fils manquants, qui peut potentiellement descendre jusqu'à 5 %. Cependant, une jonction soudée de 5 mm² rend difficile la détection d'un fil de 0,35 mm², qui constitue la limite actuelle de la technologie.

Tableau 2 – Âmes combinées

Plus petite section de fil admise dans l'épaisseur / nombre d'âmes admis mm ²						
Section d'épaisseur	1 à 5	> 5 à 10	> 10 à 15	> 15 à 20	> 20 à 30	> 30 à 50
Plus petite section de fil	0,35	0,5	0,75	1	1,5	2,5
Il est recommandé de ne pas autoriser plus de 20 âmes dans une épaisseur, car il n'est pas possible pour un opérateur de manipuler plus de 8 fils lors de la production en série.						

Si une épaisseur ne satisfait pas aux conditions ci-dessus, elle doit être divisée en plusieurs épaisseurs.

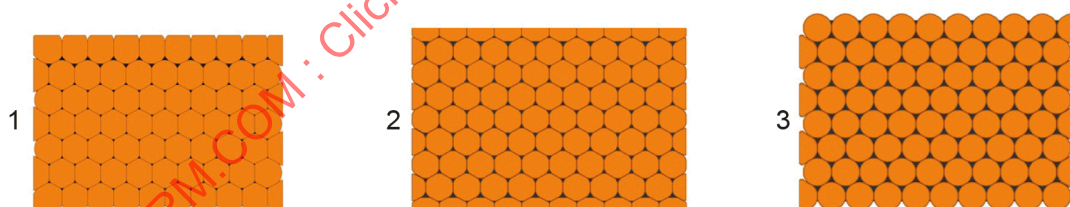
Pour connecter les fils, la section maximale qui satisfait aux conditions d'âmes combinées des épaisseurs, compte tenu de la charge de courant admise de ce fil.

Il est recommandé que les épaisseurs soient distantes au minimum de 50 mm les unes des autres, pour éviter qu'elles ne s'affectent entre elles.

5.7 Rapport de compactage des connexions soudées par ultrasons

Il est recommandé d'utiliser les mesures de force d'arrachement comme critère principal pour l'évaluation, tandis qu'il convient de n'effectuer les mesures du rapport de compactage que pendant le processus de mise en production, et non pendant la production en série. Tous les brins des différents conducteurs doivent être déformés et connectés les uns aux autres.

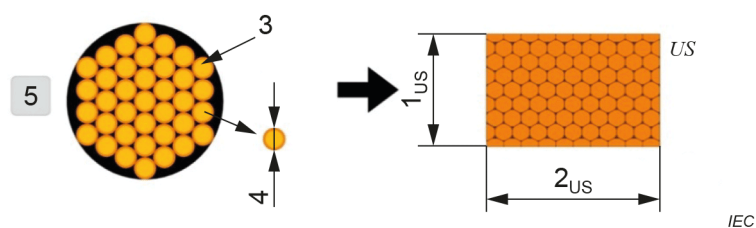
Il convient que le rapport de compactage (V) soit compris entre 95 % et 120 %, et entre 60 % et 115 % pour les fils en aluminium. La Figure 24 représente schématiquement une section de fil de cuivre soumise à un soudage par ultrasons, avec un rapport de compactage prononcé (95 %, voir le schéma 1), équilibré (107 %, voir le schéma 2) et faible (120 %, voir le schéma 3).



IEC

Figure 24 – Rapport de compactage d'un fil de cuivre, allant d'un rapport prononcé à un rapport faible

La Figure 25 représente l'âme avant et après le soudage avec la hauteur de soudure (1), la largeur de soudure (2), un brin (3), le diamètre d'un brin (4) et la section de l'âme, A_5 (5).



Légende

- 1 hauteur de soudure
- 2 largeur de soudage
- 3 brin
- 4 diamètre d'un brin
- 5 section de l'âme

Figure 25 – Âme avant et après soudage

Le calcul de la surface de l'âme doit être effectué conformément à la Formule (1) ou selon la méthode basée sur le poids donnée dans l'ISO 6722-1 ou l'ISO 6722-2.

$$A_5 = \frac{n_3 \times d_4^2 \times \pi}{4} \quad (1)$$

où

A_5 est la surface de l'âme;

n_3 est le nombre de brins;

d_4 est le diamètre de chaque brin.

Calcul de la section soumise à un soudage par ultrasons:

$$A_{US} = 1_{US} \times 2_{US} \quad (2)$$

où

A_{US} est la surface de l'épissure;

1_{US} est la hauteur de la jonction;

2_{US} est la largeur de la jonction.

Calcul du rapport de compactage:

$$V_{US} = \frac{A_{US}}{A_5} \times 100 \quad (3)$$

où

V_{US} est le rapport de compactage (%);

A_{US} est la section soumise à soudage;

A_5 est la surface de l'âme.

6 Spécimens

6.1 Généralités

Si un ensemble est exigé pour un essai, les spécimens doivent être fixés en utilisant la technique d'assemblage conventionnelle, sauf indication contraire dans la spécification particulière du produit.

Avant l'essai, les types d'échantillons exigés doivent être préparés en respectant le numéro spécifié.

