

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE



**Dimensions, marking and testing of carbon brushes and dimensions of brush-holders for electrical machinery**

**Dimensions, marquages et essais des balais et dimensions des porte-balais pour machines électriques**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60136:2024



## 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](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://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](http://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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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](http://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](http://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](mailto:sales@iec.ch).

#### IEC Products & Services Portal - [products.iec.ch](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](mailto:sales@iec.ch).

#### IEC Products & Services Portal - [products.iec.ch](http://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](http://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



**Dimensions, marking and testing of carbon brushes and dimensions of brush-holders for electrical machinery**

**Dimensions, marquages et essais des balais et dimensions des porte-balais pour machines électriques**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

ICS 29.160.10

ISBN 978-2-8322-8835-1

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

## CONTENTS

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                          | 7  |
| 1 Scope.....                                                           | 10 |
| 2 Normative references .....                                           | 10 |
| 3 Terms, definitions and symbols.....                                  | 11 |
| 3.1 Terms and definitions.....                                         | 11 |
| 3.2 Symbols.....                                                       | 19 |
| 4 Units and marking.....                                               | 21 |
| 4.1 Units.....                                                         | 21 |
| 4.2 Marking.....                                                       | 21 |
| 4.2.1 Units.....                                                       | 21 |
| 4.2.2 Additional marks on the brush.....                               | 21 |
| 4.2.3 Additional marks for brush-holders .....                         | 22 |
| 5 Principal dimensions and tolerances of brushes.....                  | 22 |
| 5.1 Sequence .....                                                     | 22 |
| 5.2 Standard dimensions .....                                          | 24 |
| 5.3 Tolerances on principal dimensions .....                           | 24 |
| 5.3.1 General tolerances .....                                         | 24 |
| 5.3.2 Split brushes .....                                              | 25 |
| 5.3.3 Metal-graphite brushes .....                                     | 26 |
| 5.4 Recommended combinations of principal dimensions.....              | 26 |
| 5.4.1 Combination for $t$ and $a$ .....                                | 26 |
| 5.4.2 Square brush.....                                                | 29 |
| 6 Complementary dimensions of brushes.....                             | 30 |
| 6.1 Chamfers .....                                                     | 30 |
| 6.1.1 Angle.....                                                       | 30 |
| 6.1.2 Dimension .....                                                  | 30 |
| 6.1.3 Non-reversing chamfer .....                                      | 31 |
| 6.2 Angles for contact and top bevels .....                            | 32 |
| 6.2.1 Angles for contact bevel .....                                   | 32 |
| 6.2.2 Angles for top bevel.....                                        | 33 |
| 6.2.3 Combination of angles .....                                      | 34 |
| 6.3 Pressure area .....                                                | 34 |
| 6.4 Depth of insertion $q_i$ of the flexible (shunt) in the brush..... | 35 |
| 6.5 Residual material width adjacent to the flexible.....              | 36 |
| 6.6 Safe length of a worn brush $r_m$ .....                            | 37 |
| 7 Terminations of brushes: flexibles and terminals.....                | 38 |
| 7.1 Flexibles .....                                                    | 38 |
| 7.1.1 General .....                                                    | 38 |
| 7.1.2 Nominal area and maximum diameter of flexibles .....             | 39 |
| 7.1.3 Length of flexible .....                                         | 40 |
| 7.1.4 Flexible protection .....                                        | 40 |
| 7.2 Terminals.....                                                     | 40 |
| 7.2.1 General .....                                                    | 40 |
| 7.2.2 Axial spade terminals .....                                      | 41 |
| 7.2.3 Flag terminals.....                                              | 42 |
| 7.2.4 Double shoe terminals .....                                      | 43 |

|                       |                                                                                 |    |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.2.5                 | Tubular terminals.....                                                          | 44 |
| 7.2.6                 | Soldered terminals.....                                                         | 45 |
| 7.2.7                 | Current capacity of terminals .....                                             | 46 |
| 8                     | Test procedures for determining physical properties of brushes.....             | 47 |
| 8.1                   | General.....                                                                    | 47 |
| 8.2                   | Measurement of electrical resistance of brush/flexible connection.....          | 47 |
| 8.2.1                 | General .....                                                                   | 47 |
| 8.2.2                 | Test equipment.....                                                             | 48 |
| 8.2.3                 | Test procedure .....                                                            | 50 |
| 8.2.4                 | Test procedure for method b) (mathematical).....                                | 55 |
| 8.2.5                 | Calculation and report .....                                                    | 56 |
| 8.3                   | Measurement of the pull strength of tamped or moulded connections.....          | 56 |
| 8.3.1                 | General .....                                                                   | 56 |
| 8.3.2                 | Principle .....                                                                 | 56 |
| 8.3.3                 | Test equipment.....                                                             | 56 |
| 8.3.4                 | Test procedure .....                                                            | 59 |
| 8.3.5                 | Calculation and report .....                                                    | 59 |
| 9                     | Brush-holder dimensions and configuration .....                                 | 59 |
| 9.1                   | General.....                                                                    | 59 |
| 9.2                   | Dimensions of the inside of the brush-box.....                                  | 59 |
| 9.2.1                 | Main dimensions.....                                                            | 59 |
| 9.2.2                 | Tolerances and clearances on brush-box $t$ and $a$ .....                        | 59 |
| 9.2.3                 | Dimensions and tolerances on brush-box chamfer .....                            | 60 |
| 9.3                   | Check of brush-box dimensions .....                                             | 61 |
| 9.3.1                 | General .....                                                                   | 61 |
| 9.3.2                 | Gauging of dimensions $t$ and $a$ .....                                         | 61 |
| 9.3.3                 | Gauging of chamfers.....                                                        | 61 |
| 9.4                   | Serrations on fixing face of the brush-holder .....                             | 61 |
| 9.4.1                 | General .....                                                                   | 61 |
| 9.4.2                 | Profile and dimensions of serrations .....                                      | 61 |
| 9.4.3                 | Location of serrations .....                                                    | 62 |
| 9.5                   | Brush-holder mounting position.....                                             | 62 |
| Annex A (normative)   | Equivalent dimensions in inches.....                                            | 63 |
| Annex B (normative)   | Values of the principal dimensions of metal-graphite brushes.....               | 66 |
| Annex C (informative) | Considerations relative to brush stability .....                                | 67 |
| C.1                   | General.....                                                                    | 67 |
| C.2                   | Radial brush without top bevel angle operating in bidirectional rotation .....  | 68 |
| C.3                   | Radial brush with top bevel angle operating in the forward direction .....      | 70 |
| C.4                   | Radial brush with top bevel angle operating in the reverse direction .....      | 71 |
| C.5                   | Trailing type brushes .....                                                     | 72 |
| C.6                   | Reaction type brush with top bevel angle .....                                  | 74 |
| Annex D (informative) | Flexibles configuration .....                                                   | 77 |
| Annex E (informative) | Flexible location .....                                                         | 78 |
| Annex F (informative) | Recommended values of thickness for spade, flag and double shoe terminals ..... | 79 |
| Annex G (informative) | Technical questionnaire for the definition of a carbon brush .....              | 80 |
| Bibliography          | .....                                                                           | 82 |

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 – Examples of brush components.....                                                             | 11 |
| Figure 2 – Chamfer height .....                                                                          | 12 |
| Figure 3 – Contact bevel angle $\alpha$ .....                                                            | 12 |
| Figure 4 – Top bevel angle $\beta$ .....                                                                 | 13 |
| Figure 5 – Pressure area width for commutator and for slip-ring .....                                    | 13 |
| Figure 6 – Depth of insertion.....                                                                       | 14 |
| Figure 7 – Residual material width .....                                                                 | 14 |
| Figure 8 – Safe length of a worn brush .....                                                             | 15 |
| Figure 9 – Flexible dimensions $l_S$ and $d_S$ for different examples of brushes .....                   | 16 |
| Figure 10 – Definition of distance $d_P$ for different types of brush connection .....                   | 17 |
| Figure 11 – Brush-holder box chamfer height.....                                                         | 18 |
| Figure 12 – Definition of serration location distance .....                                              | 19 |
| Figure 13 – Safe remaining length mark for different brush designs .....                                 | 22 |
| Figure 14 – Main dimensions for a wedge-edge brush.....                                                  | 23 |
| Figure 15 – Preferred orientation for anisotropic grades depending on the application .....              | 30 |
| Figure 16 – Angle of chamfers .....                                                                      | 30 |
| Figure 17 – Split brush.....                                                                             | 31 |
| Figure 18 – Non-reversing chamfer height .....                                                           | 31 |
| Figure 19 – Sharp edge when a contact bevel angle $\alpha$ is applied .....                              | 33 |
| Figure 20 – Flat surface of edge when a top bevel angle $\beta$ is applied.....                          | 33 |
| Figure 21 – Flexible configuration illustration.....                                                     | 38 |
| Figure 22 – Definition of shape and dimensions of axial spades terminals .....                           | 41 |
| Figure 23 – Definition of shape and dimensions of flag terminals .....                                   | 42 |
| Figure 24 – Definition of shape and dimensions of double shoe terminals .....                            | 43 |
| Figure 25 – Definition of shape and dimensions of tubular terminals .....                                | 44 |
| Figure 26 – Definition of shape (example) and dimensions of formed spade terminal .....                  | 45 |
| Figure 27 – Definition of shape (examples) and dimensions of two types of pin terminals.....             | 46 |
| Figure 28 – Examples of testing device for the measurement of the connection electrical resistance ..... | 48 |
| Figure 29 – Example of contact probe for flexible.....                                                   | 49 |
| Figure 30 – Example of contact probe for brush .....                                                     | 49 |
| Figure 31 – Measurement of connection resistance for a moulded or tamped connection .....                | 51 |
| Figure 32 – Measurement of connection resistance for a riveted connection .....                          | 52 |
| Figure 33 – Alternative method for the measurement of connection resistance in case of 2 rivets.....     | 53 |
| Figure 34 – Connection with a metal top soldered or riveted to the block .....                           | 54 |
| Figure 35 – Iterated determination of location P of Probe 2.....                                         | 55 |
| Figure 36 – Test equipment for the measurement of the pull out force .....                               | 57 |
| Figure 37 – Example of support device for brushes with inclined connection hole .....                    | 58 |
| Figure 38 – Profile of serrations – cross-sectional view.....                                            | 62 |
| Figure C.1 – Illustration of rotational moments for a radial brush.....                                  | 69 |

|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure C.2 – Illustration of forces applied on a radial brush with top bevel angle operating in the forward rotation .....      | 70 |
| Figure C.3 – Illustration of forces applied on a radial brush with top bevel angle operating in the reverse direction .....     | 72 |
| Figure C.4 – Illustration of forces applied on a trailing brush with a top bevel angle operating in the forward direction ..... | 73 |
| Figure C.5 – Illustration of forces applied on a reaction brush .....                                                           | 75 |
| Figure E.1 – Flexible location .....                                                                                            | 78 |
| Figure G.1 – Main dimensions .....                                                                                              | 80 |
| Figure G.2 – Brush operation .....                                                                                              | 81 |
| Table 1 – Symbols for each unit system .....                                                                                    | 21 |
| Table 2 – Standard dimensions of brush block .....                                                                              | 24 |
| Table 3 – Tolerances on $t$ , $a$ and $r$ .....                                                                                 | 25 |
| Table 4 – Recommended combination of $t$ , $a$ and $r$ .....                                                                    | 27 |
| Table 5 – Dimension of chamfer height $c$ .....                                                                                 | 31 |
| Table 6 – Recommended values of non-reversing chamfer height .....                                                              | 32 |
| Table 7 – Preferred values for contact bevel angle $\alpha$ and top bevel angle $\beta$ .....                                   | 33 |
| Table 8 – Typical combination values for contact bevel angle $\alpha$ and top bevel angle $\beta$ .....                         | 34 |
| Table 9 – Recommended minimum values of pressure area width $w_p$ .....                                                         | 35 |
| Table 10 – Maximum values of depth of insertion $q_i$ .....                                                                     | 35 |
| Table 11 – Example of maximum values of $q_i$ for an EG grade .....                                                             | 36 |
| Table 12 – Minimum width of residual material .....                                                                             | 37 |
| Table 13 – Recommended nominal area for flexibles and their corresponding maximum diameter .....                                | 39 |
| Table 14 – Standard lengths of flexibles $l_S$ and tolerances .....                                                             | 40 |
| Table 15 – Standard values of spades terminals dimensions .....                                                                 | 42 |
| Table 16 – Standard values of flag terminals dimensions .....                                                                   | 43 |
| Table 17 – Standard values of double shoe terminals dimensions .....                                                            | 44 |
| Table 18 – Standard values of tubular terminals dimensions .....                                                                | 45 |
| Table 19 – Standard values of formed spade terminals dimensions and tolerances .....                                            | 46 |
| Table 20 – Minimum values of current capacity for terminals .....                                                               | 47 |
| Table 21 – Tolerances on brush box dimensions and clearances .....                                                              | 60 |
| Table 22 – Maximum value of the brush-box chamfer height $c_H$ .....                                                            | 60 |
| Table A.1 – Standard dimensions and tolerances on brush dimensions $t \times a \times r$ in inch system .....                   | 63 |
| Table A.2 – Nominal and maximum dimensions of chamfer height $c$ to be used in inch system .....                                | 64 |
| Table A.3 – Recommended minimum value of $w_p$ to be used in inch system .....                                                  | 64 |
| Table A.4 – Maximum values of depth of insertion $q_i$ .....                                                                    | 64 |
| Table A.5 – Recommended nominal area for flexibles (shunts) and their corresponding maximum diameter .....                      | 65 |
| Table A.6 – Standard lengths of flexibles $l_S$ and tolerances .....                                                            | 65 |
| Table B.1 – $t \times a \times r$ tolerances and clearance for metal graphite grades .....                                      | 66 |

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Table C.1 – Overview of the different mechanical configurations (bevel angles) in operation .....                 | 67 |
| Table D.1 – Configuration of flexibles .....                                                                      | 77 |
| Table F.1 – Recommended thickness for spade, flag and double shoe terminals corresponding to screws diameter..... | 79 |
| Table G.1 – Elements to be included in a form .....                                                               | 80 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60136:2024

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**DIMENSIONS, MARKING AND TESTING OF CARBON BRUSHES AND  
DIMENSIONS OF BRUSH-HOLDERS FOR ELECTRICAL MACHINERY**

## FOREWORD

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

IEC 60136 has been prepared by IEC technical committee TC 2: Rotating machinery. It is an International Standard.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 1986 and Amendment 1:1995. This edition constitutes a technical revision.

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

Title: modified.

| Clause or subclause | Previous clause    | Change                                                                                                |
|---------------------|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                   | I-1                | Clarification and extension of the scope.                                                             |
| 2                   | None               | New clause introduced.                                                                                |
| 3                   | None               | New clause introduced.                                                                                |
| 4                   | I-4 and II-7.5     | Addition of units and extension of marking.                                                           |
| 5.1                 | I-2                | Addition of cylindrical and wedge-shape brushes.                                                      |
| 5.2                 | I-3                | Distinction of dimensions between $t$ , $a$ and $r$ .                                                 |
| 6.1                 | II-7.1             | Revision of the chamfer dimension table and addition of non-reversing chamfer.                        |
| 6.2                 | II-7.2             | Revision of angles dimensions and addition of typical combination of angles.                          |
| 6.4                 | II-7.4             | Clarification of the definition of the depth of insertion and modification of maximum values.         |
| 6.5                 | None               | New subclause introducing the concept of residual material width.                                     |
| 7.1.2               | II-8.7             | Change of definition of flexibles area and diameter.                                                  |
| 7.1.4               | None               | Addition of flexible protection.                                                                      |
| 7.2                 | II-8.1 to II-8.5   | Clarification. Addition of other types of terminals.                                                  |
| 8                   | Annex C            | Clarification of the method of measurement of electrical resistance and addition of graphical method. |
| 9.2 and 9.3         | Clause A.3         | Brush-holder: Separation of Dimensions and Control of brush box in two different subclauses.          |
| Annex A             | None               | Compilation of tables with inches dimensions from the previous edition.                               |
| Annex B             | None               | Addition of recommended dimensions for metal-graphite grades.                                         |
| Annex C             | None               | Explanation of stability of brushes (linked to 6.2).                                                  |
| Annex D             | II-8.7             | Addition of examples of configuration of flexibles.                                                   |
| Annex E             | None               | Addition of recommended standardization of flexibles' location                                        |
| Annex F             | Annex D and II-8.8 | Link between the thickness of terminals and the screw diameter.                                       |
| Annex G             | Annex B            | Simplification of the questionnaire, to include only elements defined in this document.               |

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

|             |                  |
|-------------|------------------|
| Draft       | Report on voting |
| 2/2180/FDIS | 2/2189/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](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). The main document types developed by IEC are described in greater detail at [www.iec.ch/publications](http://www.iec.ch/publications).

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](http://webstore.iec.ch) in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

**IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this 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 60136:2024

# **DIMENSIONS, MARKING AND TESTING OF CARBON BRUSHES AND DIMENSIONS OF BRUSH-HOLDERS FOR ELECTRICAL MACHINERY**

## **1 Scope**

This document applies primarily to brushes and brush-holders for cylindrical commutators and slip rings for electrical rotating machines. Some clauses of this document may cover other configurations, such as flat commutators or plain disks.

It defines the dimensions of brushes and their components, together with their tolerances:

- dimensions of brush block ( $t$ ,  $a$ ,  $r$ ),
- angles  $\alpha$  and  $\beta$ ,
- chamfer,
- flexibles (shunts),
- standard terminals.

It also covers the conventional designation of principal dimensions, the marking of brushes and the testing methods for the qualification of brushes after their manufacturing (except the brush grade material, covered by IEC 60413).

And finally, it specifies dimensions of the brush-holders that are linked to brushes.

## **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 60276:2018, *Carbon brushes, brush holders, commutators and slip-rings – Definitions and nomenclature*

IEC 60560, *Definitions and terminology of brush-holders for electrical machines*

ISO 129-1, *Technical product documentation (TPD) – Presentation of dimensions and tolerances – Part 1: General principles*

ISO 197-1:1983, *Copper and copper alloys – Terms and definitions – Part 1: Materials*

ISO 286-2:2010, *Geometrical product specifications (GPS) – ISO code system for tolerances on linear sizes – Part 2: Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts*

### 3 Terms, definitions and symbols

#### 3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60276:2018 and IEC 60560, and the following apply.

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

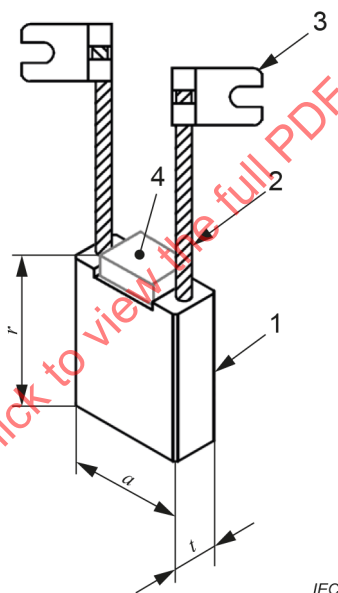
- IEC Electropedia: available at <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <https://www.iso.org/obp>

##### 3.1.1

##### component

<of the brush> element assembled onto the brush block and having a specific feature

Note 1 to entry: Figure 1 shows an example of a carbon brush designed for a DC machine, comprising the following components: two flexibles, two terminals and one top plate.



##### Key

- 1 block
- 2 flexible
- 3 terminal
- 4 top plate
- $t$  tangential dimension of the brush
- $a$  axial dimension of the brush
- $r$  radial dimension of the brush

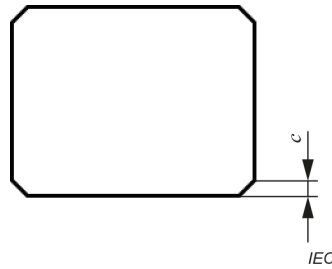
**Figure 1 – Examples of brush components**

##### 3.1.2

##### chamfer height

$c$

smaller side of the isosceles rectangle triangle formed by the chamfer, as illustrated by Figure 2



**Figure 2 – Chamfer height**

Note 1 to entry:  $c$  is expressed in millimetres (mm).

Note 2 to entry: In USA,  $c$  is also named depth of chamfer.

Note 3 to entry: The source of Figure 2 is IEC 60276:2018, item 147.

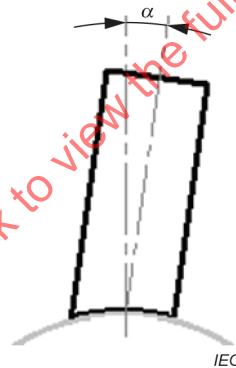
### 3.1.3

#### **contact bevel angle**

bottom bevel angle

$\alpha$

angle between the centre line of the brush and the radial axis of the commutator or slip-ring, as shown in Figure 3



**Figure 3 – Contact bevel angle  $\alpha$**

Note 1 to entry:  $\alpha$  is expressed in degrees (°).

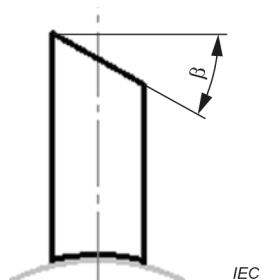
[SOURCE: IEC 60276:2018, item 106]

### 3.1.4

#### **top bevel angle**

$\beta$

angle between the centre line and the top surface of the carbon brush, as shown in Figure 4



**Figure 4 – Top bevel angle  $\beta$**

Note 1 to entry:  $\beta$  is expressed in degrees ( $^{\circ}$ ).

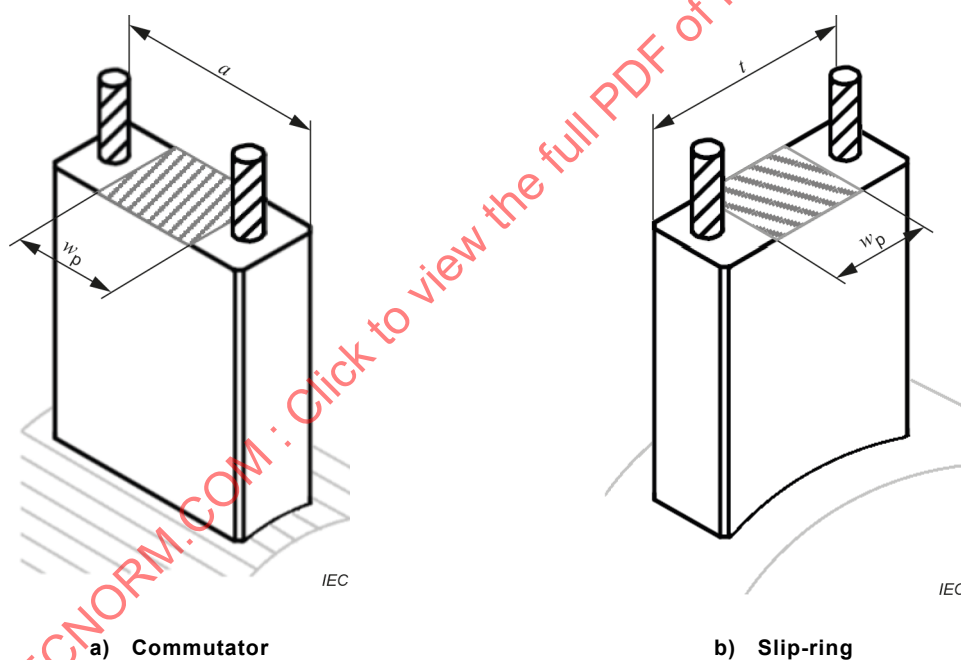
Note 2 to entry: The source of Figure 4 is IEC 60276:2018, item 110.