6.2 Spécimen de type A1 ou A2

Pour les mesures électriques, il est recommandé d'utiliser des spécimens de type A1 et A2 (voir la Figure 26 et la Figure 27) d'une longueur de 200 mm. Pour les essais mécaniques, la longueur peut être choisie librement tant que tous les fils du groupe ont la même longueur; il convient de consigner ceci dans le rapport d'essai. Il convient que tous les fils soient identiques; il n'est pas recommandé de mélanger différents types.



Figure 26 – Spécimen de type A1



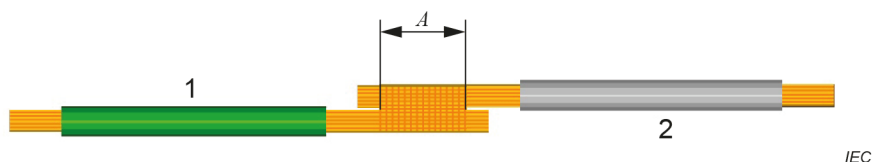
Figure 27 – Spécimen de type A2

NOTE Plusieurs types de fils différents, par exemple (1), (2), (3) et (4)

Pour obtenir une connexion électrique optimale, il convient que les extrémités dénudées des spécimens de type A1 ou A2 soient préparées par compactage, soudage, brasage, sertissage, ou en utilisant une autre méthode appropriée.

6.3 Spécimen de type B1 ou B2

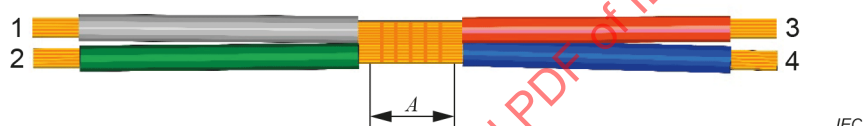
Un spécimen de type B1 ou B2 est constitué d'au moins deux fils (type 1 et type 2, au maximum 20, voir en 5.6) au niveau d'une épissure.



Légende

- 1 fil de type 1
- 2 fils de type 2
- A longueur d'épissure soudée par ultrasons

Figure 28 – Spécimen de type B1, épissure en ligne avec deux fils de type 1 et de type 2



NOTE Épissure en ligne avec quatre fils de type 1, de type 2, de type 3 et de type 4.

Figure 29 – Spécimen de type B2

Spécimen de type B1 ou B2, grade 1, 2, 3, 4 (et suivants, maximum de 20 conducteurs).

Pour les mesures électriques, il est recommandé d'utiliser des spécimens de type B1 et B2 (voir la Figure 28 et la Figure 29) d'une longueur de 200 mm. Pour les essais mécaniques, la longueur peut être choisie librement tant que tous les fils du groupe ont la même longueur; il convient de consigner ceci dans le rapport d'essai. Il convient que tous les fils soient identiques; ne pas mélanger différents types.

Pour obtenir une connexion électrique optimale, il convient que les extrémités dénudées des spécimens de type B1 ou B2 soient préparées par compactage, soudage, brasage, sertissage, ou en utilisant une autre méthode appropriée.

6.4 Spécimen de type C

Un spécimen de type C est constitué d'au moins deux fils (type 1 et type 2, au maximum 20 conducteurs, voir en 5.6) au niveau d'une connexion d'épissure d'extrémité.

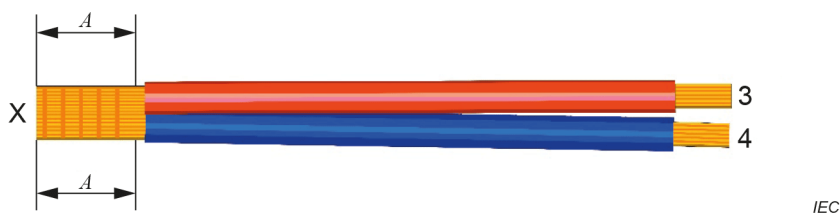


Figure 30 – Spécimen de type C, connexion d'épissure d'extrémité avec fils de type 3 et de type 4

Spécimen de type C à l'épaisseur d'extrémité (X), grade: 1, 2, 3, 4 (et suivants, maximum de 20 conducteurs).

Pour les mesures électriques, il est recommandé d'utiliser des spécimens d'une longueur de 200 mm, voir la Figure 30. Pour les essais mécaniques, la longueur peut être choisie librement tant que tous les fils du groupe ont la même longueur; il convient de consigner ceci dans le rapport d'essai. Il convient que tous les fils soient identiques; ne pas mélanger différents types.

Pour obtenir une connexion électrique optimale, il convient que les extrémités dénudées des spécimens soient préparées par compactage, soudage, brasage, sertissage, ou en utilisant une autre méthode appropriée.

6.5 Spécimen de type D

Un spécimen de type D, voir la Figure 31, est constitué d'une connexion soudée reliant un fil à une sortie.



Figure 31 – Spécimen de type D, connexion d'un fil à une sortie

Pour les mesures électriques, il est recommandé d'utiliser des spécimens d'une longueur de 200 mm. Pour les essais mécaniques, la longueur peut être choisie librement tant que tous les fils du groupe ont la même longueur; il convient de consigner ceci dans le rapport d'essai. Il convient que tous les fils soient identiques; ne pas mélanger différents types.

Pour obtenir une connexion électrique optimale, il convient que les extrémités dénudées des spécimens soient préparées par compactage, soudage, brasage, sertissage, ou en utilisant une autre méthode appropriée.

7 Essais

7.1 Informations générales sur les essais

7.1.1 Conditions générales pour les essais de qualification de produits

Il convient que tous les essais soient réalisés dans les conditions générales d'essai décrites dans l'IEC 60512-1. Ces conditions impliquent des températures comprises entre 15 °C et 35 °C, une humidité relative comprise entre 25 % et 75 %, et une pression atmosphérique comprise entre 86 kPa et 106 kPa. Il convient que le rapport d'essai inclue également la température et l'humidité relative qui ont été mesurées pendant l'essai.

En cas de désaccord sur les résultats d'essai, l'essai doit être répété dans les conditions atmosphériques normales pour les mesures d'arbitrage, conformément à 4.2 de l'IEC 60068-1:2013.

7.1.2 Préconditionnement

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, les jonctions soudées doivent être prétraitées dans les conditions générales d'essai pendant 24 h, conformément à l'IEC 60512-1.

7.1.3 Rétablissement

Sauf indication contraire dans la spécification particulière, les spécimens doivent être soumis à une période de rétablissement après l'exposition, comprise entre 1 h et 2 h, dans les conditions générales d'essai, avant d'autres essais ou applications.

7.2 Examen optique visuel avec vérifications dimensionnelles

7.2.1 Généralités

Les essais doivent être réalisés conformément à l'essai 1a de l'IEC 60512-1-1 et à l'essai 1b de l'IEC 60512-1-2.

7.2.2 Instruments grossissants (examen optique visuel)

L'examen visuel est une partie importante de l'assurance qualité appliquée aux composants. Le Tableau 3 recommande les grossissements optiques qu'il convient d'utiliser pour choisir l'équipement d'essai approprié pour la tâche. Il convient de prendre en compte les capacités de tous les instruments de mesure qui peuvent être utilisés et de maintenir les instruments grossissants étalonnés et à jour avant de commencer l'examen visuel. Cela peut assurer des résultats exacts et un examen visuel réussi.

Tableau 3 – Suggestions de grossissement pour l'examen visuel

Section de fil mm ²	Grossissement	Grossissement de référence ^a
> 1,5	1,5	1,75x
0,75 ≤ 1,5	1,5x à 3x	4x
0,35 ≤ 0,75	3x à 7,5x	10x
0,08 ≤ 0,35	10x	20x
^a Il convient d'utiliser le grossissement de référence uniquement lorsqu'un défaut est détecté et qu'il ne peut pas être identifié dans son intégralité.		

7.2.3 Examen visuel d'un soudage par ultrasons d'une épissure

Tous les spécimens doivent être soumis à un examen visuel conformément à l'essai 1a de l'IEC 60512-1-1.

Les dimensions doivent être vérifiées conformément à l'essai 1b de l'IEC 60512-1-2.

Des spécimens de type B1, B2 ou C doivent être utilisés.

L'examen visuel comprend la mesure des dimensions spécifiées (voir en 7.2.3) et le calcul du rapport de compactage de la soudure par ultrasons, conformément à 5.7, à la Figure 23 et à la Figure 24, et aux formules (1), (2) et (3).

L'examen visuel de chaque soudage par ultrasons d'épissure (épissure en ligne ou d'extrémité) est effectué conformément aux instructions du Tableau 4 et du Tableau 5.

Tableau 4 – Exemples de soudures conformes pour des épissures d'extrémité et en ligne

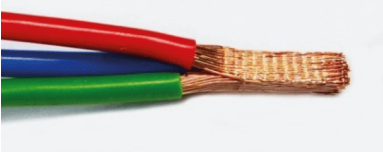
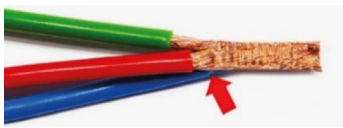
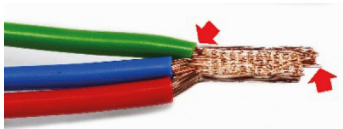
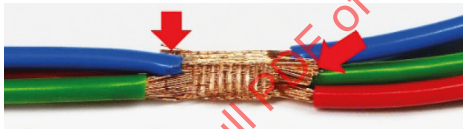
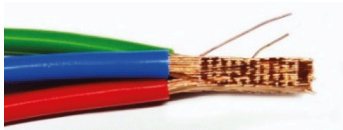
Épissure d'extrémité	Épissure en ligne	Commentaire
 IEC	 IEC	Correct Soudage conforme

Tableau 5 – Représentation des caractéristiques d'erreur pour des épissures d'extrémité et en ligne

N°	Épissure d'extrémité	Épissure en ligne	Commentaire
(a)	 IEC	 IEC	Fil trop à l'extérieur de l'épissure
(b)	 IEC	 IEC	Fil trop à l'intérieur de l'épissure
(c)	 IEC	 IEC	Brins individuels désolidarisés
(d)	 IEC	 IEC	Présence de l'isolant dans la zone de l'épissure soumise à soudage
(e)	 IEC	 IEC	Surcharge de soudage sur l'épissure Déformations ou isolant fondu Les variations de couleur ne constituent pas un critère de qualité

7.2.4 Examen visuel du soudage par ultrasons d'un fil à une sortie

Tous les spécimens doivent être soumis à un examen visuel conformément à l'essai 1a de l'IEC 60512-1-1.