### 3.1.5

#### pressure area width

$w_p$

width of the area on the top of the brush where the pressure system applies, as shown in Figure 5



**Figure 5 – Pressure area width for commutator and for slip-ring**

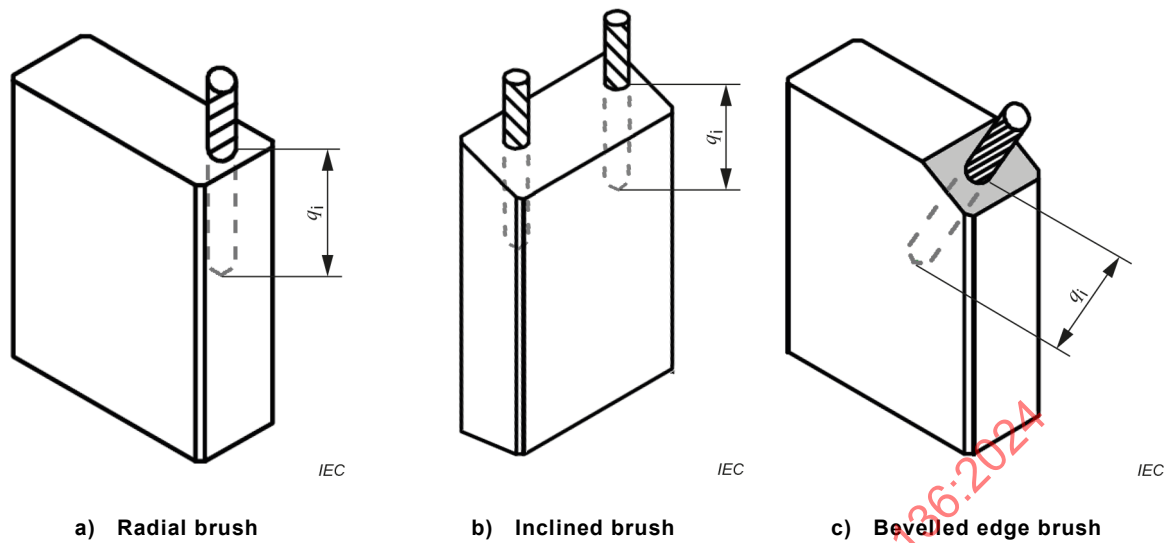
Note 1 to entry:  $w_p$  is expressed in millimetres (mm).

### 3.1.6

#### depth of insertion

$q_i$

distance between the extremity of flexible inside the brush and its insertion location onto the top of the brush, along the flexible direction axis, as illustrated by Figure 6



**Figure 6 – Depth of insertion**

Note 1 to entry:  $q_i$  is expressed in millimetres (mm).

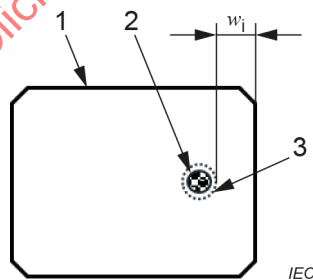
### 3.1.7

#### residual material width

$w_i$

width of the residual material adjacent to the flexible (see Figure 7), defined by the distance between:

- the closest side of the brush block, and
- the periphery of the hole drilled for the insertion of the flexible



#### Key

- 1 brush
- 2 flexible
- 3 hole (for the flexible insertion)

**Figure 7 – Residual material width**

Note 1 to entry:  $w_i$  is expressed in millimetres (mm).

### 3.1.8

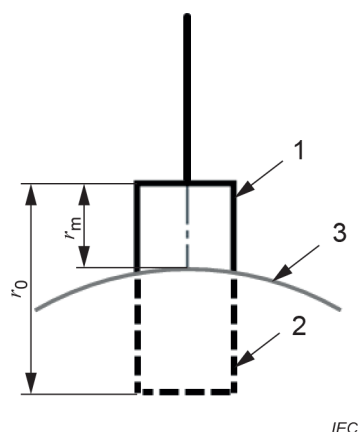
#### safe length of a worn brush

$r_m$

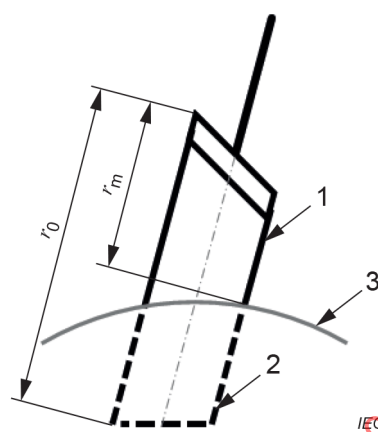
distance between two planes perpendicular to the centre line, passing over the extremities of:

- the contact surface at its minimum safe wear limit, and
- the elements of brush or parts of elements, which take part in the pressure application

Note 1 to entry: Figure 8 illustrates the definition of  $r_m$  for two examples.



a) Radial brush ( $\alpha = 0$  /  $\beta = 0$ )



b) Inclined brush with a bevelled top and a top plate ( $\alpha \neq 0$  /  $\beta \neq 0$ )

#### Key

1 worn brush

2 initial brush

3 rotating surface

$r_0$  initial radial dimension

$r_m$  safe length of the worn brush

NOTE Dash lines represent the worn part of the brush.

**Figure 8 – Safe length of a worn brush**

Note 2 to entry:  $r_m$  is expressed in millimetres (mm).

#### 3.1.9 length of flexible

$l_s$

distance of the flexible between the brush-flexible connection (onto the brush top) and the screw connection axis of the terminal, as illustrated by Figure 9

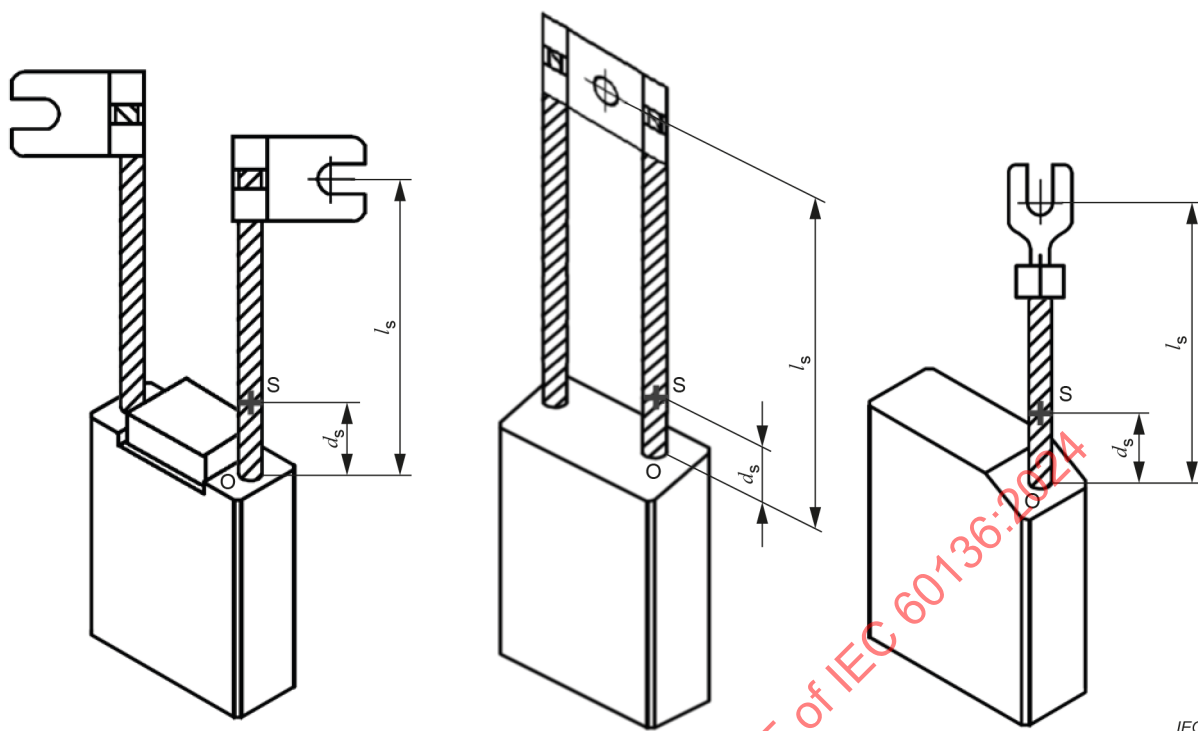
Note 1 to entry:  $l_s$  is expressed in millimetres (mm).

Note 2 to entry: When there is no terminal, the screw connection axis in the definition above is naturally replaced by the free extremity of the flexible.

#### 3.1.10 distance for the application of the flexible probe

$d_s$

distance, along the flexible direction axis, from a location S onto the flexible to the brush-flexible connection (location O), as shown in Figure 9



**Key**

O brush-flexible connection location on the top of the brush

S location onto the flexible

$d_s$  distance for the application of the flexible probe

$l_s$  length of the flexible

**Figure 9 – Flexible dimensions  $l_s$  and  $d_s$  for different examples of brushes**

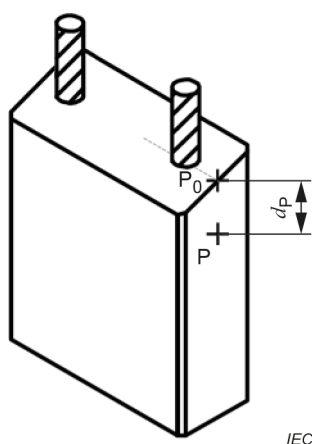
Note 1 to entry:  $d_s$  is expressed in millimetres (mm).

**3.1.11**

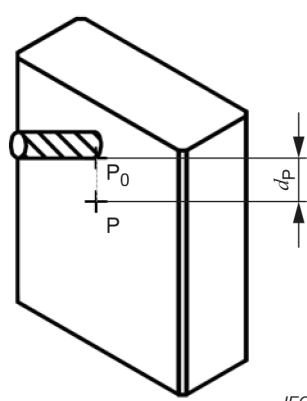
**distance for application of the block probe**

$d_p$

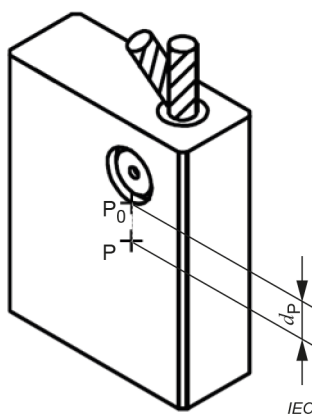
distance from a point P of a side of the block to a point  $P_0$  of the same side, which is the closest to the outside of the connection mean, as shown in Figure 10



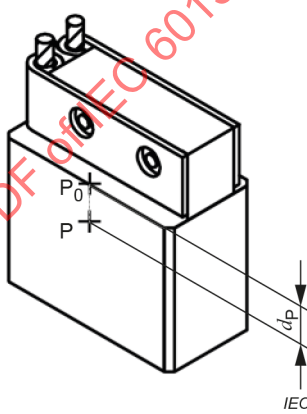
a) Tamped or moulded connection – on the brush top



b) Tamped or moulded connection – lateral



c) Riveted connection



d) Connection by a riveted or soldered metal plate

#### Key

P location onto the side of the brush block

$P_0$  location onto the same side of the brush block as P and closed to the brush-flexible connection

$d_P$  distance for the application of the brush block probe

**Figure 10 – Definition of distance  $d_P$  for different types of brush connection**

Note 1 to entry: For any type of brush, the axis passing through both points P and  $P_0$  is parallel to its centre line. The side of the block is chosen so that the distance from the axis (P; $P_0$ ) and the centre line is minimum.

Note 2 to entry:  $d_P$  is expressed in millimetres (mm).

#### 3.1.12

##### electrical resistance of the brush-flexible connection

$R_f$

electrical resistance measured between a point S onto the flexible (see Figure 9) and a point P onto the brush body (see Figure 10)

Note 1 to entry:  $R_f$  is expressed in milliohms (mΩ).

### 3.1.13

#### pull-out force of the brush-flexible connection

$F_f$

force required to pull out the flexible from the brush in the direction of the flexible axis

Note 1 to entry:  $F_f$  is expressed in newtons (N).

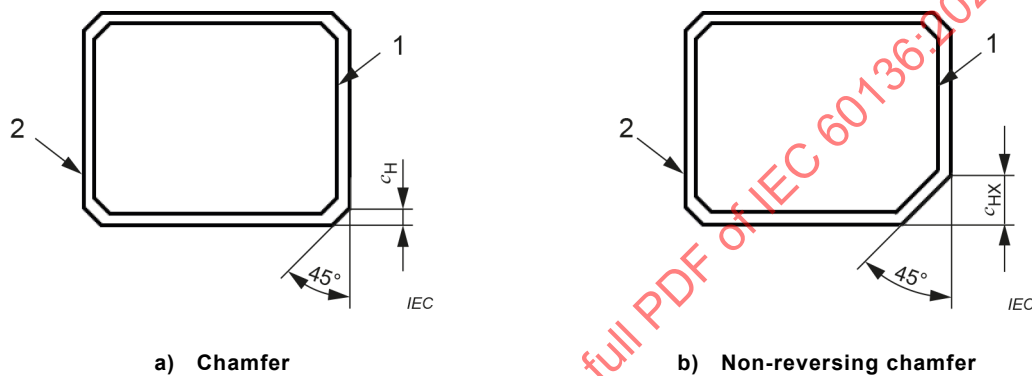
### 3.1.14

#### brush-holder box chamfer height

$c_H$

smaller side of the isosceles rectangle triangle formed by the chamfer of the brush-box

Note 1 to entry: By extension, the height of the brush box non-reversing chamfer  $c_{HX}$  can be defined. Figure 11 illustrates the definitions.



#### Key

- 1 brush
- 2 brush-box
- $c_H$  height of the brush box chamfer
- $c_{HX}$  height of the brush box non-reversing chamfer

**Figure 11 – Brush-holder box chamfer height**

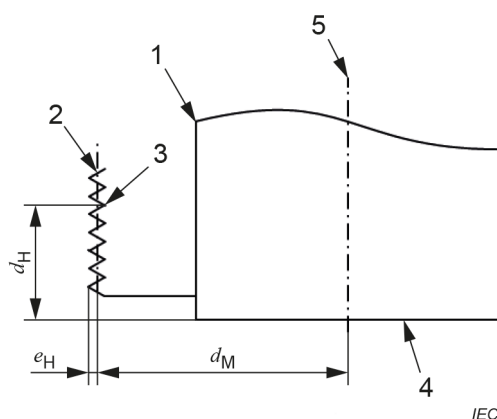
Note 2 to entry:  $c_H$  is expressed in millimetres (mm).

### 3.1.15

#### serration location distance

$d_H$

distance from any tooth root of the serrated side of the brush-holder to the bottom of the brush box, in vertical direction, as illustrated by Figure 12

**Key**

- 1 brush-holder box
- 2 serrated face of the fixation of the brush-holder
- 3 any tooth root of the serrated face
- 4 bottom of the brush box
- 5 brush centre line
- $d_H$  serration location distance
- $d_M$  mounting distance
- $e_H$  distance between the tip of the tooth and the axis of application of the mounting distance

**Figure 12 – Definition of serration location distance**

Note 1 to entry:  $d_H$  is an integer and is expressed in millimetres (mm).

Note 2 to entry: The profile and dimensions of the serrations of the fixation are specified in 9.4.

**3.1.16****mounting distance** $d_M$ 

distance from the axis of the fixation face to the centre line of the brush along the tangential direction (in the case of a DC machine), as illustrated by Figure 12

Note 1 to entry:  $d_M$  is expressed in millimetres (mm).

**3.2 Symbols**

- $A$  sharp edge at contact bevel angle
- $a$  axial dimension of the brush, in mm
- $B$  sharp edge at top bevel angle
- $c$  chamfer height (of the brush), in mm
- $c_H$  brush-box chamfer height, in mm
- $c_{HX}$  brush-box non-reversing chamfer height, in mm
- $c_X$  non-reversing chamfer height (of the brush), in mm
- $D_S$  flexible diameter, in mm
- $D_T$  screw diameter, in mm
- $d_H$  serration location distance, in mm
- $d_M$  mounting distance, from the mounting interface of the brush-holder to the brush centre line in tangential direction, in mm

|               |                                                                                                              |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d_P$         | distance for the application of the block probe, in mm                                                       |
| $d_S$         | distance along the flexible for the application of the flexible probe, in mm                                 |
| $d_{ST}$      | depth of serration tooth (of the serrated fixing face of the brush-holder), in mm                            |
| $e_H$         | distance between the tip of the tooth and the axis of application of the mounting of the brush-holder, in mm |
| $F$           | clamping force of the brush holding device, in N                                                             |
| $F_f$         | pull-out force of the brush-flexible connection, in N                                                        |
| $h_{ST}$      | pitch of the serrated fixing face of the brush-holder, in mm                                                 |
| $L_T$         | length of terminal, in mm                                                                                    |
| $l_S$         | length of flexible, in mm                                                                                    |
| $q_i$         | insertion depth of the flexible in the brush block, in mm                                                    |
| $R_f$         | electrical resistance of the brush-flexible connection, in mΩ                                                |
| $r$           | radial dimension of the brush, in mm                                                                         |
| $r_m$         | safe length of the brush, in mm                                                                              |
| $t$           | tangential dimension of the brush, in mm                                                                     |
| $w_T$         | width of terminal, in mm                                                                                     |
| $w_{ST}$      | width of the tooth of the serrated fixing face of the brush-holder, in mm                                    |
| $w_i$         | remaining material width, in mm                                                                              |
| $w_p$         | pressure area width, in mm                                                                                   |
| $x_T$         | dimension of the terminal perpendicular to the flexible axis direction, in mm                                |
| $y_T$         | dimension of the terminal parallel to the flexible axis direction, in mm                                     |
| $z_T$         | distance from screw axis to the extremity of the terminal closed to the flexible, in mm                      |
| $\alpha$      | contact bevel angle, in °                                                                                    |
| $\beta$       | top bevel angle, in °                                                                                        |
| $\gamma_{ST}$ | angle between the teeth of the serrated fixing face of the brush-holder, in °                                |

NOTE For uniformization of standards relative to carbon brushes and brush-holders, the subscripts have been harmonized:

- B is relative to the entire brush (total brush voltage drop  $U_B$ ),
- i is relative to the inside of the brush block (insertion depth  $q_i$  or internal brush drop  $U_i$  for example),
- f refers to the brush-flexible connection (electrical resistance  $R_f$ , etc.),
- S corresponds to the flexible (length  $l_S$ , diameter  $D_S$ ),
- T corresponds to the terminal (length  $L_T$ , width  $w_T$ ), and
- H corresponds to the brush-holder ( $c_H$ ).

## 4 Units and marking

### 4.1 Units

As International Standards shall only use SI units (see the various parts of ISO/IEC 80000 series), all length dimensions of this document are expressed in metric units.

Since the imperial system (inch, pound, etc.) is still used in some countries, dimensions in inches are included in Annex A. It means that values in millimetres in the main body text have a corresponding value in inches in the tables of Annex A.

It is important that each system be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the specification and may affect brush performances in operation.

### 4.2 Marking

#### 4.2.1 Units

To avoid confusion between dimensions in millimetres (metric system) and in inches (imperial system, also known as British Imperial), brushes, as well as brush-holders, should be marked by using one of the symbols of Table 1.

**Table 1 – Symbols for each unit system**

| Unit system                                    | Symbol         |
|------------------------------------------------|----------------|
| metric (millimetres)                           | □ <sup>a</sup> |
| imperial (inches)                              | △ <sup>b</sup> |
| <sup>a</sup> Square.<br><sup>b</sup> Triangle. |                |

The symbol shall be easy to be read, and not less than 3 mm wide.

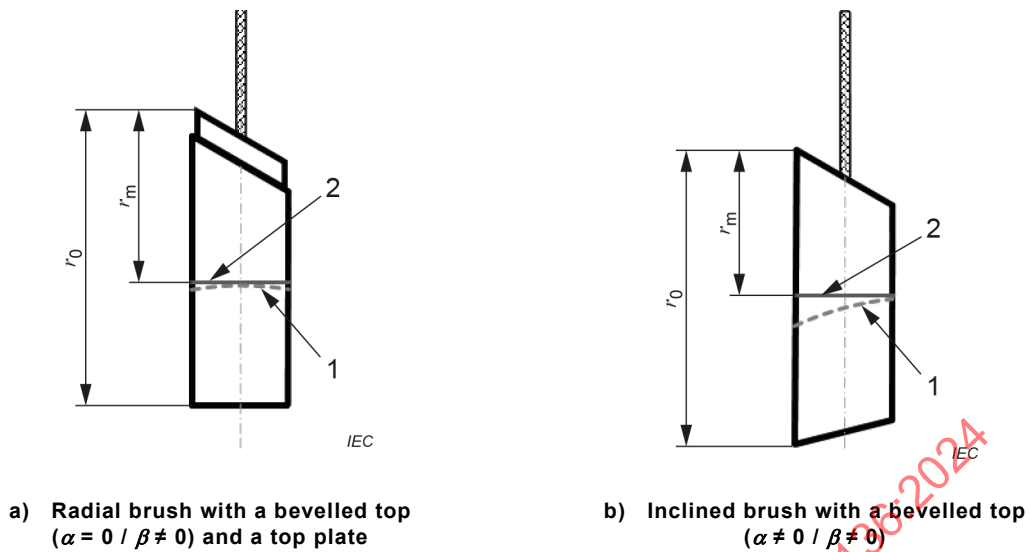
For brushes, the symbol should be so placed that it will still be visible when the brush is fully worn, that is to say near the top of the brush. If the brush is too small, there is no unit marking.

For brush-holders, considering the great variety of shapes and constructions, the marking may be applied where the manufacturer prefers, provided it is visible by the user when the brush-holders are mounted on the machine.

#### 4.2.2 Additional marks on the brush

In addition, the remaining brush length, as defined in 3.1.8 (see also 6.6), should be identified by a mark on the tangential side of the brush. The mark may be a groove line, a small blind hole, or a painted line. When the contact surface reaches one point of the mark, the brush is worn out. Figure 13 gives some examples.

The unit marking as per 4.2.1 shall not be used as a safe worn length mark.



#### Key

- 1 contact surface when the brush is about to be worn out
- 2 mark indicating the safe remaining length
- $r_0$  initial radial dimension
- $r_m$  safe length of a worn brush

**Figure 13 – Safe remaining length mark for different brush designs**

The brush may also be marked so that the user can identify the brush, for example: name or logotype of the manufacturer, the grade name of the block, an index of traceability, etc. Preferably all markings are applied on the same face unless there is not enough space. Generally, the marking is applied on the largest face of the brush. As for the unit mark, it should be so placed that it will still be visible when the brush is fully worn.

#### 4.2.3 Additional marks for brush-holders

As for brushes, the brush-holder may also be identified by an additional marking, generally the manufacturer's name or its logotype and a part number.

### 5 Principal dimensions and tolerances of brushes

#### 5.1 Sequence

**5.1.1** For a brush with a rectangular cross-section, the principal dimensions shall be stated within the sequence (1):

$$t \times a \times r \quad (1)$$

where

- $t$  is the tangential dimension of the brush;
- $a$  is the axial dimension;
- $r$  is the radial dimension;
- $\times$  is a sign applied between the dimensions.

NOTE 1  $t$ ,  $a$  and  $r$  are defined in IEC 60276 and reproduced in Figure 1.

NOTE 2  $t$  is always stated before  $a$ , even when  $t$  is larger than  $a$  (for example slip-rings applications). See figures in item 102 (commutator type) and 103 (slip-ring type) of IEC 60276:2018.

Dimensions are expressed in millimetres or inches. Units are identified on the brush by a marking according to 4.2.1.