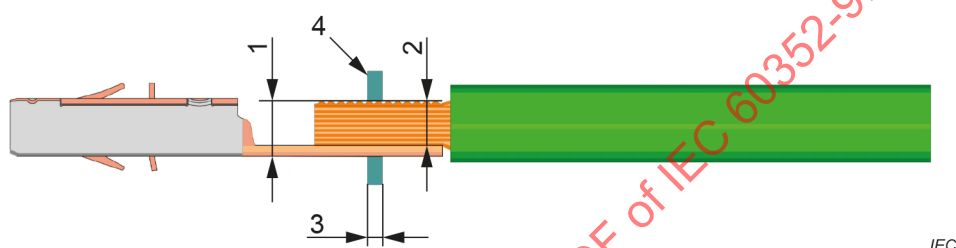
Les dimensions doivent être vérifiées conformément à l'essai 1b de l'IEC 60512-1-2.

Des spécimens de type D doivent être utilisés.

Toutes les exigences doivent être vérifiées conformément aux spécifications du fabricant de sorties.

L'examen visuel comprend la mesure des dimensions spécifiées (voir en 7.2.3) et le calcul du rapport de compactage avec la hauteur (2) représentée à la Figure 32 de la soudure par ultrasons, conformément à 5.7, à la Figure 24 et à la Figure 25, et aux formules (1), (2) et (3).

La hauteur (Figure 32, élément (2)) de la soudure, dans le présent document, désigne uniquement le matériau soudé (c'est-à-dire les brins). De nombreuses spécifications d'applications stipulent la hauteur de soudage (Figure 32, élément (1)), ainsi que l'épaisseur de feuille du contact. La raison en tient à ce qu'il est plus simple de mesurer précisément la hauteur de soudage à l'aide d'un pied à coulisse (Figure 32, élément (4)) ou d'un micromètre extérieur. Afin que ces deux instruments soient à même d'exécuter la tâche attendue, il convient que leurs disques (Figure 32, élément (3)) soient plus grands que la distance entre les crêtes, afin de permettre des mesures exactes. Voir aussi la Figure 33.



Légende

- 1 hauteur, incluant la pastille de soudage
- 2 hauteur de soudage
- 3 largeur de l'outil de mesure
- 4 outil de mesure

Figure 32 – Mesure de la hauteur de soudage par ultrasons



Figure 33 – Mesure de la largeur de soudage par ultrasons (2)

En outre, les exigences et les notes du Tableau 6 et du Tableau 7 doivent être appliquées.

Tableau 6 – Caractéristiques valides d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie

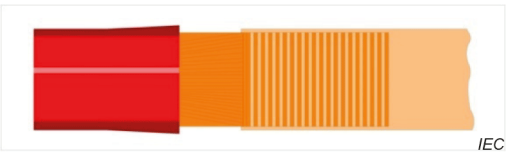
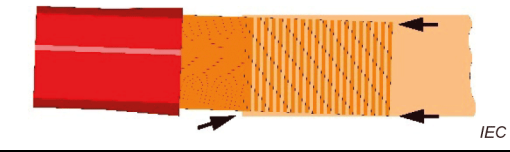
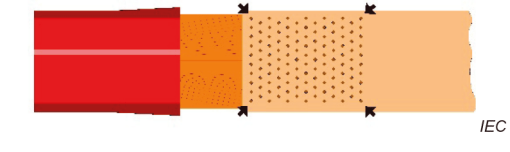
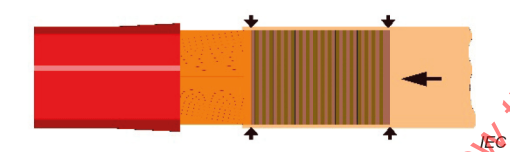
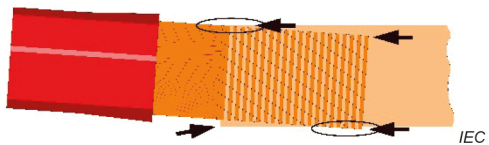
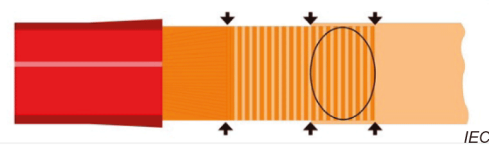
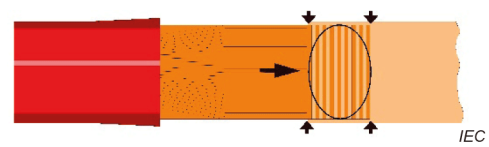
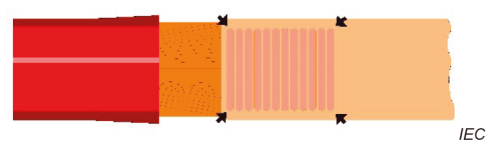
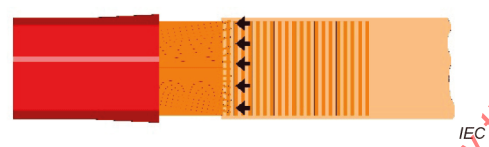
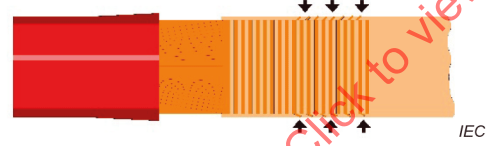
N°	Figure	Note	Commentaire
(a)		Exigences satisfaites selon les dimensions	Correct Soudage conforme
(b)		Décalage: bord complètement visible des deux côtés, respect des dimensions	Soudage conforme
(c)		Position inclinée: bord complètement visible des deux côtés, respect des dimensions	Soudage conforme
(d)		Empreinte de l'enclume visible sur le composant (dans les applications spéciales, lorsque le composant est fixé sur les côtés, il n'y a pas d'empreinte)	Soudage conforme
(e)		Les variations de couleur ne constituent pas un critère de qualité	Soudage conforme