**5.1.2** For cylindrical brushes, the dimension  $t$  corresponds to its diameter. Therefore, the corresponding sequence will be (2).

$$t \times r \quad (2)$$

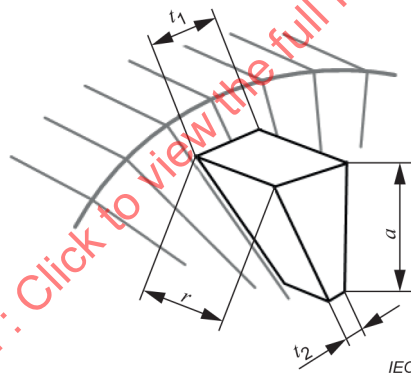
where

$t$  is the diameter of the brush.

**5.1.3** For wedge-edge brushes (trapezoidal section), there are two tangential dimensions, as represented on Figure 14:

- largest tangential dimension:  $t_1$ ;
- smallest tangential dimension:  $t_2$ ,

where  $t_1$  is larger than  $t_2$ .



**Figure 14 – Main dimensions for a wedge-edge brush**

The dimensions are expressed by the sequence (3):

$$(t_1 / t_2) \times a \times r \quad (3)$$

where

$t_1$  is the largest tangential dimension;

$t_2$  is the smallest tangential dimension.

NOTE On Figure 14,  $r$  does not correspond to the definition of the radial dimension of the brush, but to the "length" of the brush that will be worn. This naming was found to be necessary for the application of this document (standard dimensions, tolerances, safe length, etc.).

## 5.2 Standard dimensions

The brushes dimensions are expressed by their nominal value and shall be selected from the values given in Table 2.

**Table 2 – Standard dimensions of brush block**

Dimensions in mm

| Dimension                                                                           | Standard nominal value <sup>a</sup>                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $t$ or $a$                                                                          | 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 64; 80 |
| $r$                                                                                 | 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 64; 80; 100; 125                 |
| <sup>a</sup> Values are taken or rounded from the Renard Series (ISO 3 – base R10). |                                                                          |
| NOTE Standard dimensions in inches are given in Table A.1.                          |                                                                          |

## 5.3 Tolerances on principal dimensions

### 5.3.1 General tolerances

The brush shall be guided along a sufficient height with a suitable clearance to avoid both jamming and beating. Therefore, Table 3 specifies tolerances on the principal dimensions of the brush.

Dimensions shall be measured within a device capable of checking the tolerances specified in Table 3 and at different locations on the brush. It is recommended to use a micrometer, a digital-indicator gauge or a calliper having an accuracy of  $\pm 0,01$  mm or better. The average value is reported.

NOTE 1 The design and metrological characteristics of the above instruments are specified in respective standards ISO 3611, ISO 13102 and ISO 13385-1.

It is up to the brush manufacturer to define a suitable statistical sampling method for the control during and/or after production.

NOTE 2 One can refer to ISO standards for sampling procedures, for example ISO 2859-1.

Nominal dimensions and tolerances of a brush shall be expressed on the drawing according to ISO 129-1.

#### EXAMPLE

For a brush with  $t \times a \times r$  equal to  $16 \times 25 \times 40$ , the tolerances are described as follows:

$$16_{-0,15}^{-0,04} \times 25_{-0,13}^{-0,04} \times 40_{\pm 0,8}$$

NOTE 3 Clearances between brushes and brush-holders are given in 9.2.2.

**Table 3 – Tolerances on  $t$ ,  $a$  and  $r$** 

Dimensions in mm

| Nominal dimension                                                 | Tolerances on $t$ or $a$ |       | Tolerances on $r$ |
|-------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------|-------------------|
|                                                                   | Lower                    | Upper |                   |
| 1,6<br>2<br>2,5<br>3,2                                            | –0,03                    | –0,09 | ±0,3              |
| 4<br>5<br>6,3<br>8<br>10                                          | –0,03                    | –0,11 | ±0,3              |
| 12,5<br>16<br>20<br>25                                            | –0,04                    | –0,13 | ±0,5              |
| 32<br>40<br>50<br>64<br>80                                        | –0,05                    | –0,15 | ±0,8              |
| NOTE Standard dimensions in inches system are given in Table A.1. |                          |       |                   |

**5.3.2 Split brushes**

The dimension ( $t$  or  $a$ ) for which the brush is split in several wafers (see item 138 in IEC 60276:2018) shall be indicated in the dimensions sequence by a dash followed by the number of wafers.

Depending on the split configuration, Formula (1) becomes one of the following Formula (4) or Formula (5):

- when split within  $t$  dimension:

$$t / 2 \times a \times r \quad (4)$$

- when split within  $a$  dimension:

$$t \times a / 2 \times r \quad (5)$$

Unless otherwise specified by the user and the supplier, the tolerance of the value of  $t$  or  $a$  of a set of split brushes (or divided brushes) is increased by 20 µm (or 0,8 thousandths of an inch) by reducing its lower limit, whilst maintaining its upper limit unchanged.

#### EXAMPLE

For a brush with  $t \times a \times r$  sequence 16/2 mm  $\times$  25 mm  $\times$  40 mm, the tolerances are described as follows:

$$16 / 2_{-0,15}^{-0,06} \times 25_{-0,13}^{-0,04} \times 40^{\pm 0,8}$$

### 5.3.3 Metal-graphite brushes

For those grades of brushes which have an abnormally high thermal expansion, for example certain metal graphite and unburnt graphite grades, the dimensions should be reduced at the discretion of the brush manufacturer, as specified in Annex B.

These brushes shall, however, be designated by the nominal values of Table 2.

To facilitate inspection, the brush manufacturer should state the reduced nominal dimensions on the drawing or on a control report when dispatching the brushes.

## 5.4 Recommended combinations of principal dimensions

### 5.4.1 Combination for $t$ and $a$

Table 4 gives recommendations of combinations for  $t$  and  $a$  and preferred values of  $r$ . The preferred combinations are printed in bold character.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60136:2024

**Table 4 – Recommended combination of  $t$ ,  $a$  and  $r$** 

Dimensions in mm

| $t$ | $a$ |     |         |                 |            |            |                |                |                |                |                      |                |                |    |    |
|-----|-----|-----|---------|-----------------|------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|----|----|
|     | 2   | 2,5 | 3,2     | 4               | 5          | 6,3        | 8              | 10             | 12,5           | 16             | 20                   | 25             | 32             | 40 | 50 |
| 1,6 | 8   | 8   |         |                 |            |            |                |                |                |                |                      |                |                |    |    |
| 2   |     | 8   | 8       |                 |            |            |                |                |                |                |                      |                |                |    |    |
| 2,5 |     |     | 8<br>10 | 8<br>10         | 10<br>12,5 |            |                |                |                |                |                      |                |                |    |    |
| 3,2 |     | 10  |         | 8<br>10<br>12,5 | 10<br>12,5 | 12,5<br>16 |                |                |                |                |                      |                |                |    |    |
| 4   |     | 10  | 10      |                 | 10<br>12,5 | 12,5<br>16 | 16<br>20       | 16<br>20       |                |                |                      |                |                |    |    |
| 5   |     |     | 12,5    | 12,5            |            | 12,5<br>16 | 16<br>20<br>25 | 16<br>20<br>25 | 20<br>25<br>32 | 20<br>25<br>32 | 25<br>32             | 32<br>40       | 32<br>40       |    |    |
| 6,3 |     |     | 12,5    | 12,5<br>16      | 16         |            | 20<br>25       | 20<br>25<br>32 | 20<br>25<br>32 | 25<br>32       | 25<br>32<br>40<br>50 | 32<br>40<br>50 | 32<br>40<br>50 |    |    |

Dimensions in mm

| <i>t</i> | <i>a</i> |     |     |          |          |                |                |                |                      |                      |                            |                      |                             |                             |                       |
|----------|----------|-----|-----|----------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
|          | 2        | 2,5 | 3,2 | 4        | 5        | 6,3            | 8              | 10             | 12,5                 | 16                   | 20                         | 25                   | 32                          | 40                          | 50                    |
| 8        |          |     |     | 16<br>20 | 16<br>20 | 20             |                | 20<br>25<br>32 | 25<br>32             | 25<br>32<br>40       | 25<br>32<br>40<br>50       | 32<br>40<br>50       | 32<br>40<br>50<br>64        |                             |                       |
| 10       |          |     |     |          | 16<br>20 | 16<br>20<br>25 | 20<br>25<br>32 |                | 25<br>32<br>40       | 25<br>32<br>40       | 25<br>32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64        | 40<br>50<br>64              |                       |
| 12,5     |          |     |     |          |          | 20<br>25       | 25<br>32       | 25<br>32       |                      | 25<br>32<br>40       | 32<br>40<br>50             | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64<br>80  | 40<br>50<br>64<br>80        | 50<br>64<br>80        |
| 16       |          |     |     |          |          | 20<br>25       | 25<br>32       | 25<br>32<br>40 | 32<br>40             |                      | 32<br>40<br>50             | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64<br>80  | 40<br>50<br>64<br>80        | 50<br>64<br>80        |
| 20       |          |     |     |          |          |                | 25<br>32       | 25<br>32<br>40 | 32<br>40<br>50       | 32<br>40<br>50       |                            | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64<br>80  | 40<br>50<br>64<br>80        | 50<br>64<br>80<br>100 |
| 25       |          |     |     |          |          |                | 32<br>40<br>50 | 32<br>40<br>50 | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64       |                      | 40<br>50<br>64<br>80<br>100 | 40<br>50<br>64<br>80<br>100 | 50<br>64<br>80<br>100 |

Dimensions in mm

| $t$ | $a$ |     |     |   |   |     |   |    |      |    |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|---|---|-----|---|----|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|     | 2   | 2,5 | 3,2 | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20  | 25  | 32  | 40  | 50  |
| 32  |     |     |     |   |   |     |   | 32 | 32   | 32 | 32  |     |     |     |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   | 40 | 40   | 40 | 40  | 40  |     | 40  |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   | 50 | 50   | 50 | 50  | 50  |     | 50  | 50  |
|     |     |     |     |   |   |     |   | 64 | 64   | 64 | 64  | 64  |     | 64  | 64  |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      | 80 | 80  | 80  |     | 80  | 80  |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 100 | 100 |     | 100 | 100 |
| 40  |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    |     | 125 |     | 125 | 125 |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    | 40   | 40 | 40  | 40  | 40  |     |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    | 50   | 50 | 50  | 50  | 50  |     |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    | 64   | 64 | 64  | 64  | 64  |     | 64  |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      | 80 | 80  | 80  | 80  |     | 80  |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 100 | 100 | 100 |     | 100 |
| 50  |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    |     | 125 | 125 |     | 125 |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 40  | 40  |     |     |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 50  | 50  | 50  |     |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 64  | 64  | 64  | 64  |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 80  | 80  | 80  | 80  |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 100 | 100 | 100 | 100 |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    |     | 125 | 125 | 125 |     |

Care should be exercised when using brushes with high  $r$  values that they can be satisfactorily used in the design of the brush-holder in use.

It is not recommended to use a brush of  $a$  dimension value above 125 mm. In particular, the brush stability shall be considered (see Annex C).

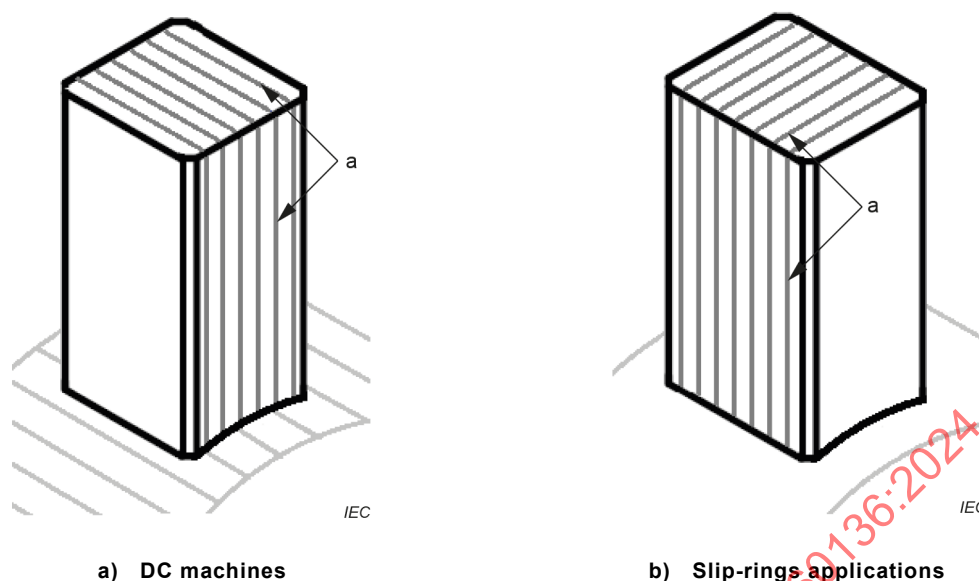
#### 5.4.2 Square brush

Square section brushes are not recommended, in particular when using an anisotropic grade, such as metal-graphite grade. The cutting direction of the block shall be in accordance with the direction of the grain orientation towards the sliding surface, which depends on the application.

Figure 15 illustrates the preferred orientation for DC machines and slip-rings applications.

When the customer confirms he/she wishes the use of a square brush, it is highly recommended to use a non-reversing chamfer to identify the correct position of the brush in its brush box with respect to the cutting direction.

Recommended dimensions of the non-reversing chamfer are specified in 6.1.3 for brushes and 9.2.3 for brush-holders.



**Key**

- a Orientation plan of grains during moulding operation (perpendicular to the force of pressing in case of uniaxial pressing in a mould)

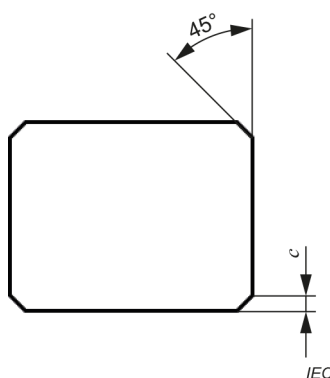
**Figure 15 – Preferred orientation for anisotropic grades depending on the application**

## 6 Complementary dimensions of brushes

### 6.1 Chamfers

#### 6.1.1 Angle

An angle of  $45^\circ$  shall be applied for the chamfer of brushes, as indicated by Figure 16.



**Figure 16 – Angle of chamfers**

#### 6.1.2 Dimension

The values of chamfer height  $c$ , as represented on the Figure 2 and Figure 16, are related to the dimensions  $t$  or  $a$  of the brush.

The nominal of the chamfer, defined as being a minimum value to ensure a proper guidance of the brush inside its box, shall be chosen from Table 5 according to the smallest value between  $t$  and  $a$ .

Table 5 also provides a recommended nominal and maximum value.

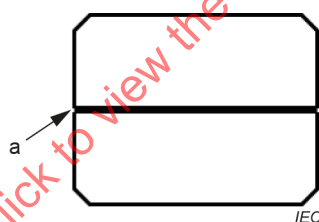
When other values of chamfers (and their tolerances) are used, they shall be stated on the brush drawing.

**Table 5 – Dimension of chamfer height  $c$**

Dimensions in mm

| The smallest value between dimensions $t$ and $a$                 | Values of $c$         |         |                       |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------|-----------------------|
|                                                                   | Nominal (recommended) | Minimum | Maximum (recommended) |
| $(t \text{ or } a) \leq 3,2$                                      | 0,1                   | 0,1     | 0,4                   |
| $3,2 < (t \text{ or } a) \leq 6,3$                                | 0,3                   | 0,3     | 0,6                   |
| $6,3 < (t \text{ or } a) \leq 8$                                  | 0,5                   | 0,5     | 0,8                   |
| $8 < (t \text{ or } a) \leq 20$                                   | 1,0                   | 1,0     | 1,5                   |
| $20 < (t \text{ or } a)$                                          | 2,0                   | 2,0     | 2,5                   |
| NOTE Standard dimensions in inches system are given in Table A.2. |                       |         |                       |

For split brushes (double, triple, etc.), the value of outer chamfers  $c$  is given in Table 5 in relationship with the nominal dimension  $t$  or  $a$ . Between the individual brushes no chamfers are required. Anyway, to avoid any chipped edges during manufacturing, the edges between individual wafers could be slightly broken as shown by the arrow in Figure 17.



**Key**

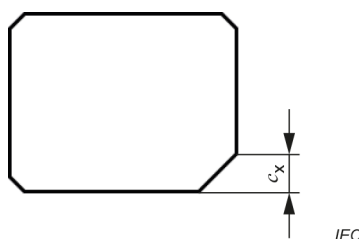
a Broken angle location

**Figure 17 – Split brush**

The corresponding chamfer height of the brush-box,  $c_H$ , as defined in 3.1.14, shall be in accordance with 9.2.3.

**6.1.3 Non-reversing chamfer**

A non-reversing chamfer may be added when it is necessary to mount the brush at a specific position on the electrical rotating machine (see item 146 of IEC 60276:2018). This brush feature is typically applied for square brushes (see 5.4.2), but is not limited to them.



**Figure 18 – Non-reversing chamfer height**

The recommended height  $c_x$  of the non-reversing chamber, as defined in Figure 18, is presented in Table 6. In any case it shall be strictly superior to the maximum tolerance value of  $c$  (see 6.1.2).

**Table 6 – Recommended values of non-reversing chamfer height**

Dimensions in mm

| The smallest between dimension $t$ and $a$                        | Values of $c_x$       |                 |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------|
|                                                                   | Nominal (and minimum) | Upper tolerance |
| $(t \text{ or } a) \leq 6,3$                                      | 2                     | +0,3            |
| $6,3 < (t \text{ or } a) \leq 10$                                 | 2,5                   | +0,3            |
| $10 < (t \text{ or } a) \leq 16$                                  | 3                     | +0,3            |
| $20 < (t \text{ or } a)$                                          | 4                     | +0,5            |
| NOTE Standard dimensions in inches system are given in Table A.2. |                       |                 |

The corresponding non-reversing chamfer height of the brush-box,  $c_{HX}$ , as defined in Figure 11, shall be chosen so that no jamming nor friction exist between the brush and its box (see also 9.2.3).

## 6.2 Angles for contact and top bevels

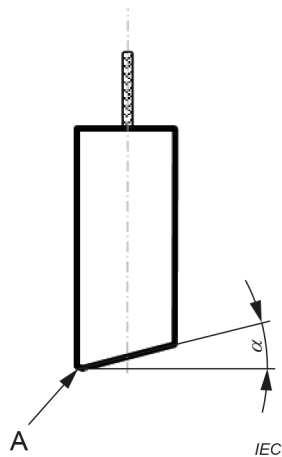
### 6.2.1 Angles for contact bevel

The contact bevel angle  $\alpha$  (see Figure 3) should be selected among values given in Table 7.

The contact bevel angles in Table 7 reflect the most commonly applied values in use for rotating electrical machines in operation, and thus constitute a standard for most of the carbon brush manufacturers. For values over  $20^\circ$ , it is recommended to study the stability of the brush, in combination with the top bevel angle and the rotating direction (see 6.2.3).

Tolerances for all values of angles are  $\pm 1^\circ$ .

When  $\alpha$  is greater than  $15^\circ$  and  $t$  is greater than 8 mm (5/16 in), the sharp edge of angle A may be removed by the manufacturer, as shown by Figure 19, either by a flat surface (toe) or rounded shape or a chamfer of not more than 1 mm (0,04 in) width.



**Key**

A Sharp edge at the bottom of the brush

**Figure 19 – Sharp edge when a contact bevel angle  $\alpha$  is applied**

NOTE In the field many old-designed DC motors or generators still use intermediate angles or angles higher than 35°. For example: on reversing rotation motors, V-tandem brush-holders with an angle  $\alpha$  of 40° is applied.

**6.2.2 Angles for top bevel**

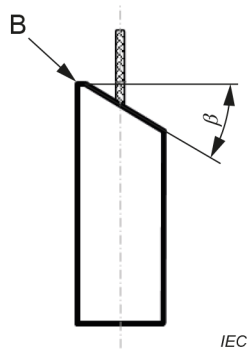
Preferred values of top bevel angle  $\beta$  (see Figure 4) are given in Table 7.

**Table 7 – Preferred values for contact bevel angle  $\alpha$  and top bevel angle  $\beta$**

| Dimensions in °                                                                                              |                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Angle                                                                                                        | Nominal values <sup>a</sup>  |
| $\alpha$                                                                                                     | 0; 7,5; 15; 20; 22,5; 30; 35 |
| $\beta$                                                                                                      | 0; 7,5; 15; 20; 22,5; 25; 30 |
| <sup>a</sup> Values specified are absolute values (angles $\alpha$ and $\beta$ may be positive or negative). |                              |

Tolerances for all values of angles are  $\pm 1^\circ$ .

When  $\beta$  is greater than 15°, it is recommended to remove the sharp edge B by a flat surface of not more than 1 mm width (0,04 in), as shown in Figure 20.



**Key**

B Sharp edge at the top of the brush

**Figure 20 – Flat surface of edge when a top bevel angle  $\beta$  is applied**

Angles greater than  $30^\circ$  are not recommended since it may affect the brush stability, particularly when the brush is worn (see 6.2.3).

### 6.2.3 Combination of angles

Angles are related to the stability of the brush when in operation. A study of stability may be helpful to define the proper  $\alpha$  and  $\beta$  angles. Particularly, the study shall consider the specific pressure, the location of pressure application, the rotating direction and the friction coefficient of the brush grade. Annex C explains the considerations regarding brush stability.

Table 8 gives some typical historical values of combination of contact and top angles.

**Table 8 – Typical combination values for contact bevel angle  $\alpha$  and top bevel angle  $\beta$**

| Dimensions in $^\circ$                                                                                                                                                                                                                             |                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Values of $\alpha$                                                                                                                                                                                                                                 | Recommended values of $\beta$ |
| 0 <sup>a</sup>                                                                                                                                                                                                                                     | 0; 7,5; 15                    |
| 7,5 to 8 <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                                                              | 0; 7,5; 15                    |
| 15 <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                                                                    | 0; 7,5; 15                    |
| 20 <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                                                                    | 20; 25                        |
| 22,5                                                                                                                                                                                                                                               | 22,5; 25                      |
| > 25 and < 40 <sup>c</sup>                                                                                                                                                                                                                         | 25; 30; 35; 40                |
| NOTE Values of angles specified in this table are absolute values.<br><sup>a</sup> Radial brush.<br><sup>b</sup> Typical dimension for a trailing brush ( $\alpha < 0$ ).<br><sup>c</sup> Typical dimension for a reaction brush ( $\alpha > 0$ ). |                               |

### 6.3 Pressure area

The top of the brush shall have an area symmetrical about the centre line of the brush top, left clear of brush connections, on to which the pressure may be applied. The pressure area width  $w_p$  is important for the definition of the pressure system dimensions, in particular of recoiling type.

The values of pressure area width  $w_p$  are related to either  $a$  or  $t$  depending on the type of the machine, as illustrated in Figure 5:

- for DC machines:  $w_p$  is along the axial direction (relative to  $a$ ),
- for slip-rings machines:  $w_p$  is along the axial direction (relative to  $t$ ).

The recommended minimum values of  $w_p$  are given in Table 9.

**Table 9 – Recommended minimum values of pressure area width  $w_p$** 

Dimensions in mm

| Dimension $t$ or $a$ | Minimum value of $w_p$ |
|----------------------|------------------------|
| 12,5                 | 6,3                    |
| 16                   | 6,3                    |
| 20                   | 10                     |
| 25                   | 12,5 <sup>a</sup>      |
| 32                   | 16                     |
| 40                   | 20                     |
| 50                   | 25                     |

NOTE Dimensions in inches are given in Table A.3.