Tableau 7 – Caractéristiques non valides d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie

N°	Figure	Note	Commentaire
(a)		Position en pente: bord uniquement visible d'un côté	Soudage non conforme
(b)		Alignement incorrect de l'outil: la soudure n'est plus complètement appliquée sur la sortie	Soudage non conforme
(c)		Profondeur d'insertion du fil insuffisante	Soudage non conforme
(d)		Usure de l'outil: aucune distinction claire du profil de l'enclume sur le composant	Soudage non conforme
(e)		Plus de 3 % de brins coupés après le procédé de soudage	Soudage non conforme
(f)		Fils trop longs, protubérants, alors qu'ils ne doivent pas dépasser de la zone de soudage	Soudage non conforme
(g)		Les fils protubérants en partie inférieure (base) de la jonction soudée ne sont pas autorisés	Soudage non conforme
(h)		Les fils trop longs qui dépassent ne doivent pas aller au-delà de la zone de soudage	Soudage non conforme

7.3 Essais mécaniques

7.3.1 Essai de courbure d'épissure en ligne

Des spécimens de type B1 ou B2 doivent être utilisés.

Figure 34 donne la représentation schématique de l'essai de courbure, mettant en œuvre un fil (1), le deuxième fil (2), la fixation (3) et le point de manœuvre (4).

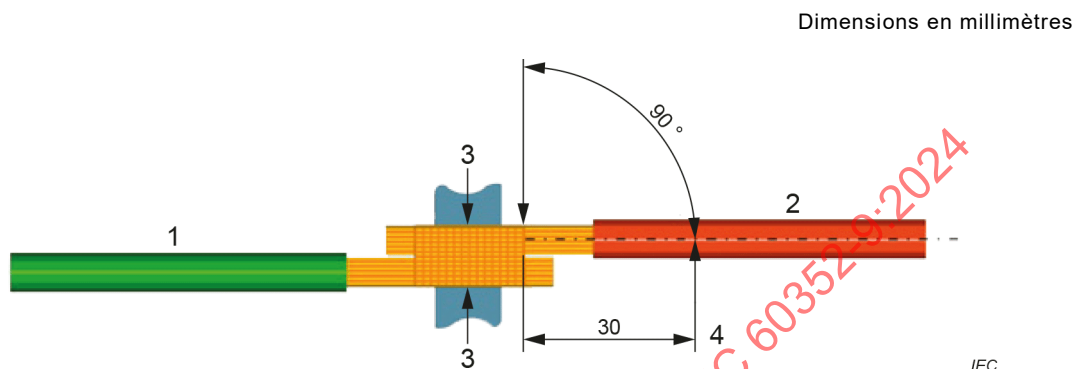


Figure 34 – Représentation schématique du montage d'essai de courbure

L'épissure est dans une position fixe et ne peut pas être déplacée. Son fil supérieur est courbé deux fois selon un angle de 90°, puis est ramené à sa position d'origine, le point de manœuvre étant situé à 30 mm de l'épissure.

Les exigences suivantes doivent être respectées:

- aucun brin ne doit se rompre au niveau de la transition vers la zone de soudage;
- aucun brin ne doit se détacher au niveau de la jonction.

7.3.2 Essai de courbure d'un fil soudé par ultrasons sur une sortie

Des spécimens de type D doivent être utilisés. Il convient que les essais soient réalisés sur des sections allant jusqu'à 35 mm².

Figure 35 représente la configuration schématique de l'essai de courbure, mettant en œuvre la jonction soudée (1), la fixation (2), le fil (3), la sortie (4) et le point de manœuvre (5).

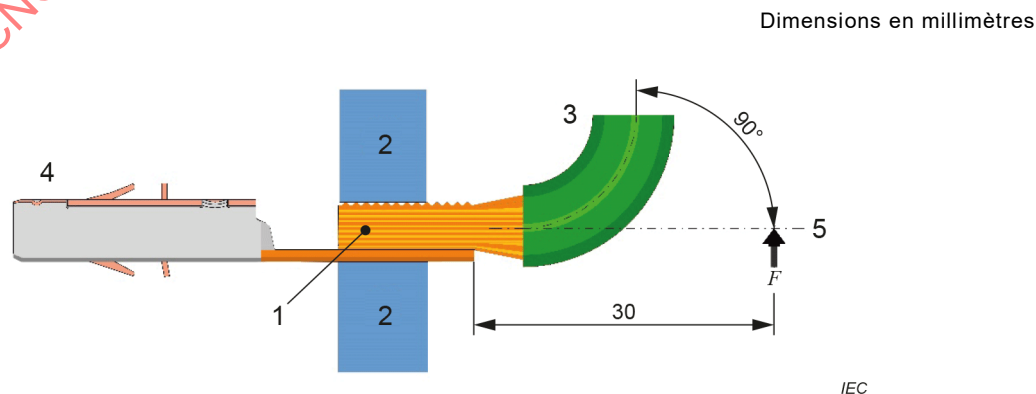


Figure 35 – Représentation schématique du montage d'essai de courbure sur une sortie

La sortie est dans une position fixe et ne peut pas être déplacée. Son fil supérieur est courbé deux fois selon un angle de 90°, puis ramené à sa position d'origine, le point de manœuvre étant situé à 30 mm de la sortie.