<sup>a</sup> It is recognized that for brushes with  $a$  or  $t$  of 25 mm (1 in), many brush-holders use pressure fingers 12,5 mm (1/2 in) wide. In such cases, the brush manufacturers will increase  $w_p$  to a suitable value or use two flexibles (shunts).

In cases where it is difficult or impossible to use the type of connection shown in the figures of this document, it is left to the discretion of the manufacturer to use any other type of insertion for the flexible (shunt).

#### 6.4 Depth of insertion $q_i$ of the flexible (shunt) in the brush

The brush manufacturer generally uses, for the insertion of the flexible in the brush material the part of the brush nearest to the top, as illustrated by Figure 6.

The value of  $q_i$  depends on the diameter of the flexible  $D_S$ . The recommended values of  $q_i$  are disclosed in Table 10.

**Table 10 – Maximum values of depth of insertion  $q_i$** 

Dimensions in mm

| Dimension $D_S$ | Recommended maximum value of $q_i$ |
|-----------------|------------------------------------|
| 1               | 6                                  |
| 1,2             | 6                                  |
| 1,4             | 7                                  |
| 1,6             | 8                                  |
| 1,8             | 9                                  |
| 2               | 10                                 |
| 2,2             | 11                                 |
| 2,5             | 12                                 |
| 2,8             | 13                                 |
| 3,2             | 14                                 |
| 3,6             | 15                                 |
| 4               | 16                                 |
| 4,5             | 17                                 |
| 5               | 18                                 |
| 5,6             | 19                                 |
| 6,3             | 20                                 |

NOTE Standard dimensions in inches system are given in Table A.4.

In the case of tandem and split brushes, the maximum  $q_i$  value should be taken from Table 10 corresponding to the cross-section of each block.

As the flexible is defined according to both the grade of the brush block and its dimensions (flexibles are specified in 7.1), the depth of insertion may slightly differ from one brush to another. It also includes a tolerance for discrepancies in drilling the holes.

If the brush manufacturer cannot ensure a satisfactory connection by applying the values given in Table 10, it should notify the customer and provide the amended  $q_i$  value necessary.

#### EXAMPLE

The values given in Table 11 represent the maximum values of  $q_i$  determined for a standard brush made of a grade chosen in EG (electrographite) family for a DC machine.

**Table 11 – Example of maximum values of  $q_i$  for an EG grade**

Dimensions in mm

| Values of $t$ | Values of $a$   |                 |                 |                 |              |              |                |                 |                 |                 |              |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
|               | 5               | 6,3             | 8               | 10              | 12,5         | 16           | 20             | 25              | 32              | 40              | 50           |
| 5             | <sup>a</sup>    | 6               | 6               | 6               | 6            | 7            | 8 <sup>b</sup> | 9 <sup>b</sup>  | 10 <sup>b</sup> | 12 <sup>b</sup> |              |
| 6,3           | 6               | <sup>a</sup>    | 6               | 6               | 7            | 8            | 9              | 10 <sup>b</sup> | 12 <sup>b</sup> | 13 <sup>b</sup> |              |
| 8             | 6               | 6               | <sup>a</sup>    | 7               | 8            | 9            | 10             | 12              | 13 <sup>b</sup> | 15 <sup>b</sup> |              |
| 10            | 6               | 7               | 7               | <sup>a</sup>    | <sup>a</sup> | 11           | 12             | 13              | 15              | 16 <sup>b</sup> | 18           |
| 12,5          | 6               | 7               | 8               | <sup>a</sup>    | <sup>a</sup> | <sup>a</sup> | 13             | 15              | 16              | 18              | 19           |
| 16            | 7               | 8               | 9               | 11              | <sup>a</sup> | <sup>a</sup> | 15             | 16              | 18              | 19              | 20           |
| 20            | 8 <sup>b</sup>  | 9               | 10              | 12              | 13           | 15           | <sup>a</sup>   | 18              | 19              | 20              | <sup>c</sup> |
| 25            | 9 <sup>b</sup>  | 10 <sup>b</sup> | 12              | 13              | 15           | 16           | 18             | <sup>a</sup>    | 20              | <sup>c</sup>    | <sup>c</sup> |
| 32            | 10 <sup>b</sup> | 12 <sup>b</sup> | 13 <sup>b</sup> | 15              | 16           | 18           | 19             | 20              | <sup>a</sup>    | <sup>c</sup>    | <sup>c</sup> |
| 40            | 12 <sup>b</sup> | 13 <sup>b</sup> | 15 <sup>b</sup> | 16 <sup>b</sup> | 18           | 19           | 20             | <sup>c</sup>    | <sup>c</sup>    | <sup>a</sup>    | <sup>c</sup> |
| 50            |                 |                 |                 | 18              | 19           | 20           | <sup>c</sup>   | <sup>c</sup>    | <sup>c</sup>    | <sup>c</sup>    | <sup>a</sup> |

<sup>a</sup> Combination not recommended as explained in 5.4.2.  
<sup>b</sup> Combination not recommended as per Table 4.  
<sup>c</sup> Combination not recommended since generally 2 flexibles should be used.

Lower values of  $q_i$  may be applied upon the customer's request to increase the brush lifetime. It shall be borne in mind that the properties relative to the brush-flexible connection (electrical resistance and pull-out resistance) may be affected. Therefore, an agreement shall be found between the customer and the brush manufacturer based on the desired properties of the brush, which are to be defined from the viewpoint of the final application of the machine.

#### 6.5 Residual material width adjacent to the flexible

The width of the residual material adjacent to the flexible, defined in 3.1.7 and illustrated by Figure 7, shall be minimized to avoid any crack inside the brush block when drilling and/or fixing the flexible (either by tamping nor riveting). The values specified in Table 12 are the minimum width relative to the flexible diameter to be respected.

Values of Table 12 concern brush grades with a minimum flexural strength of 20 MPa, which represents the majority of EG, CG and MG grades.

For fragile grades such as NG or BG, thus with a lower flexural strength than 20 MPa, a value of 0,2 mm should be added to the values specified in Table 12.

For high flexural resistance grades (such as a flexural strength higher than 60 MPa) a lower value may be applied after a feasibility study is carried out by the carbon brush manufacturer.

As it can be seen from Table 12 and Table 9, there could be a conflict between the two concepts of minimum surface for the application of pressure  $w_p$  and the minimum width of residual material  $w_i$ . Therefore, an agreement shall be found between the user and the brush manufacturer to ensure both a good operation of the brush and its manufacturing. One shall keep in mind that the choice of the brush-holder type will have an influence on the brush design.

NOTE IEC 60413 specifies the method for the determination of the flexural strength of brush grades.

**Table 12 – Minimum width of residual material**

| Dimensions in mm                                                 |                                       |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| Dimension $D_s$                                                  | Minimum residual material width $w_i$ |
| 1                                                                | 1,4                                   |
| 1,3                                                              | 1,4                                   |
| 1,6                                                              | 1,5                                   |
| 1,8                                                              | 1,6                                   |
| 2                                                                | 1,6                                   |
| 2,4                                                              | 1,7                                   |
| 2,7                                                              | 1,9                                   |
| 3,3                                                              | 2,4                                   |
| 3,7                                                              | 2,9                                   |
| 4,2                                                              | 2,9                                   |
| 4,7                                                              | 3,5                                   |
| 5,3                                                              | 3,5                                   |
| 5,9                                                              | 4,0                                   |
| 6,7                                                              | 4,0                                   |
| NOTE The tolerance range is generally between +0 mm and +0,5 mm. |                                       |

## 6.6 Safe length of a worn brush $r_m$

The safe length of a worn brush, defined in 3.1.8 and Figure 8, will be slightly in excess of the value of  $q_i$ .  $r_m$  depends on various factors, such as:

- actual values of  $q_i$ ,
- elements (or parts of elements) fitted on to brush and included in  $r$  dimension, such as top pads, which take part in the pressure application (see example b) of Figure 8),
- pressure spring type, particularly the remaining pressure when the brush is worn.

It is the user who shall supervise the brush wear, the purpose being to replace the brush when the safe worn length  $r_m$  is reached.

A mark, showing the safe worn length, shall be made on the new brush by the manufacturer if requested by the user or on his/her own initiative. The marking shall be in accordance with 4.2.2.

The value of  $r_m$  is not mentioned in this document since it depends upon the design of the brush and its application (particularly the wear rate).

However, for the purposes of guiding, marking, etc., the dimension  $r_m$  is limited to a minimum value:

- For radial brushes and inclined brushes with  $\alpha \leq 15^\circ$ , it is recommended that the value of  $r_m$  not be lower than 35 % of the value of  $r$ .
- For inclined brushes with  $\alpha > 15^\circ$ , it is recommended that the value of  $r_m$  be  $\geq 30$  % of the value of  $r$ .

If special arrangements are to be included to prevent wear beyond  $r_m$ , they shall be secured to the brush and not to the brush-holder.

## 7 Terminations of brushes: flexibles and terminals

### 7.1 Flexibles

#### 7.1.1 General

Flexibles (or shunt in US) are composed of several single metal wires arranged together. Two main arrangements are used for brush flexibles: strand and braid, as illustrated by Figure 21.



**Figure 21 – Flexible configuration illustration**

NOTE A strand is constituted by an assembly of several single wires helicoidally twisted. Generally, several strands are stranded together to obtain the flexible. A braid is constituted by several single wires (or strands) braided together.

Generally, the material of the single wire is copper. Copper shall be chosen among Cu-ETP (Electrolytic Tough Pitch) or Cu-OF (Oxygen free), as defined in ISO 197-1. The single wire may be plated with tin, silver or nickel, when a higher resistance to chemicals or oxidation is needed.

It shall be noted that dimensions of the flexible may differ slightly depending on the configuration and chemical nature of the metal.

Configurations other than those illustrated by Figure 21 are possible (such as flat braided flexible, with a rectangular section). Therefore, it is possible that some clauses of this document will not apply.

The position of the flexible onto the brush shall be chosen carefully so that the flexible is not impacted during installation nor during operation of the brush (for example wires could be cut if the flexible touches a metal element of the brush-holder). Annex E gives an example of a definition of location points.

### 7.1.2 Nominal area and maximum diameter of flexibles

The definition of the flexible shall be studied from an electrical point of view: its cross-section area has a relationship with the current carrying capacity.

The values of nominal current per flexible indicated in Table 13 should serve as a guide for the determination of the flexible configuration. Table 13 gives recommended values of nominal area and maximum diameter of the flexible  $D_S$ .

NOTE The diameter of the flexible is a function of its configuration (diameter of single wires, material, arrangement, etc.). Therefore, only a maximum value of flexible diameter is reported in Table 13. Some configuration examples are given for reference in Annex D.

In practice, the nominal current per flexible is calculated from the current to be passed per brush and the number of flexibles per brush. It is recommended to apply almost 2 flexibles per wafer in case of any issue in operation (flexible cut or pulled out). If the calculated nominal current per flexible does not exactly match the value in Table 13, it shall be rounded up to the next value.

**Table 13 – Recommended nominal area for flexibles and their corresponding maximum diameter**

| Nominal current per flexible <sup>a</sup>                                                                                         | Nominal area    | Maximum diameter $D_S$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------------|
| A                                                                                                                                 | mm <sup>2</sup> | mm                     |
| 7                                                                                                                                 | 0,25            | 1,0                    |
| 9                                                                                                                                 | 0,5             | 1,3                    |
| 12                                                                                                                                | 0,75            | 1,6                    |
| 15                                                                                                                                | 1,0             | 1,8                    |
| 17,5                                                                                                                              | 1,25            | 2,0                    |
| 20                                                                                                                                | 1,5             | 2,2                    |
| 24                                                                                                                                | 2,0             | 2,4                    |
| 28                                                                                                                                | 2,5             | 2,7                    |
| 32                                                                                                                                | 3,2             | 3,0                    |
| 38                                                                                                                                | 4,0             | 3,3                    |
| 44                                                                                                                                | 5,0             | 3,7                    |
| 50                                                                                                                                | 6,0             | 4,2                    |
| 60                                                                                                                                | 8,0             | 4,7                    |
| 75                                                                                                                                | 10,0            | 5,3                    |
| 85                                                                                                                                | 12,5            | 5,9                    |
| 100                                                                                                                               | 16,0            | 6,7                    |
| <sup>a</sup> It corresponds to a continuous current (and not a maximum) for which the properties of the flexible are not altered. |                 |                        |
| NOTE Standard dimensions in inches system are given in Table A.5.                                                                 |                 |                        |

Other configuration may be used when the application parameters are specific, for instance for traction motors, windmill generators or earthing. This includes flat braided flexibles.

In cases of exceptional current overload or restricted ventilation, the brush manufacturer should be advised so that the flexible size can be adjusted accordingly.

### 7.1.3 Length of flexible

The length of flexibles  $l_s$  shall be measured as shown in Figure 9 and should be chosen among values specified in Table 14, which also specifies tolerances.

**Table 14 – Standard lengths of flexibles  $l_s$  and tolerances**

Dimensions in mm

| Nominal value <sup>a</sup> of $l_s$                                                                                                      | Tolerances |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|
|                                                                                                                                          | Lower      | Upper |
| 16; 20; 25; 32; 40                                                                                                                       | 0          | +3    |
| 50; 56; 63; 71; 80; 90; 100                                                                                                              | 0          | +5    |
| 112; 125; 140; 160; 200; 250                                                                                                             | 0          | +8    |
| <sup>a</sup> Values are taken from the Renard Serie (ISO 3 – Ra10).<br>NOTE Standard dimensions in inches system are given in Table A.6. |            |       |

### 7.1.4 Flexible protection

A sleeve may be applied around the flexible to protect the flexible for:

- insulation, when high voltage is expected, to prevent short-circuits,
- mechanical resistance, when high vibration level is suspected on the machine, to prevent wires breaking.

It shall be kept in mind that such flexible protection has a negative effect in case of a high temperature in the brush since materials are generally thermal insulators.

## 7.2 Terminals

### 7.2.1 General

For spade, flag, double shoe, tubular, formed spade and pin terminals, the main dimensions indicated on the figures of this Subclause 7.2 are to be adhered to:

- terminal hole diameter (corresponding to the screw):  $D_T$ ;
- terminal width:  $W_T$ ;
- terminal (total) length:  $L_T$ ;
- distance between the screw hole and the base of the terminal (which does not include the part attached to the flexible) along the flexible direction:  $y_T$ ;
- distance between the screw hole and the flexible side perpendicular to the flexible direction:  $x_T$ ;
- distance between the free extremity of the terminal and the base of the terminal (which does not include the part attached to the flexible):  $z_T$ .

NOTE Such terminals are defined in 5.4 of IEC 60276:2018: item 402 for spade, item 401 for flag, 404 for double shoe, 407 for pin.

The details of terminal shapes and other dimensions are left to the manufacturer's discretion.

Dimensions in Table 15 to Table 20 provide the minimum clearance for a box spanner or wrench.

Tolerances on  $D_T$  nominal value are between 0 and +0,3 (indication  $DT_0^{+0,3}$  on the drawing).

Material thickness may be selected from the values given in Annex F.

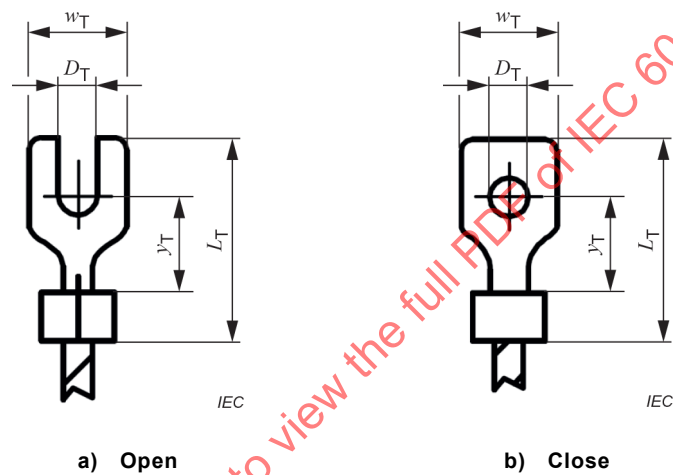
Crimped terminals are covered by 7.2.2 to 7.2.5, whereas some soldered terminals are defined in 7.2.6.

Terminals that do not require the use of a screw, such as quick connect type (for example item 405 of IEC 60276:2018), are allowed providing that their dimensions are agreed between the brush manufacturer and the designer of the machine.

When installing new brushes, it is highly recommended to apply a proper torque in accordance with the specific standards of the screw that is used (diameter and material).

7.2.2 Axial spade terminals

Figure 22 defines the general shape and main dimensions of axial spade terminals.



Key

- $D_T$  terminal hole diameter
- $w_T$  terminal width
- $L_T$  total terminal length
- $y_T$  distance between the screw hole and the base of the terminal (which does not include the part attached to the flexible)

Figure 22 – Definition of shape and dimensions of axial spades terminals

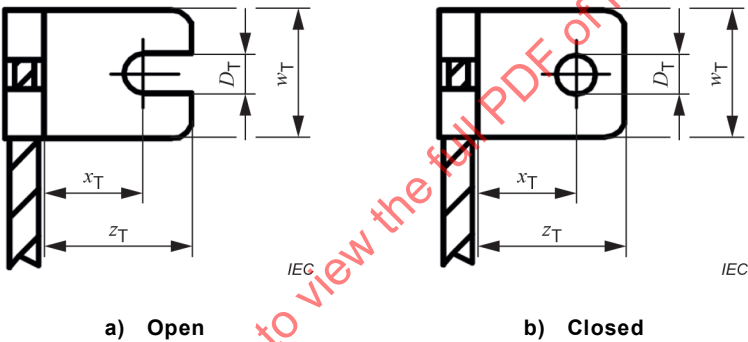
Table 15 gives standard values of spade terminals dimensions according to the screw diameter.

Table 15 – Standard values of spades terminals dimensions

| Dimensions in mm                                                           |                        |                          |                        |                        |
|----------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|
| Nominal screw diameter                                                     | Nominal value of $D_T$ | Maximum value of $W_T^a$ | Maximum value of $L_T$ | Minimum value of $y_T$ |
| 2,5                                                                        | 2,8                    | 7                        | 14                     |                        |
| 4                                                                          | 4,3                    | 11                       | 18                     | 6                      |
| 5                                                                          | 5,2                    | 13                       | 20                     | 7                      |
| 6                                                                          | 6,5                    | 17                       | 28                     | 8,5                    |
| 8                                                                          | 8,5                    | 21                       | 32                     | 10,5                   |
| 10                                                                         | 10,5                   | 23                       | 40                     | 13                     |
| <sup>a</sup> Standard strip widths may be used for width dimension $W_T$ . |                        |                          |                        |                        |

7.2.3 Flag terminals

Figure 23 defines the shape and the main dimensions of flag terminals.



Key

- $D_T$  terminal hole diameter
- $w_T$  terminal width
- $x_T$  distance between the screw hole and the side of the flexible perpendicular to the flexible direction
- $z_T$  distance between the free extremity of the terminal and the base of the terminal

Figure 23 – Definition of shape and dimensions of flag terminals

Table 16 gives standard values of flag terminals dimensions according to the screw diameter.

Table 16 – Standard values of flag terminals dimensions

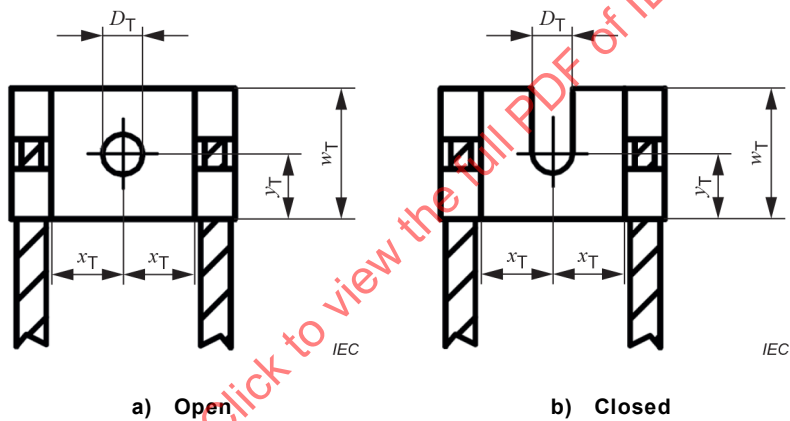
Dimensions in mm

| Nominal screw diameter | Nominal value of $D_T$ | Maximum value of $W_T$ <sup>a</sup> | Maximum value of $z_T$ | Minimum value of $x_T$ |
|------------------------|------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------|
| 2,5                    | 2,8                    | 7                                   | 8                      |                        |
| 4                      | 4,3                    | 11                                  | 12                     | 6                      |
| 5                      | 5,2                    | 13                                  | 13                     | 7                      |
| 6                      | 6,5                    | 17                                  | 16                     | 8,5                    |
| 8                      | 8,5                    | 21                                  | 20                     | 10,5                   |
| 10                     | 10,5                   | 23                                  | 25                     | 13                     |

<sup>a</sup> Standard strip widths may be used for width dimension  $W_T$ .

7.2.4 Double shoe terminals

Figure 24 defines the shape and the main dimensions of double shoe terminals.



Key

- $D_T$  terminal hole diameter
- $w_T$  terminal width
- $y_T$  distance between the screw hole and the base of the terminal
- $x_T$  distance between the axis of screw hole and the side of flexible perpendicular to the flexible direction

Figure 24 – Definition of shape and dimensions of double shoe terminals

For closed double shoe terminals, the value of  $y_T$  is generally equal to the value of  $W_T$  divided by 2.

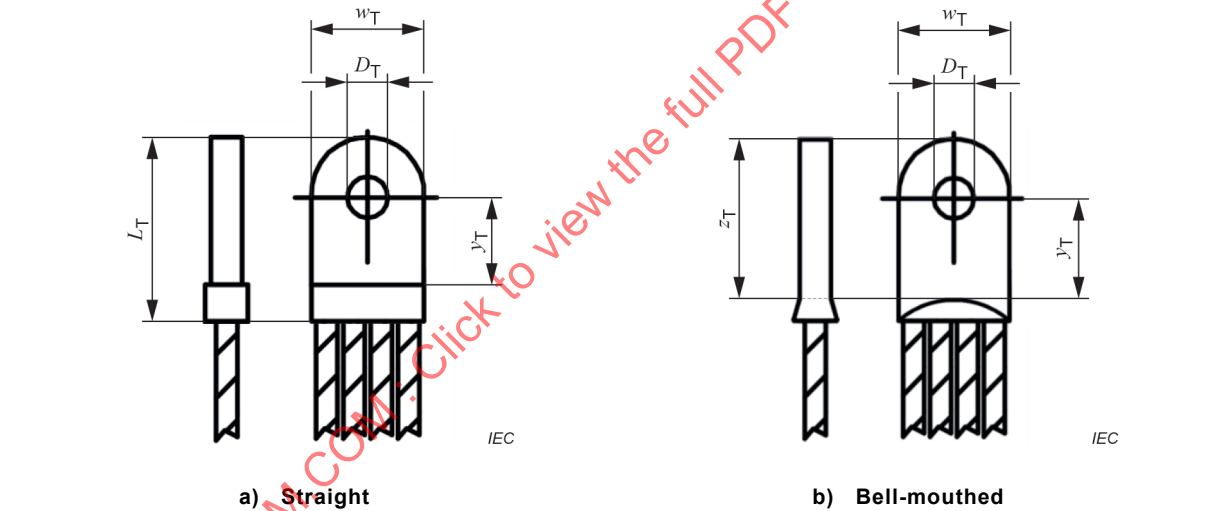
Table 17 gives standard values of double shoe terminals dimensions according to the screw diameter.