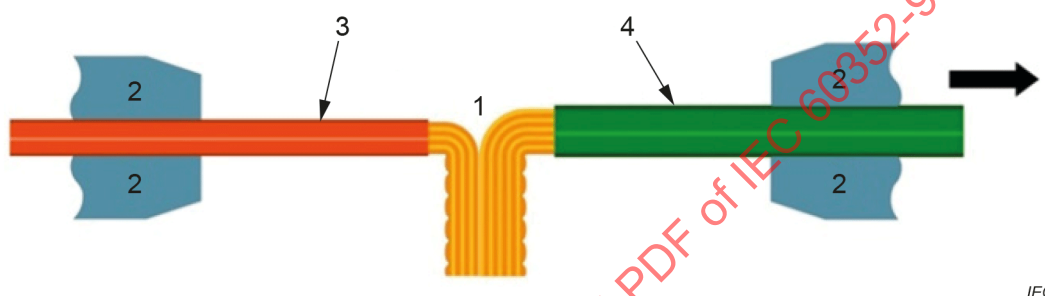
Les exigences suivantes doivent être respectées:

- aucun brin ne doit se rompre au niveau de la transition vers la zone de soudage;
- aucun brin ne doit se détacher au niveau de la jonction soudée.

7.3.3 Essai de pelage de l'épissure

L'essai de pelage doit être réalisé conformément à l'ISO 10447 et conformément au montage représenté à la Figure 36.

Des spécimens de type C doivent être utilisés.



Légende

- 1 épissure
- 2 fixation
- 3 âme de type 1
- 4 âme de type 2

Figure 36 – Montage d'essai pour les essais de pelage

Dans chaque type d'épissure, la plus faible section d'âme doit être vérifiée (voir également le Tableau 4 et le Tableau 5).

Vitesse de traction: 50 ± 5 mm/min.

Choisir les fils au niveau de l'épissure, les brins reposant sur la surface de la jonction côté enclume.

La section de la deuxième âme doit être supérieure à celle de l'âme à soumettre à essai; si nécessaire, plusieurs âmes sont combinées et fixées.

**Tableau 8 – Valeurs de la force de pelage pour les épissures
de fils de cuivre soudées par ultrasons**

Section de fil de cuivre mm ²	Valeur équivalente dans le système AWG	Force de pelage minimale N
0,08	28	4
0,15	26	5
0,35	22	12
0,5	21	15
0,6	20	18
0,75	19	23
1	18	35
1,5	16	45
2	14	58
2,5	13	70
4	12	100
6	10	130
10	8	150
12	7	200
14	6	240
16	5	270
20		330
25	4	410
35	3	570
40	2	650
50	1	800
70	0	1 100
85	2/0	1 300
95	3/0	1 500
110		1 750
120	4/0	1 900
150	250	2 400
160	300	2 500
200	400	3 200

Tableau 9 – Valeurs de la force de pelage pour les épissures de fils d'aluminium soudées par ultrasons

Section de fil d'aluminium mm ²	Valeur équivalente dans le système AWG	Force de pelage minimale N
2,5	13	40
4	12	48
6	10	52
10	8	56
12	7	60
14	6	65
16	5	70
20		77
25	4	90
35	3	100
40	2	116
50	1	135
70	0	175
85	2/0	200
95	3/0	222
110		250
120	4/0	270
150	250	330
160	300	350
200	400	430

Les valeurs manquantes (X) doivent être étudiées conformément aux matériaux et faire l'objet d'un accord entre le client et le fabricant.

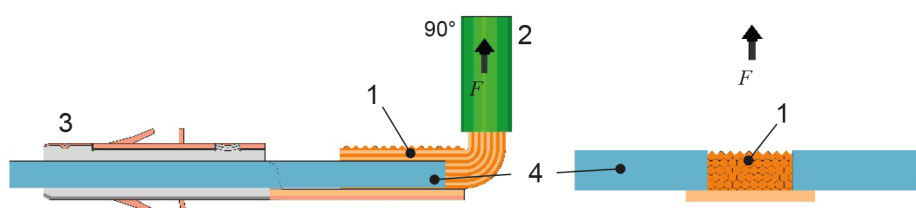
Les valeurs d'essai de pelage pour les sections supérieures aux valeurs données dans le Tableau 8 et le Tableau 9 doivent être déterminées par des essais, car les pelages définis ne peuvent pas toujours être obtenus en raison des valeurs élevées de section. Un déchirement/une rupture brusque peut se produire sans un quelconque pelage visible.

7.3.4 Essais de pelage de la jonction soudée sur une sortie

Réaliser les essais de pelage conformément à l'ISO 10447, en utilisant le montage représenté à la Figure 37.