Table 17 – Standard values of double shoe terminals dimensions

| Dimensions in mm                                                               |                        |                                     |                                     |                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------|
| Nominal screw diameter                                                         | Nominal value of $D_T$ | Maximum value of $w_T$ <sup>a</sup> | Maximum value of $y_T$ <sup>b</sup> | Minimum value of 2 times the value of $x_T$ |
| 4                                                                              | 4,3                    | 11                                  | 6                                   | 12                                          |
| 5                                                                              | 5,2                    | 13                                  | 7                                   | 14                                          |
| 6                                                                              | 6,5                    | 17                                  | 9                                   | 17                                          |
| 8                                                                              | 8,5                    | 21                                  | 11                                  | 21                                          |
| 10                                                                             | 10,5                   | 23                                  | 11                                  | 26                                          |
| <sup>a</sup> Standard strip widths may be used for the width dimension $w_T$ . |                        |                                     |                                     |                                             |
| <sup>b</sup> Applies only in the case of open double shoe terminals.           |                        |                                     |                                     |                                             |

7.2.5 Tubular terminals

Figure 25 defines the shape and the main dimensions of tubular terminals (also named box or folded terminals).



Key

- $D_T$  terminal hole diameter
- $w_T$  terminal width
- $L_T$  terminal length
- $y_T$  distance between the screw hole and the base of the terminal (which does not include the part attached to the flexible)
- $z_T$  distance between the free extremity of the terminal and the base of the terminal

NOTE Subfigures a) and b) above are examples of tubular terminals. Other shapes are possible, for example: rectangular extremity (part where the screw hole is located), straight crimping part, open, etc.

Figure 25 – Definition of shape and dimensions of tubular terminals

Table 18 gives standard values of tubular terminals dimensions according to the screw diameter.

**Table 18 – Standard values of tubular terminals dimensions**

Dimensions in mm

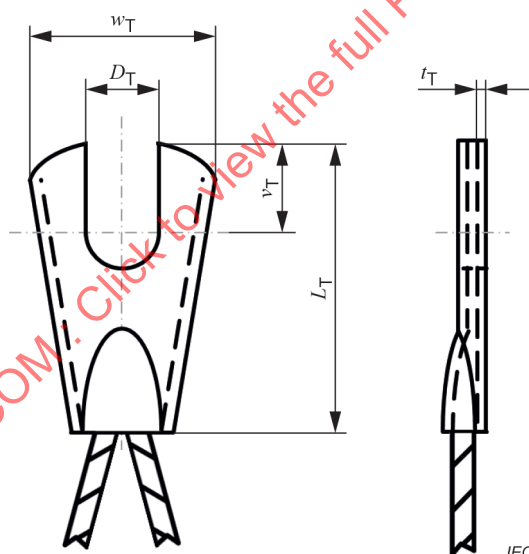
| Nominal screw diameter | Nominal value of $D_T$ | Maximum value of $W_T$ | Maximum value of $z_T$ or $L_T$ | Minimum value of $y_T$ |
|------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------|
| 4                      | 4,3                    | 11                     | 12                              | 6                      |
| 5                      | 5,2                    | 13                     | 13                              | 7                      |
| 6                      | 6,5                    | 17                     | 16                              | 8,5                    |
| 8                      | 8,5                    | 21                     | 20                              | 10,5                   |
| 10                     | 10,5                   | 23                     | 25                              | 13                     |

If the terminal is required to be bell-mouthed, as illustrated by case b) of Figure 25, it should be extended so that the belled part does not encroach on the portion  $W_T \times L_T$  and  $W_T \times y_T$ , which shall be flat.

### 7.2.6 Soldered terminals

#### 7.2.6.1 Formed spade terminal

Figure 26 shows one type of formed spade terminal and Table 19 gives its main dimensions.



#### Key

$D_T$  terminal hole diameter

$w_T$  terminal width

$L_T$  terminal length

$v_T$  distance between the axis of the screw hole and the free extremity of the terminal

$t_T$  thickness of the terminal plate

NOTE  $v_T$  corresponds to  $z_T$  minus  $y_T$  (used in Figure 22 to Figure 25).

**Figure 26 – Definition of shape (example) and dimensions of formed spade terminal**

**Table 19 – Standard values of formed spade terminals dimensions and tolerances**

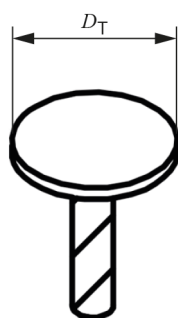
Dimensions in mm

| Nominal screw diameter   | Nominal value of $D_T$ | Nominal value of $L_T$ | Nominal value of $W_T$               | Nominal value of $r_T$ | Nominal value of $t_T$ |
|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------------------|
| M5                       | 5,5                    | 20                     | 13                                   | 6,5                    | 0,45                   |
| M6                       | 6,5                    | 24                     | 16                                   | 8                      | 0,45                   |
| M8                       | 8,5                    | 29                     | 19                                   | 9,5                    | 0,45                   |
| Tolerances (Lower/Upper) | -0,1 / +0,3            | $\pm 1,5$              | $\pm 0,8$<br>except $\pm 1,0$ for M8 | -                      | $\pm 0,05$             |

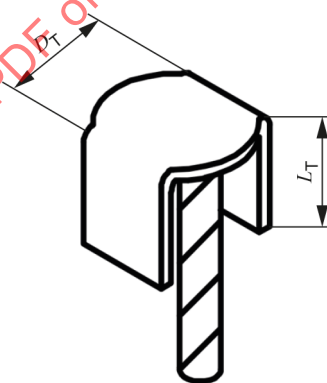
NOTE This type of terminal is commonly in use in Japan (JIS C2802).

### 7.2.6.2 Pin terminal

Figure 27 shows two examples of pin terminals that are used generally for cartridge type brush-holders.



a) Round



b) Round with legs

#### Key

$D_T$  terminal diameter

$L_T$  terminal length

[SOURCE: IEC 60276:2018 – item 407 – dimensions added]

**Figure 27 – Definition of shape (examples) and dimensions of two types of pin terminals**

The shape and the dimensions shall be agreed between the user and the manufacturer.

### 7.2.7 Current capacity of terminals

In order to prevent small terminals being used with large section flexibles or vice versa, it is desirable to determine the current capacity for each terminal.

Table 20 defines the current capacity recommended for terminals according to the screw diameter. Higher values may be used by agreement between manufacturer and user.

**Table 20 – Minimum values of current capacity for terminals**

| Nominal screw diameter                                                             | Current capacity <sup>a</sup> for<br>spade and flag<br>terminals | Current capacity <sup>a</sup> for<br>double shoe terminals |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| mm                                                                                 | A                                                                | A                                                          |
| 2,5                                                                                | 15                                                               | -                                                          |
| 4                                                                                  | 32                                                               | 64                                                         |
| 5                                                                                  | 50                                                               | 100                                                        |
| 6                                                                                  | 76                                                               | 120                                                        |
| 8                                                                                  | 100                                                              | 150                                                        |
| 10                                                                                 | 150                                                              | 240                                                        |
| <sup>a</sup> It corresponds to the maximum allowable current at continuous rating. |                                                                  |                                                            |

The current values given above correspond to the maximum section of one or several flexibles which can be fitted correctly to a given terminal.

The values of current relate to terminals with rolled or crimped shank. The values of current for tubular terminals (7.2.5) and soldered terminals (7.2.6) are not included in this document.

The use of the smallest terminal compatible with the maximum current value required is recommended as far as possible.

## **8 Test procedures for determining physical properties of brushes**

### **8.1 General**

After manufacturing the manufacturer shall control the main dimensions as covered in Clause 5 and the quality of the flexible connection, which is assessed by the control of the electrical resistance and the pull-out force of the brush-flexible connection.

A control report may be issued by the brush manufacturer upon request of the brush user. It shall specify that the measurement was in accordance with this document and any possible deviation from it.

It is up to the brush manufacturer to define the size of the sampling for the production quality control.

NOTE One method to define the number of items to be taken from a production lot according to the number of items of the considered lot is given in ISO 2859-1.

### **8.2 Measurement of electrical resistance of brush/flexible connection**

#### **8.2.1 General**

As explained in IEC 60773, electrical losses are linked to the total voltage drop of a brush, which is the sum of different voltages inside the brush from its terminal to the contact surface, in particular the flexible-brush body connection voltage drop  $U_f$ . The flexible-brush body connection resistance  $R_f$  is therefore important to be checked prior to the brush operation.

The test equipment is defined in 8.2.2.

The method described in 8.2.3 is recommended for quality control check after the brush manufacturing. It gives the relative connection resistance value to be compared with a specification, which is defined to ensure a proper brush operation.

It is up to the brush manufacturer to define the size of the sampling for the production quality control.

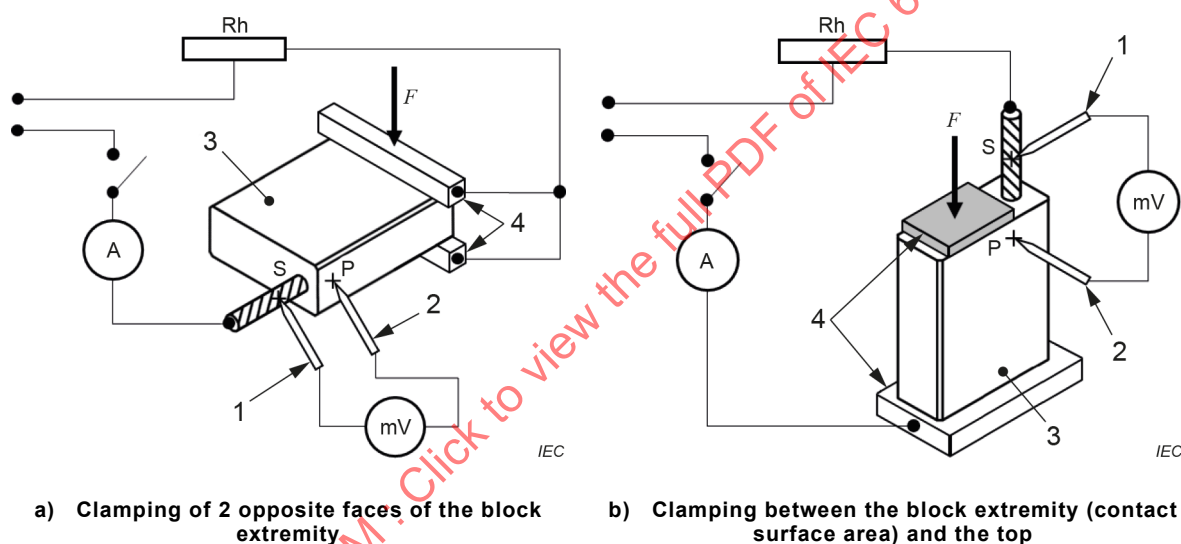
When it is intended to perform calculations of voltage drop afterwards (connection voltage drop  $U_f$  and/or total voltage drop  $U_B$ ), the mathematical method described in 8.2.4 shall be used since it precisely defines the location of the measurement on the brush block.

## 8.2.2 Test equipment

### 8.2.2.1 Principle

The method consists in passing a current inside the brush and measuring the voltage (therefore the resistance) between two points P and S located on both sides of the flexible-bush body connection.

The testing device shall conform to 8.2.2.2. Figure 28 illustrates 2 examples of arrangements of electric circuit and brush holding device.



#### Key

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| A   | ammeter (Ampere meter)                       |
| $F$ | clamping force applied by the holding device |
| mV  | millivoltmeter                               |
| P   | probe location on the brush                  |
| S   | probe location on the flexible               |
| Rh  | Rheostat (current adjusting resistor)        |
| 1   | probe 1                                      |
| 2   | probe 2                                      |
| 3   | brush                                        |
| 4   | brush block holding device                   |

NOTE In Subfigure b), the part in grey color is made of insulated material.

**Figure 28 – Examples of testing device for the measurement of the connection electrical resistance**

### 8.2.2.2 Testing device

The testing device shall include:

- A DC current source with a mean of measurement of the current, such as an ammeter.
- A holding device, such as a vice grip or a clamp, attached to the brush at its contact surface extremity and connected with one side of the current source, as shown in Figure 28.

It should assure electrical connection to the brush with as nearly as possible uniform distribution of the current in the cross-section  $t \times a$  of the brush. The contact pressure of the connection device should be sufficient so that no serious heating occurs.

- A suitable device to hold the brush flexible, such as a clip, connected to the other side of the source (not represented in Figure 28).

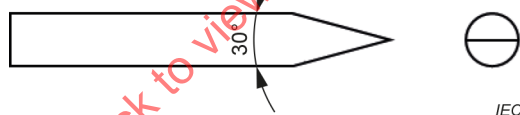
The pressure at the contact should not damage the flexible but should be sufficient so that there is no heating at this point.

- A switch for closing and opening the test circuit.
- A milliohmmeter or a millivoltmeter (see 8.2.2.5).
- 2 probes to measure a resistance or a voltage (see 8.2.2.3).

### 8.2.2.3 Probes equipment

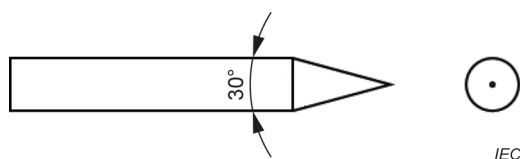
Probes are made of a conductive metal, such as copper or steel.

The probe to be applied onto the flexible, named Probe 1, could be a contact tip as described by Figure 29 or a clip. Whatever the probe is, the contact between the probe and the flexible shall be stiffed and stable.



**Figure 29 – Example of contact probe for flexible**

The probe to be applied onto the brush is conical shaped, as illustrated by Figure 30. The recommended cone angle is 30°.



**Figure 30 – Example of contact probe for brush**

Probe 2 should be firmly pressed against the brush block.

If the sides of the brush are coppered, the voltage probe should contact the brush 2 mm below the limit of coppering. The readings thus obtained will bear little or no relationship to those given on a non-coppered brush.

### 8.2.2.4 Current supply device

The source of current shall be able to provide a current which may be adjusted by any appropriate means, for example a rheostat, between 0 A and 100 A.

The ammeter shall have a maximum error of 2,5 % with suitable ranges for reading not less than 20 % of full scale.

NOTE Some current supply equipment with an integrated ammeter exist.

#### **8.2.2.5 Milliohmmeter or millivoltmeter**

The milliohmmeter shall have an accuracy of 2,5 % of less and suitable ranges for reading not less than 20 % of full scale.

The millivoltmeter shall have an internal resistance of at least 1 000  $\Omega/V$ , with an accuracy of 2,5 % of less and suitable ranges for reading not less than 20 % of full scale.

### **8.2.3 Test procedure**

#### **8.2.3.1 General requirements**

This method is useful in determining relative values of connection resistance from brush to brush. The absolute value will be affected by brush grade resistance and brush configuration.

The method is valid for brushes with several flexibles providing they are separated. If the flexibles are united in the same terminal, they should be separated so that they may be supplied with current individually. This test is normally be carried out by manufacturers before fitting the terminal.

Before testing, the brush shall be a clean, free from any oil, glue or other chemical substance.

To minimize heating of the brush / flexible connection which might influence the accuracy of the test, the test should be made within 30 s.

#### **8.2.3.2 Position S of Probe 1**

The location S of Probe 1 is always located on the flexible at a distance  $d_S$  of 5 mm from the connection point O.

#### **8.2.3.3 Position P of Probe 2**

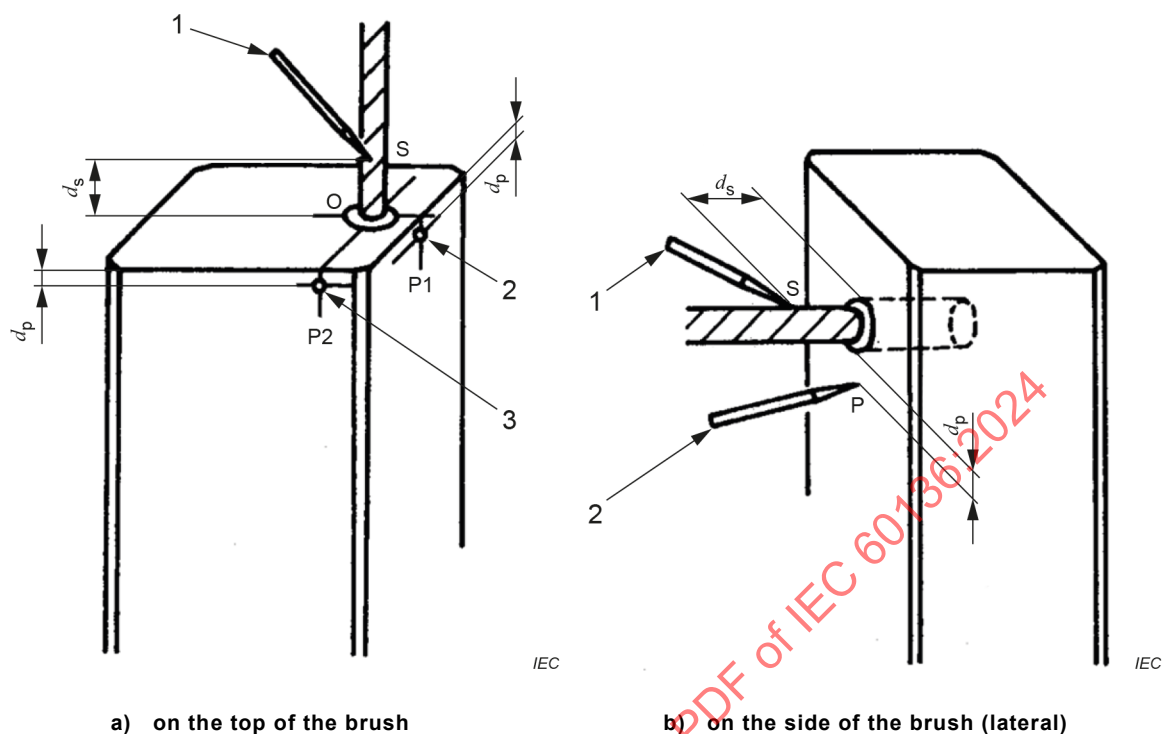
##### **8.2.3.3.1 General**

The position P of Probe 2 onto the brush block depends on the type of connection:

- moulded and tamped: see 8.2.3.3.2,
- riveted: see 8.2.3.3.3,
- soldered to a metal plate: see 8.2.3.3.4.

##### **8.2.3.3.2 Moulded or tamped connections**

P is located at a distance  $d_P$  of 2 mm from the top of the brush body and on the closest side to the flexible, as illustrated by Figure 31.

**Key**

- 1 probe 1 (placed at location S)
- 2 probe 2 – position 1 (at location P1 or P)
- 3 probe 2 – position 2 (at location P2)

**Figure 31 – Measurement of connection resistance for a moulded or tamped connection****EXAMPLE**

In Figure 31, two positions are possible, marked as P1 and P2. The distance between location O and the side corresponding to each position (along the plane that is perpendicular to the centre line) is smaller for location P1 than for location P2. Therefore, the connection resistance will be measured between S and P1 because it will give the lowest value.

If the distance  $d_p$  is different than 2 mm it shall be notified in the test report.

For a better accuracy the probe could be located at the point giving the lowest value of resistance. A practical method is given in 8.2.4.

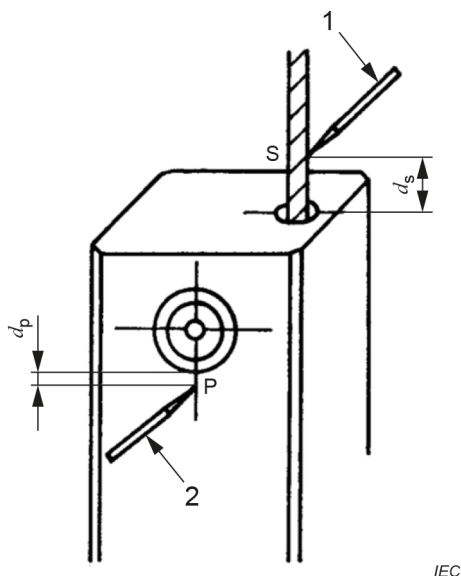
**8.2.3.3.3 Riveted connections**

P is located on the side of the brush where the head of the rivet is in direct contact with the flexible.

**a) Single rivet:**

Location P shall be at a distance  $d_p$  of 2 mm from the rivet, along the centre line direction of the brush, as illustrated by Figure 32.

If the distance  $d_p$  is different than 2 mm it shall be notified in the test report.



**Key**

- 1 probe 1 (placed at location S)
- 2 probe 2 (at location P)

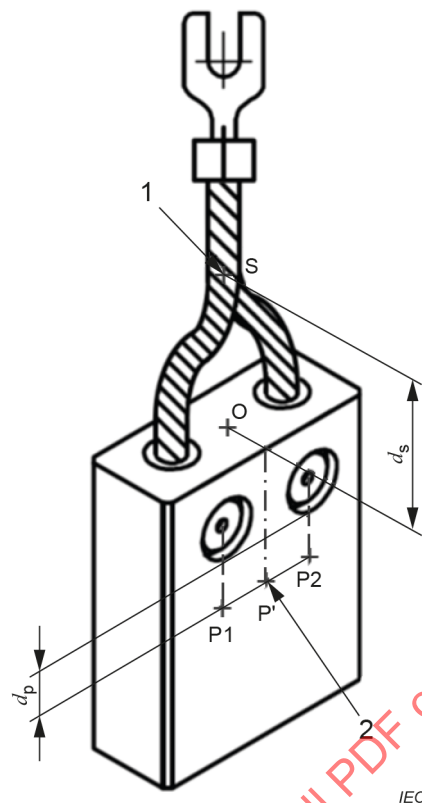
**Figure 32 – Measurement of connection resistance for a riveted connection**

NOTE 1 When another distance  $d_p$  of probe 2 is used, for example 10 mm, the measurements results may differ from the mandatory position. Therefore, they will be used only for comparison between different batches of carbon brushes.

**b) Two rivets (or more):**

When there is more than one rivet on a same brush, the measurement is done on each rivet according to method a) specified above.

Another method may be used as an alternative when there are two rivets on the same brush wafer, as shown in Figure 33.

**Key**

- 1 probe 1 (placed at location S)
- 2 probe 2 (at location P')
- P1, P2 reference location of respectively the first, the second rivet
- P' reference location at the middle distance between P1 and P2

**Figure 33 – Alternative method for the measurement of connection resistance in case of 2 rivets**

With this alternative method:

- the probe 1 is located on the 2 flexibles joined together,
- the probe 2 is located at location P' which is at the centre of the brush body face, between the 2 rivets reference location P1 and P2, at a distance  $d_p$  of 3 mm.

As a consequence, the average resistance of the 2 riveted connections is measured.

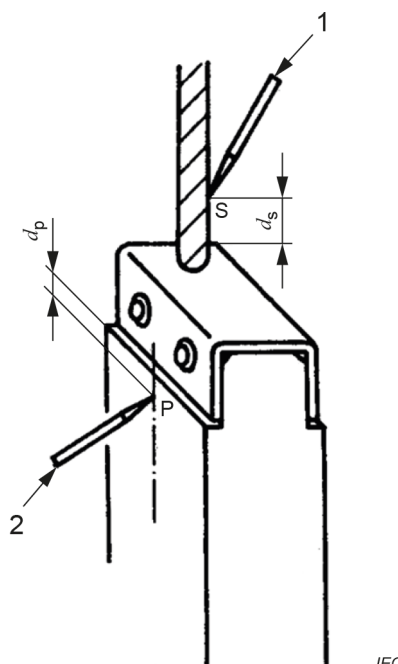
When this alternative method is used it shall be stated in the report.