Des spécimens de type D doivent être utilisés. Les essais doivent être réalisés sur des sections allant jusqu'à 35 mm². Cependant, pour les grandes sections, il n'est pas possible d'assurer la fiabilité des résultats d'un essai de pelage, car il est nécessaire que la jonction soudée soit complètement détruite, plutôt que de subir de petites dégradations.

L'essai doit être réalisé à une vitesse de 50 ± 5 mm/min. Voir le Tableau 10 et le Tableau 11 pour les valeurs de force de pelage à appliquer aux fils de cuivre et aux fils d'aluminium.



IEC

Légende

- 1 jonction soudée par ultrasons
- 2 fil
- 3 sortie
- 4 fixations

Figure 37 – Montage d'essai pour l'essai de pelage mettant en œuvre la fixation (4), les fixations latérales avec pour chacune une saillie de 1,0 mm sur la surface de la sortie, la jonction soudée par ultrasons (1), la sortie (3)

Tableau 10 – Valeurs de la force de pelage pour les fils de cuivre soudés par ultrasons sur des sorties

Section de fil de cuivre mm ²	Valeur équivalente dans le système AWG	Force de pelage minimale N
0,08	28	3
0,22	24	10
0,35	22	11
0,5	21	17
0,6	20	18
0,75	19	24
1	18	34
1,5	16	45
2	14	50
2,5	13	55
4	12	70
6	10	75
10	8	80
12	7	100
14	6	130
16	5	150
20		180
25	4	220
35	3	300

Tableau 11 – Valeurs de la force de pelage pour les fils d'aluminium soudés par ultrasons sur des sorties

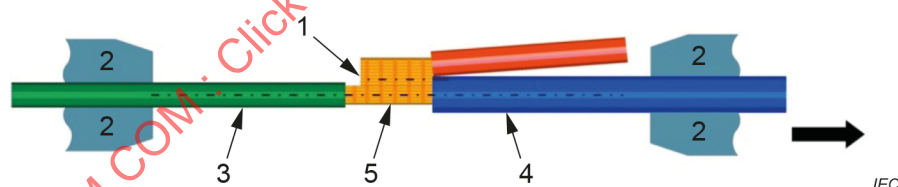
Section de fil d'aluminium mm ²	Valeur équivalente dans le système AWG	Force de pelage minimale N
2,5	13	40
4	12	48
6	10	52
10	8	56
12	7	60
14	6	65
16	5	70
20		77
25	4	87
35	3	100

7.3.5 Essais de force d'arrachement sur les connexions dont l'épissure est soudée par ultrasons

L'essai doit être réalisé conformément à l'essai 16d de l'IEC 60512-16-4, en utilisant le montage représenté à la Figure 38.

Des spécimens de type B1 ou B2 doivent être utilisés pour cet essai.

Il convient d'utiliser l'essai de force d'arrachement pour vérifier la résistance de connexion obtenue d'une "épissure en ligne" soudée par ultrasons.

**Légende**

- 1 épissure
- 2 fixations
- 3 âme de type 1
- 4 âme de type 2
- 5 axe de traction

Figure 38 – Montage d'essai pour l'essai de force d'arrachement

Lors du bridage des fils, s'assurer que les deux fils bridés sont alignés, de sorte qu'aucun moment de courbure n'affecte le résultat de mesure.

De même, il convient que la ligne de symétrie axiale de l'épissure soit parallèle aux fils bridés. Pour un type d'épissure, chaque section d'âme doit être vérifiée.

L'essai doit être réalisé à une vitesse de 50 ± 5 mm/min. Voir le Tableau 12 et le Tableau 13 pour les valeurs de force d'arrachement à appliquer aux fils de cuivre et aux fils d'aluminium.

**Tableau 12 – Valeurs de la force d'arrachement pour les épissures
de fils de cuivre soudées par ultrasons**

Section de fil de cuivre mm ²	Valeur équivalente dans le système AWG	Force d'arrachement minimale N
0,08	28	15
0,35	22	60
0,5	21	80
0,6	20	100
0,75	19	120
1	18	160
1,5	16	225
2	14	250
2,5	13	275
4	12	375
6	10	435
8	9	500
10	8	800
12	7	1 000
14	6	1 025
16	5	1 050
18		1 100
20	4	1 200
25	3	1 350
35	2	1 700
40	1	1 850
50	0	2 200
70	0	3 250
85	2/0	3 400
95	3/0	4 400
110		5 000
120	4/0	5 500
150	250	6 800
160	300	7 200
200	400	9 000

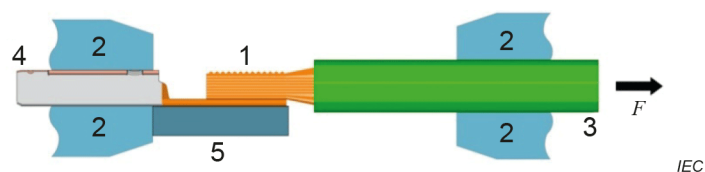
Tableau 13 – Valeurs de la force d'arrachement pour les épissures de fils d'aluminium soudées par ultrasons

Section de fil d'aluminium mm ²	Valeur équivalente dans le système AWG	Force d'arrachement minimale N
2,5	13	200
4	12	260
6	10	300
8	9	350
10	8	400
12	7	450
14	6	500
16	5	550
18		600
20	4	667
25	3	833
35	2	1 155
40	1	1 330
50	0	1 650
70	0	2 200
85	2/0	2 700
95	3/0	3 000
110		3 400
120	4/0	3 700
150	250	4 600
160	300	5 000
200	400	6 000

7.3.6 Essais de force d'arrachement sur les connexions d'un fil à une sortie soudées par ultrasons

L'essai doit être réalisé conformément à l'essai 16d de l'IEC 60512-16-4, en utilisant le montage représenté à la Figure 39. Pour cet essai, des spécimens de type D doivent être utilisés.