NOTE 2 Alternative method may be useful for a faster measurement, nevertheless, it would not permit to see if there is any discrepancy between the two rivets.

#### 8.2.3.3.4 Metal top connection

When the flexible is connected to the block through an intermediate component, generally a metal top, which is soldered or riveted to the block, the location P of Probe 2 is at a distance  $d_p$  of 2 mm from the lowest limit of the metal top, as illustrated by Figure 34.

If the distance  $d_p$  is different than 2 mm it shall be notified in the test report.



**Key**

- 1 probe 1 (placed at location S)
- 2 probe 2 (at location P)

**Figure 34 – Connection with a metal top soldered or riveted to the block**

When a metal top is surrounding the head of the brush and the flexible is connected by tamping, the Probe 2 cannot be positioned as described in 8.2.3.3.1. For such case, the location of point P shall be in accordance with this Subclause 8.2.3.3.4.

**8.2.3.4 Procedure**

The procedure is specified for each brush-flexible connection and done in the following order.

- a) The switch being off, fix the brush onto the test equipment and attach the flexible to the connecting device according to 8.2.2.1 (see also Figure 28).
- b) Select the current: it shall be the nominal continuous rating of the flexible, selected according to Table 13.
- c) Place the two voltage probes connected to the millivoltmeter as follows:
  - Probe 1 is applied at location S onto the flexible, at a distance  $d_s$  according to 8.2.3.2.
  - Probe 2 is applied onto the brush at a position P as specified in 8.2.3.3, upon the type of connection.
- d) Pass the current through the test circuit by commutating the switch.
- e) Select suitable scales on ammeter and millivoltmeter so that readings of not less than 20 % of full-scale deflection and not more than 90 % of the full scale are obtained.
- f) Read the value on the millivoltmeter and record it as  $U_p$ . If a milliohm-meter is applied the resistance value  $R_f$  will be directly recorded.

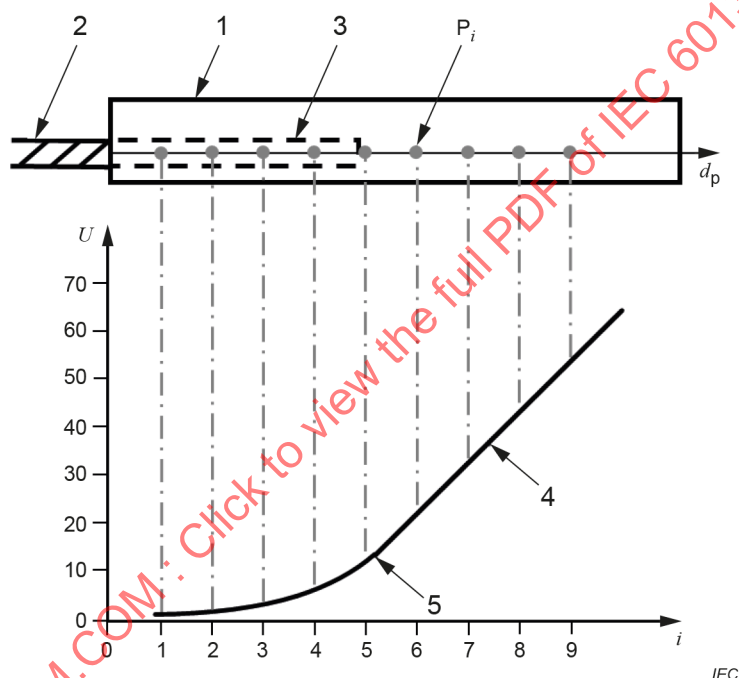
#### 8.2.4 Test procedure for method b) (mathematical)

For a better accuracy, the exact location P of Probe 2 for a given brush design should be determined by the following method.

The procedure 8.2.3.4 is repeated with increment  $i$  at different location point  $P_i$ , as specified on the top part of Figure 35. The corresponding distance  $d_{P_i}$  and the voltage  $U_{P_i}$  measured at each point  $P_i$  are reported together and plotted on the graph shown on the lower part of Figure 35.

Part 4 of the curve is a straight line, which slope is determined by the resistivity of the brush block grade and its cross-section. Point 5 is the smallest voltage value of part 4 and corresponds to the location of the extremity of the flexible insertion inside the brush block.

The distance between two increments will influence the accuracy of the determination of the location of the flexible insertion extremity.



#### Key

- 1 brush body
- 2 flexible
- 3 extremity of flexible inside the brush body
- 4 linear part
- 5 lowest point of linear part
- $U$  voltage drop between the probes, in mV
- $i$  number of increment from brush top
- $P_i$  location of the probe at increment  $i$
- $d_p$  distance from the probe's location P to the top

**Figure 35 – Iterated determination of location P of Probe 2**

### 8.2.5 Calculation and report

When a milliohmmeter is used, the resistance of the brush/flexible connection  $R_f$ , is directly obtained.

When a millivoltmeter is used, the resistance of the brush/flexible connection  $R_f$ , expressed in  $m\Omega$ , is calculated by means of Formula (6).

$$R_f = \frac{U_f}{I} \quad (6)$$

where:

$U_f$  is the voltage drop between the two probes, in mV;

$I$  is the current applied, in A.

It has to be noted that the expected accuracy cannot be less than  $\pm 20\%$ .

The value of  $R_f$  measured on each brush of the sampling shall be reported together with the average and minimum / maximum values, and indication of the reference number of this document (i.e., IEC 60136).

## 8.3 Measurement of the pull strength of tamped or moulded connections

### 8.3.1 General

This measurement refers only to brushes with tamped or moulded connections (and not to brushes with riveted or soldered connections).

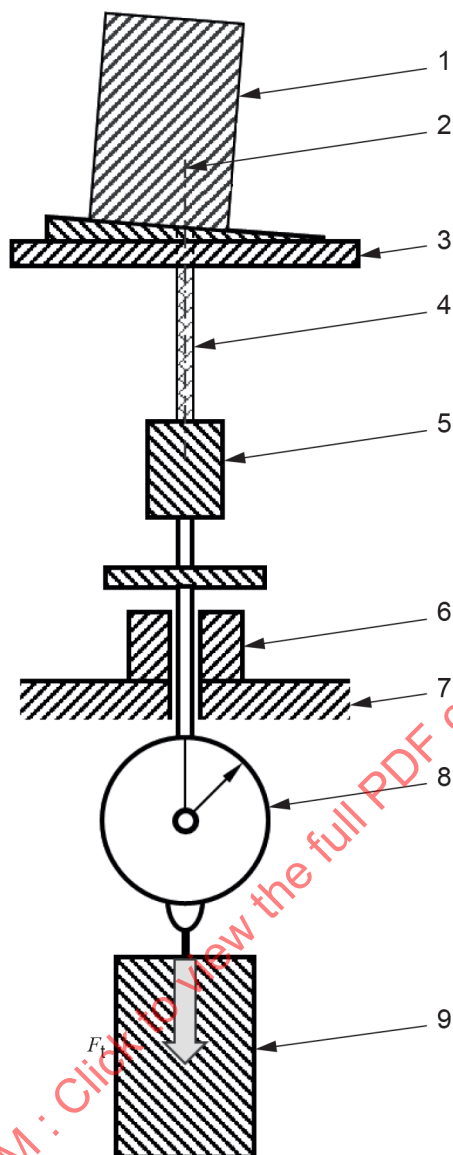
### 8.3.2 Principle

It consists of pulling out the flexible from the brush body while the extremity of the flexible and the brush body are secured by the mean of fastening devices. The pull shall be applied in the direction of the axis of the flexible insertion.

### 8.3.3 Test equipment

#### 8.3.3.1 Principle

The test equipment is schematically shown in Figure 36, and comprises the devices specified in the following subclauses.



IEC

**Key**

- 1 brush
  - 2 axis of the connection
  - 3 support of the brush
  - 4 flexible
  - 5 device for fastening the flexible
  - 6 damping device
  - 7 limiting device (stop)
  - 8 dynamometer
  - 9 pulling device
- $F_f$  connection pull strength

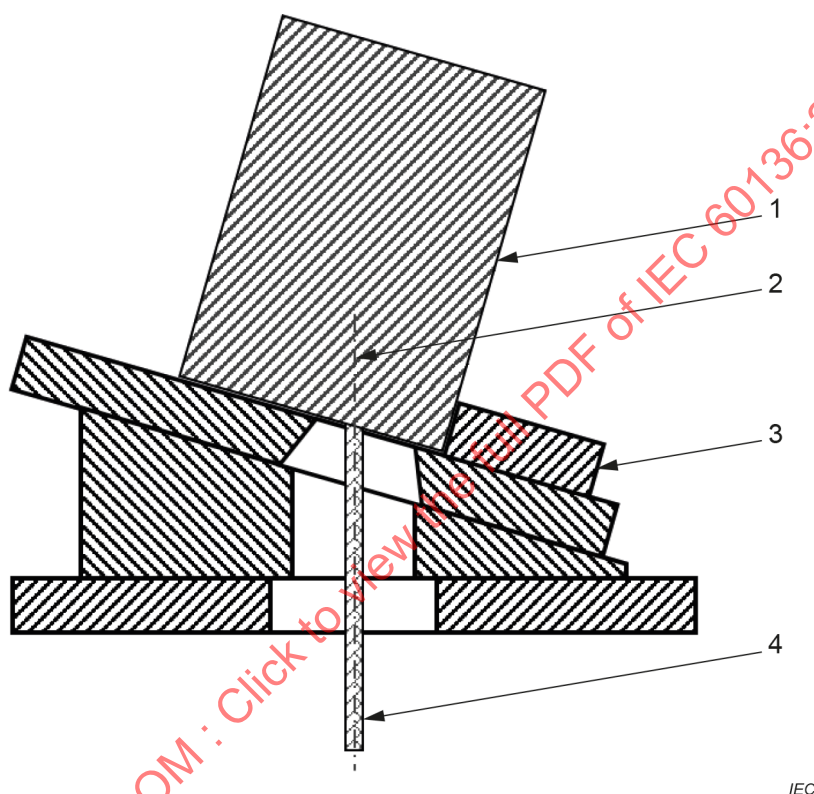
**Figure 36 – Test equipment for the measurement of the pull out force**

### 8.3.3.2 Brush support

The support shall be arranged to position the brush so that:

- the direction of the tensile force coincides with the axis of the connection hole; in other words, it shall take into account the shape of the brush and the angle of the connection,
- it should be capable of holding the brush without slipping,
- the surface shall have a hole through which the flexible can be arranged centrally and at no point overlap the connection hole.

Figure 37 shows an example of such support.



#### Key

- 1 brush
- 2 axis of the connection
- 3 support of the brush
- 4 flexible

**Figure 37 – Example of support device for brushes with inclined connection hole**

### 8.3.3.3 Flexible fastening device

The fastening device shall be capable of connecting the flexible of the brush to be tested to the tension device without damaging it.

### 8.3.3.4 Shock limiting device

It is recommended to integrate a dashpot or any other device limiting the shock at the moment of failure. This device should be inoperative until the connection has failed. A damping device may be added to absorb part of the shock.

### 8.3.3.5 Tension device

The tension device shall be such that the tensile force can be applied at a uniform rate without shock. The maximum rate of increase should be 0,5 N/s.

The measuring device for the pull strength shall be capable of indicating the maximum force produced during the test with a maximum error of 2,5 %.

The tension device shall be strong enough so as not to be damaged by the sudden unloading at the moment of failure of the connection.

### 8.3.4 Test procedure

The procedure is carried out in the following order.

- a) Place a suitable support on the measuring device according to 8.3.3.2. Pass the flexible through the hole and make sure that the edges of this hole do not cover the connection hole.
- b) Connect the flexible to the fastening device described in 8.3.3.3.
- c) Apply the tensile force at a uniform rate without shock, so that the connection fails in not less than 5 s after the force is first applied.
- d) After the failure of the connection, read the indicated maximum force on the measuring device. This force corresponds to the pull strength  $F_f$  of the connection.

Brushes which have been subjected to the connection pull test should not be put into service.

### 8.3.5 Calculation and report

The pull strength of the connection  $F_f$  shall be reported in N.

Of course, when the measuring device measures a force in kgF, the measured value shall be multiplied by the gravitational acceleration, which is approximatively 9,81 m/s<sup>2</sup>, to obtain values in N.

The value of  $F_f$  measured on each brush of the sampling shall be reported together with the average and minimum value, and indication of the reference number of this document (i.e., IEC 60136).

## 9 Brush-holder dimensions and configuration

### 9.1 General

The definitions of the terms applied in this Clause 9 are specified in IEC 60560. This Clause 9 specifies dimensions of the brush-holders (and their measurement method) that are linked to the operation of the brushes in the machine.

### 9.2 Dimensions of the inside of the brush-box

#### 9.2.1 Main dimensions

The brush-holder box inner dimensions are expressed by their nominal value and shall be selected from the values given in Table 2.

#### 9.2.2 Tolerances and clearances on brush-box $t$ and $a$

As the role of the brush box is to guide the brush along its radial dimension, a clearance exists between their respective main dimensions  $t$  and  $a$ : brush dimensions are lower than their nominal values (negative tolerances) and brush boxes are wider (positive tolerances).

The tolerances for the brush boxes shall be within tolerance E10 according to ISO 286-2. The corresponding clearances between the brush box and the brush are specified in Table 21.

The tolerance values for the dimensions shown in Table 21 are mainly for use with radial brushes.

**Table 21 – Tolerances on brush box dimensions and clearances**

| Brush dimension $t$<br>or $a$      | Clearance between brush box and brush |       |
|------------------------------------|---------------------------------------|-------|
|                                    | Lower                                 | Upper |
| $\leq 2,5$                         | 0,044                                 | 0,144 |
| $2,5 < (t \text{ or } a) \leq 3,2$ | 0,050                                 | 0,158 |
| $3,2 < (t \text{ or } a) \leq 5$   | 0,050                                 | 0,178 |
| $5 < (t \text{ or } a) \leq 10$    | 0,055                                 | 0,193 |
| $10 < (t \text{ or } a) \leq 16$   | 0,072                                 | 0,232 |
| $16 < (t \text{ or } a) \leq 25$   | 0,080                                 | 0,254 |
| $25 < (t \text{ or } a) \leq 50$   | 0,100                                 | 0,300 |
| $50 < (t \text{ or } a) \leq 80$   | 0,110                                 | 0,330 |

It is recognized that, under certain conditions (e.g. with reaction brush-holders) where the brush stability is less dependent on the fit of the brush in the holder, the maximum clearance between the brush and the brush-holder may be unimportant.

NOTE Some manufacturers express the inner dimensions of the brush box by the corresponding capital letter:  $T \times A$ .

### 9.2.3 Dimensions and tolerances on brush-box chamfer

Depending upon the method of manufacture, it is possible that the internal corners of a brush-box will not be sharp. In order that a brush which is chamfered, in accordance with 6.1, does not foul the internal corners of the brush-box, it is recommended that the depth of brush-box chamfers does not exceed a maximum value  $c_H$  specified in Table 22.

**Table 22 – Maximum value of the brush-box chamfer height  $c_H$**

| Dimensions in mm                                  |                        |
|---------------------------------------------------|------------------------|
| The smallest value between dimensions $t$ and $a$ | Maximum value of $c_H$ |
| $(t \text{ or } a) \leq 2$                        | 0,125                  |
| $2 < (t \text{ or } a) \leq 3,2$                  | 0,16                   |
| $3,2 < (t \text{ or } a) \leq 6,3$                | 0,32                   |
| $6,3 < (t \text{ or } a) \leq 8$                  | 0,40                   |
| $8 < (t \text{ or } a) \leq 20$                   | 0,63                   |
| $20 < (t \text{ or } a)$                          | 1,25                   |

### 9.3 Check of brush-box dimensions

#### 9.3.1 General

The brush-box internal dimensions shall be checked and confirmed according to the tolerances specified in 9.2.2 and 9.2.3 after its manufacturing.

Since during its lifetime the dimensions may increase due to a mechanical wear by abrasion it is recommended to control the dimensions periodically to ensure a proper operation of the brush.

In order to check the brush holder dimensions, full form "go" and "not go" plug gauges shall be used. Subclauses 9.3.2 and 9.3.3 specify a gauging test method for respectively the dimensions  $t$ ,  $a$  and chamfers  $c_H$  of the brush box.

#### 9.3.2 Gauging of dimensions $t$ and $a$

The internal dimensions of brush-boxes shall be checked with full form plug gauges, sufficiently relieved at the corners to clear the maximum permitted chamfers (see also 9.3.3), by one of the following methods:

a) Method with 3 gauges:

- 1) A full form  $t \times a$  "go" gauge should be used to check the minimum dimensions;
- 2) Individual  $t$  "not go" gauge to check the maximum  $t$  dimension, the width of which should be the nominal  $a$  dimension of the box;
- 3) Individual  $a$  "not go" gauge to check the maximum  $a$  dimension, the width of which should be the nominal  $t$  dimension of the box.

b) Method with 2 gauges:

- 1) The  $t$  dimension shall be checked with a "go and not go" plug gauge, the  $a$  dimension shall be set at its lowest tolerance.
- 2) The  $a$  dimension shall be checked with a "go and not go" plug gauge, the  $t$  dimension shall be set at its lowest tolerance.

#### 9.3.3 Gauging of chamfers

Brush-box chamfer dimensions shall be checked by a specific plug-gauge. The dimensions of the plug gauge shall conform to the nominal dimensions  $t$  and  $a$  of the brush. The chamfer height dimension of the plug gauge shall be equal to the chamfer height  $c_H$  specified in Table 22, except if there is any non-reversing chamfer for which the height shall be chosen from Table 6 (see 6.1.3).

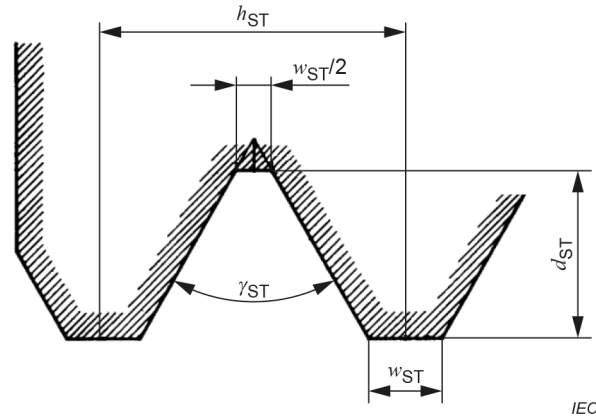
### 9.4 Serrations on fixing face of the brush-holder

#### 9.4.1 General

Where the radial adjustment of a brush-holder is controlled by the mating of serrations on the fixing face of the brush-holder with corresponding serrations of the brush-holder support, the tooth form and dimensions of the serrations, as well as their location relative to the box should be in accordance with 9.4.2 and 9.4.3.

#### 9.4.2 Profile and dimensions of serrations

The profile of serrations is specified in Figure 38, which is a cross-section of the fixing side.



**Key**

|               |                                  |
|---------------|----------------------------------|
| $\gamma_{ST}$ | angle between serrations / tooth |
| $d_{ST}$      | depth of tooth                   |
| $h_{ST}$      | pitch                            |
| $w_{ST}$      | width of tooth                   |

**Figure 38 – Profile of serrations – cross-sectional view**

The dimensions below should be applied; they correspond to an optimum fixation of the brush-holder onto its support, which is standardized:

- The angle between serrations  $\gamma_{ST}$  is  $60^\circ$ ,
- the pitch of serrations  $h_{ST}$  is 1 mm,
- the depth of tooth  $d_{ST}$  is 0,54 mm,
- the width of tooth  $w_{ST}$  is 0,25 mm.

If other dimensions are chosen, these shall be agreed between the brush-holder manufacturer and the user.

### 9.4.3 Location of serrations

In order that several brush-holders, fixed to a same brush-holder support, may be capable of being adjusted at the same distance from the surface of commutator or slip-ring, the position of the serrations in relation to the bottom of the brush box shall be in accordance with Figure 12 (see 3.1.15) and the nominal value of  $d_H$  shall be an integer.

The tolerance on the value of  $d_H$  is recommended to be  $\pm 0,2$  mm.

### 9.5 Brush-holder mounting position

For a rotating machine with a commutator (especially DC machine), the distance from the mounting interface of the brush-holder to the brush centre line in tangential direction,  $d_M$ , shall be chosen carefully with respect to the brush neutral line position.

The tolerance on  $d_M$  is  $\pm 0,1$  mm.

**NOTE** In the case of old machines, drawings can define the dimension  $d_M$  as  $e$ .

For all rotating machines, the radial distance from the bottom of the brush-holder box and the rotating surface (along the brush centre line) also has to be considered for a proper brush operation (good stability). Generally, it is recommended to set a distance of 2 mm to 3 mm. This distance may be adapted upon the final application of the machine.

## Annex A (normative)

### Equivalent dimensions in inches

Table A.1 through Table A.6 correspond with tables in the main body text of this document with values to be used for machines designed with imperial / inch system.

**Table A.1 – Standard dimensions and tolerances on brush  
dimensions  $t \times a \times r$  in inch system**

| Nominal dimension |              |               | Tolerances on <i>t</i> or <i>a</i> |              | Tolerances on <i>r</i> |
|-------------------|--------------|---------------|------------------------------------|--------------|------------------------|
| fractional in     | numerical in | equivalent mm | lower<br>mil                       | upper<br>mil | mil                    |
| 1/16              | 0,062 5      | 1,6           | -3,5                               | -1,2         | ±11,8                  |
| 3/32              | 0,09375      | 2,4           |                                    |              |                        |
| 1/8               | 0,125        | 3,2           |                                    |              |                        |
| 3/16              | 0,1875       | 4,8           | -4,3                               | -1,2         | ±11,8                  |
| 1/4               | 0,25         | 6,3           |                                    |              |                        |
| 5/16              | 0,3125       | 8             |                                    |              |                        |
| 3/8               | 0,375        | 9,5           |                                    |              |                        |
| 7/16              | 0,4375       | 11,1          | -5,1                               | -1,6         | ±19,7                  |
| 1/2               | 0,5          | 12,7          |                                    |              |                        |
| 5/8               | 0,625        | 16            |                                    |              |                        |
| 3/4               | 0,75         | 19            |                                    |              |                        |
| 7/8               | 0,875        | 22,2          |                                    |              |                        |
| 1                 | 1            | 25,4          |                                    |              |                        |
| 1 1/4             | 1,25         | 31,8          | -5,9                               | -1,95        | ±31,5                  |
| 1 1/2             | 1,5          | 38,1          |                                    |              |                        |
| 1 3/4             | 1,75         | 44,5          |                                    |              |                        |
| 2                 | 2            | 50,8          |                                    |              |                        |
| 2 1/4             | 2,25         | 57,2          | -                                  | -            | ±40                    |
| 2 1/2             | 2,5          | 63,5          |                                    |              |                        |
| 2 3/4             | 2,75         | 69,9          |                                    |              |                        |
| 3                 | 3            | 76,2          |                                    |              |                        |
| 4                 | 4            | 101,6         |                                    |              |                        |
| 5                 | 5            | 127           |                                    |              |                        |

NOTE It corresponds to Table 3.