L'essai doit être réalisé à une vitesse de 50 ± 5 mm/min. Voir le Tableau 14 et le Tableau 16 pour les valeurs de force d'arrachement à appliquer aux fils de cuivre et aux fils d'aluminium. Le Tableau 15 et le Tableau 17 présentent les valeurs de largeur de jonction et la section correspondante des fils de cuivre et des fils d'aluminium.



Légende

- 1 jonction soudée
- 2 fixations
- 3 sortie
- 4 sortie
- 5 support de sortie

Figure 39 – Montage d'essai pour l'essai de force d'arrachement sur les soudures avec des âmes électriques au niveau de la sortie

Tableau 14 – Valeurs de la force d'arrachement pour les fils de cuivre soudés par ultrasons sur des sorties

Section de fil de cuivre mm ²	Valeur équivalente dans le système AWG	Force d'arrachement minimale N
0,08	28	15
0,35	22	60
0,5	21	85
0,6	20	102
0,75	19	128
1	18	170
1,5	16	225
2	14	250
2,5	13	275
4	12	375
6	10	480
8	9	640
10	8	800
12	7	1 000
14	6	1 025
16	5	1 050
18		1 100
20	4	1 200
25	3	1 350
35	2	1 700
40	1	1 850
50	0	2 200
70	2/0	3 080
85	3/0	3 740
95		4 180
110	4/0	4 500
120	250	4 800
150	300	6 200
160	400	6 600

Tableau 15 – Rapport entre la largeur de jonction et la section d'âme des fils de cuivre (valeurs recommandées)

Section de fil de cuivre mm ²	Valeur équivalente dans le système AWG	Largeur de jonction minimale mm
8	9	4
10	8	4
12	7	7
14	6	7
16	5	8
18		8
20	4	9
25	3	9
35	2	11
40	1	13
50	0	15
70	2/0	17
85	3/0	17
95		17
110	4/0	18
120	250	19

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60352-9:2024

Tableau 16 – Valeurs de la force d'arrachement pour les fils d'aluminium soudés par ultrasons sur des sorties

Section de fil d'aluminium mm ²	Valeur équivalente dans le système AWG	Force d'arrachement minimale N
2,5	13	200
4	12	260
6	10	300
8	9	350
10	8	400
12	7	450
14	6	500
16	5	550
18		600
20	4	667
25	3	833
35	2	1 167
40	1	1 333
50	0	1 650
70	2/0	1 880
85	3/0	2 000
95		2 050
110	4/0	2 150
120	250	2 600
150	300	3 200
160	400	3 500

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60352-9:2024

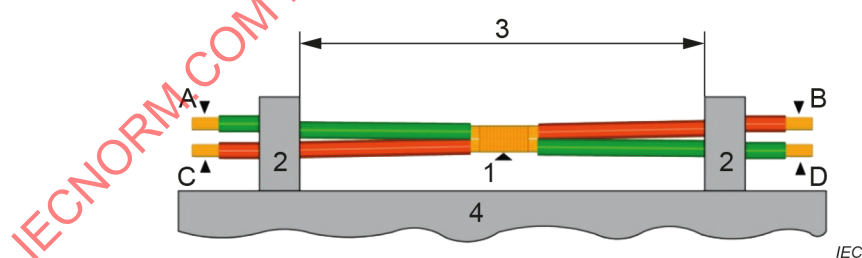
Tableau 17 – Rapport entre la largeur de jonction et la section d'âme des fils d'aluminium (valeurs recommandées)

Section de fil de cuivre mm ²	Valeur équivalente dans le système AWG	Largeur de jonction minimale mm
8	9	2
10	8	3
12	7	3
14	6	3
16	5	4
18		5
20	4	7
25	3	7
35	2	7
40	1	10
50	0	12
70	2/0	17
85	3/0	20
95		21
110	4/0	25

7.3.7 Essai de vibration des connexions d'épissure soudées par ultrasons

Cet essai doit être réalisé conformément à l'essai 6d de l'IEC 60512-6-4 et à l'essai Fc de l'IEC 60068-2-6, en utilisant le montage représenté à la Figure 40 et les conditions d'essai du Tableau 18.

Des spécimens de type B1 ou B2 doivent être utilisés.



Légende

- 1 épissure
- 2 fixations
- 3 écartement de 200 mm entre les fixations
- 4 table de vibrations

Figure 40 – Montage d'essai pour l'essai de vibrations de l'épissure

L'essai de perturbation de contact doit être réalisé pendant l'essai de vibrations, conformément à l'essai 2e de l'IEC 60512-2-5. Sauf indication contraire dans la spécification particulière du produit, la durée maximale de l'interruption de contact est de 1 µs. La durée de l'essai de vibrations est de 2 h, 4 h ou 8 h. La durée est déterminée selon le type.