**Table A.2 – Nominal and maximum dimensions of chamfer height  $c$  to be used in inch system**

Dimensions in inches

| The smallest value between dimensions $t$ and $a$ | Values of $c$     |           |         |
|---------------------------------------------------|-------------------|-----------|---------|
|                                                   | Nominal (minimum) | Tolerance | Maximum |
| $(t \text{ or } a) \leq 1/8$                      | 0,004             | + 0,012   | 0,016   |
| $1/8 < (t \text{ or } a) \leq 1/4$                | 0,01              | + 0,012   | 0,024   |
| $1/4 < (t \text{ or } a) \leq 5/16$               | 0,02              | + 0,012   | 0,032   |
| $5/16 < (t \text{ or } a) \leq 3/4$               | 0,04              | + 0,02    | 0,06    |
| $7/8 < (t \text{ or } a)$                         | 0,08              | + 0,02    | 0,1     |
| NOTE It corresponds to Table 6.                   |                   |           |         |

**Table A.3 – Recommended minimum value of  $w_p$  to be used in inch system**

Dimensions in inches

| Dimension $t$ or $a$            | Minimum value of $w_p$ |
|---------------------------------|------------------------|
| 7/16 (0,437 5)                  | 3/16 (0,188)           |
| 1/2 (0,5)                       | 7/32 (0,219)           |
| 5/8 (0,625)                     | 1/4 (0,25)             |
| 3/4 (0,75)                      | 5/16 (0,313)           |
| 7/8 (0,875)                     | 11/32 (0,344)          |
| 1                               | 1/2 (0,5)              |
| 1 1/4 (1,25)                    | 5/8 (0,625)            |
| 1 1/2 (1,5)                     | 7/8 (0,875)            |
| 1 3/4 (1,75)                    | 3/4 (0,75)             |
| 2                               | 1                      |
| NOTE It corresponds to Table 9. |                        |

**Table A.4 – Maximum values of depth of insertion  $q_i$**

Dimensions in inches

| Flexible diameter $D_s$                                                                         | Approximate diameter | Recommended maximum value of $q_i$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| in                                                                                              | mm                   | in                                 |
| 0,040                                                                                           | 1                    | 0,24                               |
| 0,052                                                                                           | 1,3                  | 0,31                               |
| 0,067                                                                                           | 1,7                  | 0,35                               |
| 0,086                                                                                           | 2,2                  | 0,44                               |
| 0,102                                                                                           | 2,6                  | 0,50                               |
| 0,130                                                                                           | 3,3                  | 0,55                               |
| 0,140                                                                                           | 3,6                  | 0,60                               |
| 0,166                                                                                           | 4,2                  | 0,63                               |
| 0,188                                                                                           | 4,8                  | 0,67                               |
| 0,204                                                                                           | 5,2                  | 0,75                               |
| NOTE It corresponds to Table 10 and has been adapted to flexibles that are generally available. |                      |                                    |

**Table A.5 – Recommended nominal area for flexibles (shunts) and their corresponding maximum diameter**

| Nominal current per flexible <sup>a</sup> | Nominal area <sup>b</sup> | Maximum diameter $D_s$ <sup>b</sup> |
|-------------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| A                                         | mil <sup>2</sup>          | in                                  |
| 7                                         | 387                       | 0,039                               |
| 9                                         | 775                       | 0,051                               |
| 12                                        | 1 162                     | 0,063                               |
| 15                                        | 1 550                     | 0,071                               |
| 17,5                                      | 1 937                     | 0,079                               |
| 20                                        | 2 325                     | 0,087                               |
| 24                                        | 3 100                     | 0,094                               |
| 28                                        | 3 875                     | 0,106                               |
| 32                                        | 4 960                     | 0,118                               |
| 38                                        | 6 200                     | 0,13                                |
| 44                                        | 7 750                     | 0,146                               |
| 50                                        | 9 300                     | 0,165                               |
| 60                                        | 12 400                    | 0,185                               |
| 75                                        | 15 500                    | 0,209                               |
| 85                                        | 19 375                    | 0,232                               |
| 100                                       | 24 800                    | 0,264                               |

<sup>a</sup> It corresponds to a continuous current (and not a maximum) for which the properties of the flexible are not altered.

<sup>b</sup> This value is calculated and it is possible that it will not match the values of existing flexibles.

NOTE This table corresponds to Table 13.

**Table A.6 – Standard lengths of flexibles  $l_s$  and tolerances**

Dimensions in inches

| Nominal value of $l_s$                                               | Tolerances |               |
|----------------------------------------------------------------------|------------|---------------|
|                                                                      | Lower      | Upper         |
| 5/8 (0,625)<br>1<br>1 1/4 (1,25)<br>1 1/2 (1,5)<br>2<br>2 1/4 (2,25) | 0          | +1/8 (+0,125) |
| 2 1/2 (2,5)<br>3<br>3 1/2 (3,5)<br>4<br>4 1/2 (4,5)                  | 0          | +1/4 (+0,25)  |
| 5<br>5 1/2 (5,5)<br>6<br>6 1/2 (6,5)                                 | 0          | +3/8 (+0,375) |

NOTE It corresponds to Table 14.

## Annex B

(normative)

### Values of the principal dimensions of metal-graphite brushes

As specified in 5.3.3, the tolerances on brushes made of a metal-graphite grade should be increased to respect a proper clearance in operation.

Upper limit and lower limit tolerance should be selected from ISO code c11 according to ISO 286-2 or, if the grade is subjected to a high swelling, from Table B.1.

**Table B.1 –  $t \times a \times r$  tolerances and clearance for metal graphite grades**

Dimensions in mm

| Nominal dimension $t$ or $a$ | Tolerances on $t$ or $a$ |       | Clearance with the brush-holder box |       |
|------------------------------|--------------------------|-------|-------------------------------------|-------|
|                              | Lower                    | Upper | Lower                               | Upper |
| 1,6<br>2<br>2,5              | –0,06                    | –0,12 | 0,074                               | 0,174 |
| 3,2<br>4<br>5                | –0,07                    | –0,15 | 0,090                               | 0,218 |
| 6,3<br>8<br>10               | –0,08                    | –0,17 | 0,105                               | 0,253 |
| 12,5<br>16                   | –0,15                    | –0,26 | 0,182                               | 0,362 |
| 20<br>25                     | –0,16                    | –0,29 | 0,200                               | 0,414 |
| 32<br>40                     | –0,17                    | –0,33 | 0,220                               | 0,480 |
| 50                           | –0,18                    | –0,34 | 0,230                               | 0,490 |
| 64                           | –0,19                    | –0,38 | 0,250                               | 0,560 |
| 80                           | –0,20                    | –0,39 | 0,260                               | 0,570 |

## Annex C (informative)

### Considerations relative to brush stability

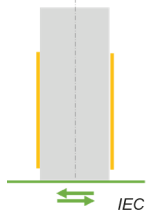
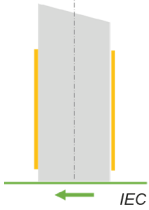
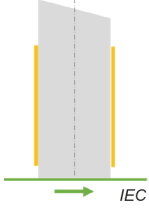
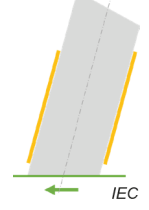
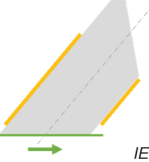
#### C.1 General

This Annex C explains the brush mechanical contact stability, from the viewpoints of top and contact bevel angles (see 6.2.3), for a satisfactory brush operation. It applies to different brush-holder types that are widely used.

As specified in IEC 60276:2018, the brush may operate with different configurations onto the rotating surface, depending on a contact angle  $\alpha$ : radial (107), trailing (109) or reaction (108). A top bevel angle  $\beta$  may also be added: positive (111) or negative (112).

Table C.1 summarizes the different mechanical configurations that are discussed in the following subclauses.

**Table C.1 – Overview of the different mechanical configurations (bevel angles) in operation**

| Reference clause | Configuration                                                                                                                                         | Schematic figure                                                                      |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| C.2              | Radial brush ( $\alpha = 0$ ) without top bevel angle ( $\beta = 0$ ), operating in bidirectional operation (forward and backward rotation direction) |  |
| C.3              | Radial brush ( $\alpha = 0$ ) with top bevel angle ( $\beta > 0$ ), operating in the forward rotation direction                                       |  |
| C.4              | Radial brush ( $\alpha = 0$ ) with top bevel angle ( $\beta < 0$ ) operating in the backward rotation direction                                       |  |
| C.5              | Trailing brush ( $\alpha < 0$ )                                                                                                                       |  |
| C.6              | Reaction brush ( $\alpha > 0$ ) with top bevel angle ( $\beta \neq 0$ )                                                                               |  |

For each configuration, the mechanical contact stability is determined by the comparison between the rotational moments:

- the stabilizing rotational moment,  $M_s$ , linked particularly to the tangential component of the force applied by the pressure system;
- the unstable rotational moment,  $M_u$ , which is determined from the friction force.

From any formula of the stability condition, the critical dimensions of the brush may be determined: allowable brush length, contact bevel angle and top bevel angle.

In the figures and formulas of this Annex C, the following symbols and definitions apply:

- $F_p$  force (from the pressure system) applied onto the brush top,
- $F_r$  radial component of brush top applied force  $F_p$ ,
- $F_t$  tangential component of brush top applied force  $F_p$ ,
- $F_a$  component of  $F_p$  along the axis parallel to the centre line,
- $F_b$  component of  $F_p$  perpendicular to the brush centre line,
- $F_\mu$  friction force applied onto the brush sliding surface,
- $M_s$  stability moment,
- $M_u$  instability moment,
- $\delta$  distance from the location of the pressure force application to the brush centre line,
- $\mu_{\max}$  assumed maximum friction coefficient at satisfactory brush operation,
- $\omega$  rotating direction.

NOTE The friction coefficient  $\mu$  is relative to the brush grade and can be determined by tests according to IEC 60773:2021. As it is dependent on operational parameters, in particular humidity (it increases in a dry atmosphere and decreases in a wet atmosphere) and peripheral speed, only the maximum value is considered in this Annex C.

## C.2 Radial brush without top bevel angle operating in bidirectional rotation

This configuration means that angles  $\alpha$  and  $\beta$  are equal to zero, as illustrated by Figure C.1.

According to Figure C.1, the stabilizing rotational moment is:

$$M_s = F_p \times t/2 \quad (C.1)$$

In addition, the friction force is:

$$F_\mu = \mu_{\max} \times F_p \quad (C.2)$$

Then, the unstable rotational moment is:

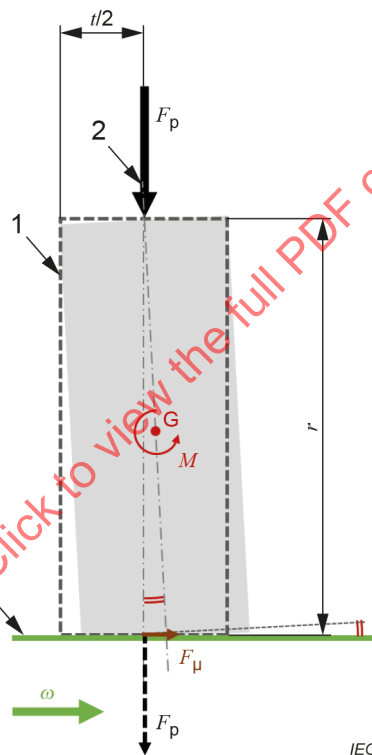
$$M_u = F_\mu \times r = \mu_{\max} \times F_p \times r \quad (C.3)$$

For the mechanical contact stability, the stability moment shall be superior to the instability moment. This means that the required condition in Formula (C.4), derived from Formula (C.1) and Formula (C.3), is:

$$F_p \times t/2 > \mu_{\max} \times F_p \times r \quad (\text{C.4})$$

Therefore, the allowable maximum brush length  $r$  can be determined by the following Formula (C.5):

$$r < \mu_{\max} \times t/2 \quad (\text{C.5})$$



#### Key

- 1 brush
- 2 brush centre line
- 3 rotating surface
- G gravity centre of the brush

NOTE This figure shows at the same time the brush with its initial condition (without rotation), with dash lines, and the brush in operation (with rotation), with solid lines and grey background.

**Figure C.1 – Illustration of rotational moments for a radial brush**

#### EXAMPLE

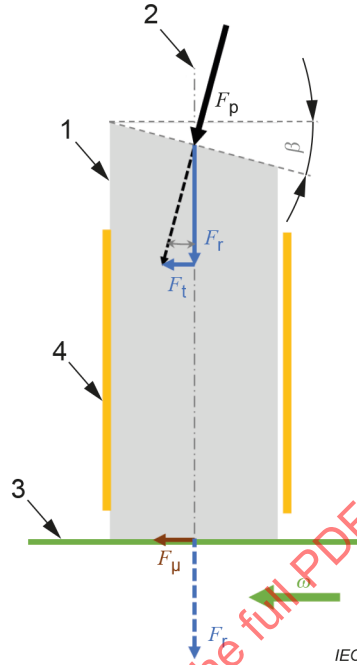
For a brush made from an EG grade with a maximum friction coefficient  $\mu_{\max}$  of 0,2 and having a dimension  $t$  of 40 mm, the maximum allowable radial dimension calculated from Formula (C.5) is 100 mm.

For non-reversing machines (operating forward as shown in Figure C.1), when the brush dimension ratio  $t / r$  can exceed the value of  $\mu_{\max}$ , the location of the application of the pressure system may be shifted to a distance  $\delta$  in forward direction to limit the brush inclination.

NOTE When a shift  $\delta$  is applied as explained above, the term  $t/2$  in Formula (C.5) is replaced by the term  $(\delta + t/2)$ .

### C.3 Radial brush with top bevel angle operating in the forward direction

In this configuration, the top bevel angle  $\beta$  is positive, as illustrated by Figure C.2.



#### Key

- 1 brush
- 2 brush centre line
- 3 rotating surface
- 4 brush-holder box wall

**Figure C.2 – Illustration of forces applied on a radial brush with top bevel angle operating in the forward rotation**

With a top bevel angle  $\beta$ , the radial and tangential components of the force applied by the pressure system onto the brush top, respectively  $F_r$  and  $F_t$  are defined as per Formula (C.6):

$$F_r = F_p \times \cos \beta \quad \text{and} \quad F_t = F_p \times \sin \beta \quad (\text{C.6})$$

On the other hand, the friction force applied at the contact surface,  $F_\mu$ , is now defined as per Formula (C.7):

$$F_\mu = \mu_{\max} \times F_r = \mu_{\max} \times F_p \times \cos \beta \quad (\text{C.7})$$

To avoid the brush rotation the forces,  $F_t$  and  $F_\mu$  shall be equilibrated ( $F_t \approx F_\mu$ ).

Then, applying this condition to Formula (C.6) and Formula (C.7), the following condition Formula (C.8) is obtained:

$$\tan\beta \leq \mu_{\max} \quad (\text{C.8})$$

In addition, the value of  $F_t$  shall be limited because it may induce an instability of the top, in particular when the brush is new. Therefore, it may be necessary to consider the second condition in Formula (C.9):

$$\tan\beta \leq \mu_{\max} \quad (\text{C.9})$$

The condition in Formula (C.9) explains why the value of angle  $\beta$  shall be limited. In general, the value of  $\mu_{\max}$  is about 0,2 – 0,3, and thus an angle between 7,5° and 15° is applied (see Table 8). In some specific cases, for instance a high friction due to the grade or environmental conditions, it could be up to 20°.

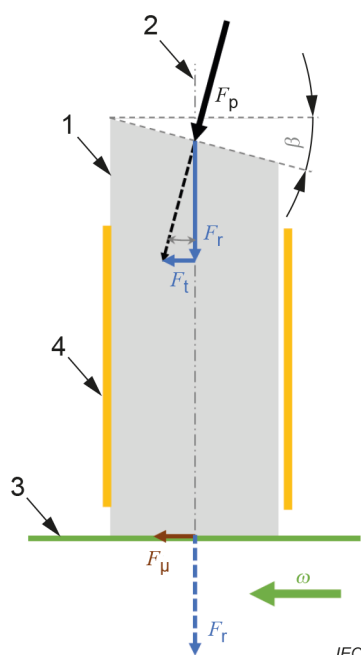
#### EXAMPLE:

With an angle  $\beta$  of 20°, the value of  $\tan\beta$  is 0,36, which is higher than the standard value of 0,3 for  $\mu_{\max}$  (typically for an EG grade). When  $\beta$  is 15°, then  $\tan\beta$  is 0,27, which is acceptable.

As a conclusion, when the rotational direction is the same as the direction of the tangential component of the pressure system force, both the tangential component of the pressure system force ( $F_t$ ) and the friction force ( $F_\mu$ ) can realize a strong contact of the brush face onto the brush-box inner side-wall, which will contribute to a rigid and stable contact of brushes onto commutator or slip-ring.

#### C.4 Radial brush with top bevel angle operating in the reverse direction

In this configuration the top bevel angle  $\beta$  is negative and the friction force as shown in Figure C.2 is reversed, as illustrated by Figure C.3.



**Key**

- 1 brush
- 2 brush centre line
- 3 rotating surface
- 4 brush-holder box wall
- $\beta$  brush top bevel angle

**Figure C.3 – Illustration of forces applied on a radial brush with top bevel angle operating in the reverse direction**

With this configuration, for the brush stability, it is required that  $F_t$  be far larger than  $F_\mu$ , which implies that Formula (C.10) shall be fulfilled:

$$\tan \beta \gg \mu_{\max} \quad (\text{C.10})$$

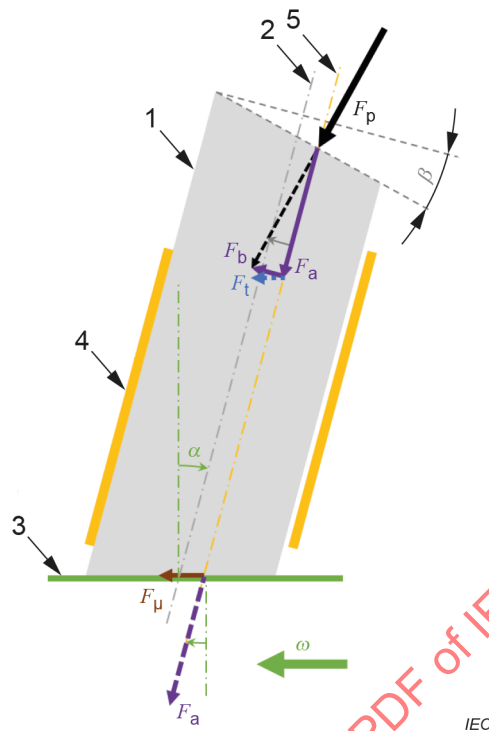
Formula (C.10) is valid when angle  $\beta$  is largely over  $20^\circ$  ( $\tan 20^\circ = 0,36$ ).

## C.5 Trailing type brushes

A trailing brush is defined according to IEC 60276 by a negative contact angle  $\alpha$ , (its direction is opposed to the direction of rotation). This angle is typically between  $7,5^\circ$  and  $20^\circ$ .

Generally, a positive top bevel angle  $\beta$  is added.

For trailing brushes, illustrated in Figure C.4, considerations relative to the brush mechanical contact stability are almost the same as in Clause C.3, that is to say the tangential component of the spring force  $F_t$  shall be almost equal to the friction force  $F_\mu$ .

**Key**

- 1 brush
- 2 brush centre line
- 3 rotating surface
- 4 brush-holder box wall
- 5 axis of spring application pressure parallel to the brush centre line

**Figure C.4 – Illustration of forces applied on a trailing brush with a top bevel angle operating in the forward direction**

The components of the pressure system force along and perpendicular to the centre line of the brush are respectively

$$F_a = F_p \times \cos \beta \quad (\text{C.11})$$

$$F_b = F_p \times \sin \beta \quad (\text{C.12})$$

The friction force  $F_\mu$  is determined by Formula (C.13):

$$F_\mu = \mu_{\max} \times F_r = \mu_{\max} \times F_a \times \cos \alpha \quad (\text{C.13})$$

The tangential component force of the force applied by the pressure system applied on the brush top is given by Formula (C.14).

$$F_t = F_b \times \cos \alpha \quad (\text{C.14})$$

When substituting  $F_b$  thanks to the combined Formulae (C.11) and (C.12), Formula (C.15) is obtained:

$$F_t = F_a \times \tan \beta \times \cos \alpha \quad (\text{C.15})$$

Then, the condition of stability  $F_t \approx F_\mu$  shall be applied. With Formulae (C.13) and (C.15) the same Formula (C.8) is finally obtained, as in Clause C.3.

This is why, in general, we add a positive top bevel angle  $\beta$  with a value comparable to the value of  $\alpha$ , between  $7,5^\circ$  and  $15^\circ$ . In addition, the force  $F_b$  contributes to the stability by pressing the brush onto the inner wall of the brush box (on the side of entering edge).

NOTE Despite above considerations on angle  $\beta$ , when the contact angle  $\alpha$  is small ( $\leq 8^\circ$ ), sometimes no top bevel angle is applied. For such case the choice of spring pressure type and position can be important for brush stability.

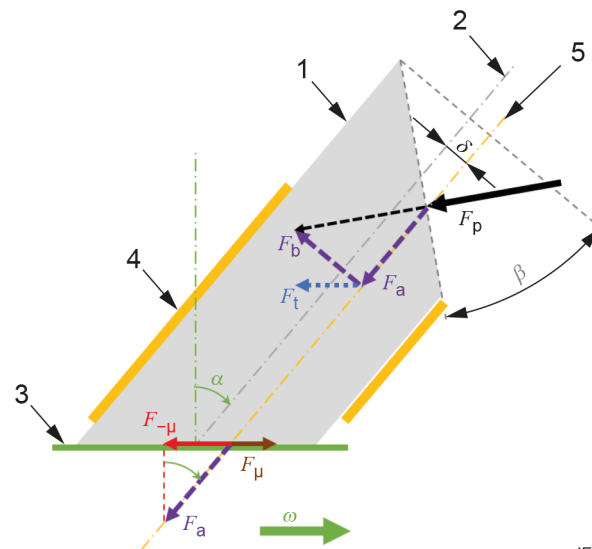
## C.6 Reaction type brush with top bevel angle

For the reaction type brush-holder, a positive contact bevel angle  $\alpha$  and a positive top bevel angle  $\beta$  are applied, generally with values between  $25^\circ$  and  $40^\circ$ . This is illustrated by Figure C.5.

In this case, the brush top applied force pushes the upper half of brush body directly to the brush-holder inner wall, while upon the contact surface, brush axis component force of brush top applied force, pushes the lower half of brush body to the brush-holder inner wall.

The force valance between the friction force and the face to face contact force onto the inner wall of the brush box, based on the brush axis component of brush top applied force, is examined in accordance with Figure C.5.

NOTE 1 Generally the location of the pressure force application is shifted at a distance  $\delta$  from the centre line, as explained in Clause C.2, and as shown in Figure C.5.

**Key**

- 1 brush
- 2 brush centre line
- 3 rotating surface
- 4 brush-holder box wall
- 5 axis of spring application pressure parallel to the brush centre line

**Figure C.5 – Illustration of forces applied on a reaction brush**

Friction force  $F_\mu$  is determined by Formula (C.13) (see Clause C.5).

The anti-friction force at rotating contact surface,  $F_{-\mu}$ , which corresponds to the contact force of inner walls of the brush box projected onto the brush centre line (see Figure C.5), is calculated as per Formula (C.16):

$$F_{-\mu} = F_a \times \sin \alpha \quad (\text{C.16})$$

When inserting  $F_a$  from Formula (C.16) into Formula (C.13), Formula (C.17) is obtained:

$$F_\mu = \mu_{\max} \times \frac{F_{-\mu}}{\sin \alpha} \times \cos \alpha = \mu_{\max} \times \frac{F_{-\mu}}{\tan \alpha} \quad (\text{C.17})$$

The brush will be stable when the condition given in Formula (C.18) is fulfilled.

$$F_{-\mu} > F_\mu \quad (\text{C.18})$$

It means then:

$$\frac{F_{-\mu}}{F_{\mu}} = \frac{\tan \alpha}{\mu_{\max}} > 1 \quad (\text{C.19})$$

Generally,  $\mu_{\max}$  is below 1 (for example 0,2 to 0,3 for an EG grade).

When large angles  $\alpha$  and  $\beta$  are applied, the value of  $\tan \alpha$  is about 1, therefore the condition in Formula (C.19) is obtained. This is the merit of the reaction type brush-holders.

However, it is to be noted that the real available brush length, and thus the remaining brush length  $r_m$ , is almost one half of the initial  $r$  dimension of these reaction type brushes.

NOTE 2 V-tandem brush-holders, in which two identical brushes with non-zero angles are used, the first one operating with a trailing configuration, and the second one with a reaction configuration, are covered by respectively Clause C.4 and Clause C.5.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60136:2024

## Annex D (informative)

### Flexibles configuration

As explained in 7.1.1, flexibles are composed of several single wires arranged together with a special manner. Several standards cover the diameter of single wires, for example EN 13602. In general, the following diameters, in mm, are commonly used: 0,05; 0,07; 0,10; 0,12.

Table D.1 gives some examples of configuration of flexibles according to their section for copper material (Cu-OF or Cu-ETP).

**Table D.1 – Configuration of flexibles**

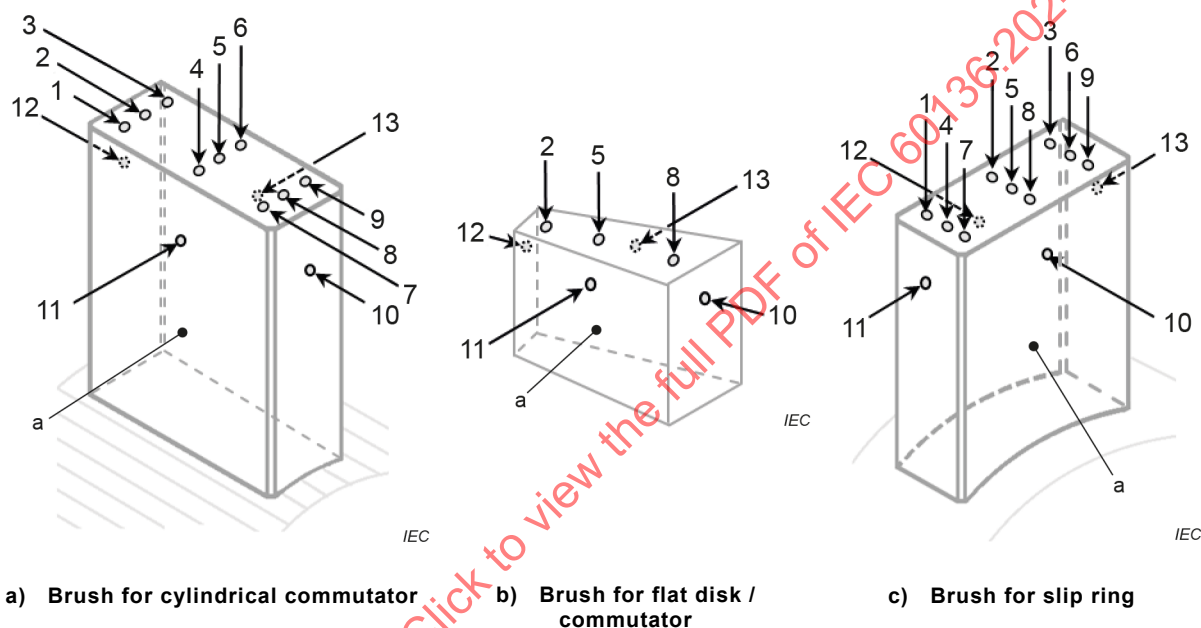
| Nominal section<br>mm <sup>2</sup>                            | Maximum diameter<br>mm | Configuration for wire diameter of: |                     |                     |
|---------------------------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------|---------------------|
|                                                               |                        | 0,05 mm                             | 0,07 mm to 0,08 mm  | 0,10 mm             |
| 0,25                                                          | 1,0                    | 8 × 16                              | 3 × 17              | -                   |
| 0,5                                                           | 1,3                    | 8 × 32                              | 3 × 33              | -                   |
| 1                                                             | 1,8                    | 8 × 64                              | 7 × 28 or 8 × 32    | -                   |
| 1,5                                                           | 2,2                    | 12 × 64                             | 7 × 43 or 8 × 49    | 7 × 27              |
| 2                                                             | 2,4                    | -                                   | 7 × 57 or 12 × 44   | 7 × 37              |
| 2,5                                                           | 2,7                    | -                                   | 7 × 71 or 12 × 54   | 7 × 46 or 12 × 27   |
| 3,2                                                           | 3,0                    | -                                   | 7 × 91 or 12 × 65   | 7 × 58              |
| 4                                                             | 3,3                    | -                                   | 7 × 114 or 12 × 86  | 7 × 75 or 12 × 42   |
| 6                                                             | 4,2                    | -                                   | 7 × 170 or 12 × 130 | 7 × 114 or 12 × 64  |
| 8                                                             | 4,7                    | -                                   | 12 × 174            | 7 × 147 or 12 × 85  |
| 10                                                            | 5,3                    | -                                   | 12 × 217            | 7 × 183 or 12 × 106 |
| 12,5                                                          | 5,9                    | -                                   | 12 × 260            | 7 × 228 or 12 × 127 |
| 16                                                            | 6,7                    | -                                   | -                   | 7 × 294 or 12 × 170 |
| NOTE Configuration 8 × 16 means 8 strands of 16 single wires. |                        |                                     |                     |                     |

## Annex E (informative)

### Flexible location

The location of the flexible(s) onto the brush can be standardized with reference to the front side of the brush: starting on the top, from the left toward the back, then towards the right, and finally ending with the sides.

Figure E.1 illustrates such a standard for three types of brushes depending on their application. For the design of a brush, Figure E.1 is recommended to be incorporated in a questionnaire like the one provided in Annex G.



#### Key

1 to 13 reference of the flexible location

a Front face of the brush (see item 122 of IEC 60276:2018).

NOTE Figures above are derived from the standard NEMA CB 1:2000.<sup>1</sup>

**Figure E.1 – Flexible location**

<sup>1</sup> Reproduced (from NEMA CB 1:2000), with the permission of NEMA.

## Annex F (informative)

### Recommended values of thickness for spade, flag and double shoe terminals

Values of thickness in Table F.1 concern only spade, flag and double shoe terminals (see respectively 7.2.2, 7.2.3 and 7.2.4). They are selected from the Renard series R20 of ISO 3.

**Table F.1 – Recommended thickness for spade, flag and double shoe  
terminals corresponding to screws diameter**

Dimensions in mm

| Nominal screw diameter                                              | Thickness                                      |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 2,5                                                                 | <b>0,56</b> ; 0,63; 0,71                       |
| 4                                                                   | <b>0,80</b> ; 0,90                             |
| 5                                                                   | <b>0,80</b> ; 0,90                             |
| 6                                                                   | <b>1,00</b>                                    |
| 8                                                                   | <b>1,12</b> ; 1,25                             |
| 10                                                                  | <b>1,6</b> ; 1,8; 2,00; 2,24; 2,50; 2,80; 3,15 |
| NOTE Minimum value for each nominal diameter is in bold characters. |                                                |

## Annex G (informative)

### Technical questionnaire for the definition of a carbon brush

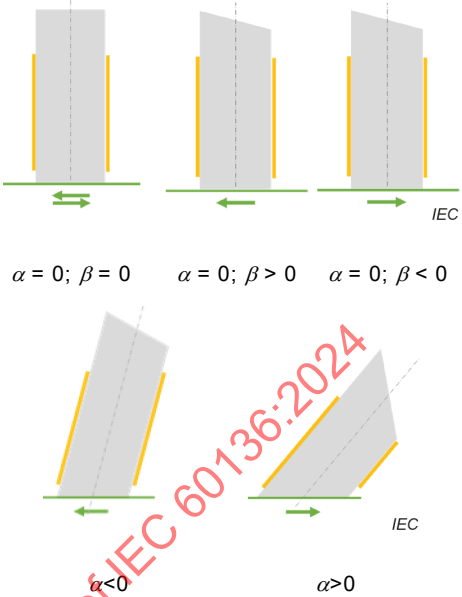
Table G.1 summarizes the minimum essential characteristics for the brush manufacturer to provide the proper design of the brush for a suitable operation of the rotating machine.

**Table G.1 – Elements to be included in a form**

Dimensions: distances in mm, angles in °

| Dimension                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Figure                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| <p>1 Block (Figure G.1):</p> <p><math>t =</math></p> <p><math>a =</math></p> <p><math>r =</math></p> <p><math>\beta =</math></p> <p>Tolerances:</p> <p><input type="checkbox"/> standard (Table 3)</p> <p><input type="checkbox"/> metal-graphite (Table B.1)</p> <p><input type="checkbox"/> other =</p> <p>Orientation<sup>a</sup> (see Figure 15):</p> <p><input type="checkbox"/> commutator</p> <p><input type="checkbox"/> ring</p> <p>Brush division:</p> <p><input type="checkbox"/> mono-block (Figure G.1)</p> <p><input type="checkbox"/> split brush (item 138 of IEC 60276): Number =</p> <p><input type="checkbox"/> sandwich brush (item 142 of IEC 60276)</p> <p><input type="checkbox"/> composite brush (item 143 of IEC 60276)</p> <p><input type="checkbox"/> double brush (item 145/146 of IEC 60276):</p> <p><input type="checkbox"/> Parallel</p> <p><input type="checkbox"/> V-tandem</p> <p>4 <input type="checkbox"/> top plate:</p> <p>type =</p> <p>material =</p> <p><math>w_p^b</math> (6.3) =</p> <p>5 <input type="checkbox"/> wear limit mark (see 6.6)</p> <p>6 <input type="checkbox"/> non-reversing chamfer</p> <p>7 <input type="checkbox"/> pre-radius (item 117 of IEC 60276): <math>R_c =</math></p> | <p><b>Figure G.1 – Main dimensions</b></p> |

Dimensions: distances in mm, angles in °

| Dimension                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Figure                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Contact angle <math>\alpha</math> (see Figure G.2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> radial (<math>\alpha = 0</math>)</li> <li><input type="checkbox"/> trailing (<math>\alpha &lt; 0</math>): <math>\alpha =</math></li> <li><input type="checkbox"/> reaction (<math>\alpha &gt; 0</math>): <math>\alpha =</math></li> </ul> <p>If <math>\beta \neq 0</math>, encircle the configuration onto Figure G.2.</p> <p>Application of pressure:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> single location</li> <li><input type="checkbox"/> two locations</li> </ul> |  <p style="text-align: center;"><b>Figure G.2 – Brush operation</b></p> |
| <p>2 Flexible:</p> <p>number =</p> <p>length <math>l_s =</math></p> <p>current (A) per brush = or diameter <math>d_s =</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | <p>+ provide a sketch showing the flexible(s) location (see examples in Annex E)</p>                                                                      |
| <p>3 Terminal:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> type according to 7.2 =</li> <li><input type="checkbox"/> other type =</li> </ul> <p>number =</p> <p>screw diameter =</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <p>+ when necessary, provide a sketch / specifications</p>                                                                                                |
| <p>The sign = means that the information shall be provided. When there is a choice, the box <input type="checkbox"/> corresponding to the selected item shall be ticked. The unit shall also be specified for each dimension.</p> <p><sup>a</sup> Although the dimensions <math>t</math> and <math>a</math> are specified above, there are some cases for which the orientation of grains is not obvious (for example a square brush for which <math>t = a</math>).</p> <p><sup>b</sup> If the value is left blank, it will be chosen among values specified in Table 9.</p>                                                     |                                                                                                                                                           |

## Bibliography

IEC 60413, *Test procedures for determining physical properties of brush materials for electrical machines*

IEC 60773:2021, *Rotating electrical machines – Test methods and apparatus for the measurement of operational characteristics of brushes*

ISO/IEC 80000 (all parts), *Quantities and units*

ISO 3:1973, *Preferred numbers – Series of preferred numbers*

ISO 2859-1:1999, *Sampling procedures for inspection by attributes – Part 1: Sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspections*

ISO 3611, *Geometrical product specifications (GPS) – Dimensional measuring equipment – Design and metrological characteristics of micrometers for external measurements*

ISO 13102:2012, *Geometrical product specifications (GPS) – Dimensional measuring equipment: Electronic digital-indicator gauge – Design and metrological characteristics*

ISO 13385-1:2019, *Geometrical product specifications (GPS) – Dimensional measuring equipment – Part 1: Design and metrological characteristics of callipers*

EN 13602:2013, *Copper and copper alloys – Drawn, round copper wire for the manufacture of electrical conductors*

JIS C2802:2018, *Dimensions of Brushes for Electric Machines*

NEMA CB1:2000 (R2012), *Brushes for Electrical Machines*

---

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60136:2024

## SOMMAIRE

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| AVANT-PROPOS .....                                                    | 89  |
| 1 Domaine d'application .....                                         | 92  |
| 2 Références normatives .....                                         | 92  |
| 3 Termes, définitions et symboles .....                               | 93  |
| 3.1 Termes et définitions .....                                       | 93  |
| 3.2 Symboles .....                                                    | 101 |
| 4 Unités et marquages .....                                           | 103 |
| 4.1 Unités .....                                                      | 103 |
| 4.2 Marquages .....                                                   | 103 |
| 4.2.1 Unités .....                                                    | 103 |
| 4.2.2 Marques supplémentaires sur le balai .....                      | 103 |
| 4.2.3 Marques supplémentaires sur les porte-balais .....              | 104 |
| 5 Dimensions principales et tolérances sur les balais .....           | 104 |
| 5.1 Séquence .....                                                    | 104 |
| 5.2 Dimensions normalisées .....                                      | 106 |
| 5.3 Tolérances sur les dimensions principales .....                   | 106 |
| 5.3.1 Tolérances générales .....                                      | 106 |
| 5.3.2 Balais jumelés .....                                            | 107 |
| 5.3.3 Balais métallographiques .....                                  | 108 |
| 5.4 Combinaisons recommandées pour les dimensions principales .....   | 108 |
| 5.4.1 Combinaisons pour $t$ et $a$ .....                              | 108 |
| 5.4.2 Balai carré .....                                               | 111 |
| 6 Dimensions supplémentaires des balais .....                         | 112 |
| 6.1 Chanfreins .....                                                  | 112 |
| 6.1.1 Angle .....                                                     | 112 |
| 6.1.2 Dimension .....                                                 | 112 |
| 6.1.3 Chanfrein d'irréversibilité .....                               | 113 |
| 6.2 Angles du biseau de contact et angles du biseau supérieur .....   | 114 |
| 6.2.1 Angles du biseau de contact .....                               | 114 |
| 6.2.2 Angles du biseau supérieur .....                                | 115 |
| 6.2.3 Combinaison d'angles .....                                      | 116 |
| 6.3 Surface d'application de la pression .....                        | 117 |
| 6.4 Profondeur d'insertion $q_i$ du câble (shunt) dans le balai ..... | 117 |
| 6.5 Largeur du matériau résiduel adjacent au câble .....              | 119 |
| 6.6 Limite d'utilisation d'un balai usé $r_m$ .....                   | 120 |
| 7 Connexions des balais: câbles et cosses .....                       | 121 |
| 7.1 Câbles .....                                                      | 121 |
| 7.1.1 Généralités .....                                               | 121 |
| 7.1.2 Surface nominale et diamètre maximal des câbles .....           | 121 |
| 7.1.3 Longueur du câble .....                                         | 122 |
| 7.1.4 Protection du câble .....                                       | 123 |
| 7.2 Cosses .....                                                      | 123 |
| 7.2.1 Généralités .....                                               | 123 |
| 7.2.2 Cosses axiales .....                                            | 124 |
| 7.2.3 Cosses drapeaux .....                                           | 125 |
| 7.2.4 Cosse à double bourrelet .....                                  | 126 |

|                        |                                                                                                    |     |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.2.5                  | Cosses tubulaires .....                                                                            | 127 |
| 7.2.6                  | Cosses soudées .....                                                                               | 128 |
| 7.2.7                  | Intensité admissible des cosses .....                                                              | 129 |
| 8                      | Procédures d'essai pour déterminer les propriétés physiques des balais .....                       | 130 |
| 8.1                    | Généralités .....                                                                                  | 130 |
| 8.2                    | Mesurage de la résistance électrique de la connexion câble/balai .....                             | 130 |
| 8.2.1                  | Généralités .....                                                                                  | 130 |
| 8.2.2                  | Équipement d'essai .....                                                                           | 131 |
| 8.2.3                  | Procédure d'essai .....                                                                            | 133 |
| 8.2.4                  | Procédure d'essai pour la méthode b) (mathématique) .....                                          | 138 |
| 8.2.5                  | Calcul et rapport .....                                                                            | 139 |
| 8.3                    | Mesurage de la résistance à l'arrachement des connexions scellées ou moulées .....                 | 139 |
| 8.3.1                  | Généralités .....                                                                                  | 139 |
| 8.3.2                  | Principe .....                                                                                     | 139 |
| 8.3.3                  | Équipement d'essai .....                                                                           | 139 |
| 8.3.4                  | Procédure d'essai .....                                                                            | 142 |
| 8.3.5                  | Calcul et rapport .....                                                                            | 142 |
| 9                      | Dimensions et configuration des porte-balais .....                                                 | 142 |
| 9.1                    | Généralités .....                                                                                  | 142 |
| 9.2                    | Dimensions intérieures de la cage du porte-balais .....                                            | 142 |
| 9.2.1                  | Dimensions principales .....                                                                       | 142 |
| 9.2.2                  | Tolérances et jeux sur les dimensions $t$ et $a$ de la cage du porte-balais .....                  | 143 |
| 9.2.3                  | Dimensions et tolérances sur le chanfrein de la cage du porte-balais .....                         | 143 |
| 9.3                    | Vérification des dimensions des cages de porte-balais .....                                        | 144 |
| 9.3.1                  | Généralités .....                                                                                  | 144 |
| 9.3.2                  | Vérification des dimensions $t$ et $a$ .....                                                       | 144 |
| 9.3.3                  | Vérification des chanfreins .....                                                                  | 144 |
| 9.4                    | Face de fixation crantée du porte-balais .....                                                     | 145 |
| 9.4.1                  | Généralités .....                                                                                  | 145 |
| 9.4.2                  | Profil et dimensions des crans .....                                                               | 145 |
| 9.4.3                  | Position des crans .....                                                                           | 145 |
| 9.5                    | Position de montage du porte-balais .....                                                          | 146 |
| Annexe A (normative)   | Dimensions équivalentes en pouces .....                                                            | 147 |
| Annexe B (normative)   | Valeurs des dimensions principales des balais métallographiques .....                              | 150 |
| Annexe C (informative) | Considérations relatives à la stabilité du balai .....                                             | 151 |
| C.1                    | Généralités .....                                                                                  | 151 |
| C.2                    | Balai radial sans angle du biseau supérieur qui fonctionne en mode bidirectionnel .....            | 152 |
| C.3                    | Balai radial avec angle du biseau supérieur qui fonctionne dans le sens de rotation à droite ..... | 154 |
| C.4                    | Balai radial avec angle du biseau supérieur qui fonctionne dans le sens de rotation inverse .....  | 156 |
| C.5                    | Balais traînants .....                                                                             | 157 |
| C.6                    | Balai à réaction avec angle du biseau supérieur .....                                              | 159 |
| Annexe D (informative) | Configuration des câbles .....                                                                     | 162 |
| Annexe E (informative) | Position des câbles .....                                                                          | 163 |

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Annexe F (informative) Valeurs recommandées pour l'épaisseur des cosses axiales, des cosses drapeaux et des cosses à double bourrelet..... | 164 |
| Annexe G (informative) Questionnaire technique pour la définition d'un balai.....                                                          | 165 |
| Bibliographie.....                                                                                                                         | 167 |
| Figure 1 – Exemples de composants de balais.....                                                                                           | 93  |
| Figure 2 – Hauteur du chanfrein.....                                                                                                       | 94  |
| Figure 3 – Angle du biseau de contact $\alpha$ .....                                                                                       | 94  |
| Figure 4 – Angle du biseau supérieur $\beta$ .....                                                                                         | 95  |
| Figure 5 – Largeur de la surface d'application de la pression pour le collecteur et la bague.....                                          | 95  |
| Figure 6 – Profondeur d'insertion.....                                                                                                     | 96  |
| Figure 7 – Largeur du matériau résiduel.....                                                                                               | 96  |
| Figure 8 – Limite d'utilisation d'un balai usé.....                                                                                        | 97  |
| Figure 9 – Dimensions du câble $l_S$ et $d_S$ pour différents exemples de balais.....                                                      | 98  |
| Figure 10 – Définition de la distance $d_P$ pour différents types de connexions de balai.....                                              | 99  |
| Figure 11 – Hauteur du chanfrein de la cage du porte-balais.....                                                                           | 100 |
| Figure 12 – Définition de la distance de positionnement des crans.....                                                                     | 101 |
| Figure 13 – Longueur restante avant d'atteindre la limite d'utilisation pour différentes conceptions de balais.....                        | 104 |
| Figure 14 – Dimensions principales d'un balai trapèze.....                                                                                 | 105 |
| Figure 15 – Orientation préférentielle des nuances anisotropes en fonction de l'application.....                                           | 112 |
| Figure 16 – Angle des chanfreins.....                                                                                                      | 112 |
| Figure 17 – Balai jumelé.....                                                                                                              | 113 |
| Figure 18 – Hauteur du chanfrein d'irréversibilité.....                                                                                    | 114 |
| Figure 19 – Arête vive lorsqu'un angle du biseau de contact $\alpha$ est appliqué.....                                                     | 115 |
| Figure 20 – Surface plane d'une arête lorsqu'un angle du biseau de contact $\beta$ est appliqué.....                                       | 116 |
| Figure 21 – Représentation de la configuration des câbles.....                                                                             | 121 |
| Figure 22 – Définition de la forme et des dimensions des cosses axiales.....                                                               | 124 |
| Figure 23 – Définition de la forme et des dimensions des cosses drapeaux.....                                                              | 125 |
| Figure 24 – Définition de la forme et des dimensions des cosses à double bourrelet.....                                                    | 126 |
| Figure 25 – Définition de la forme et des dimensions des cosses tubulaires.....                                                            | 127 |
| Figure 26 – Définition de la forme (exemple) et des dimensions des cosses fourches.....                                                    | 128 |
| Figure 27 – Définition de la forme (exemples) et des dimensions des deux types de cosses pastilles.....                                    | 129 |
| Figure 28 – Exemples de dispositifs d'essai pour mesurer la résistance électrique de la connexion.....                                     | 131 |
| Figure 29 – Exemple d'électrode de contact pour câble.....                                                                                 | 132 |
| Figure 30 – Exemple d'électrode de contact pour balai.....                                                                                 | 132 |
| Figure 31 – Mesurage de la résistance de connexion pour une connexion moulée ou scellée.....                                               | 134 |
| Figure 32 – Mesurage de la résistance de connexion pour une connexion rivetée.....                                                         | 135 |

|                                                                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 33 – Autre méthode possible pour mesurer la résistance de connexion lorsque 2 rivets sont présents.....                                                | 136 |
| Figure 34 – Connexion avec une plaquette métallique soudée ou rivetée au bloc .....                                                                           | 137 |
| Figure 35 – Détermination itérée de la position P de l'Électrode 2.....                                                                                       | 138 |
| Figure 36 – Équipement d'essai pour mesurer la force d'arrachement.....                                                                                       | 140 |
| Figure 37 – Exemple de dispositif de support pour les balais avec un trou de connexion incliné .....                                                          | 141 |
| Figure 38 – Profil des crans – vue en coupe .....                                                                                                             | 145 |
| Figure C.1 – Représentation des moments de rotation pour un balai radial .....                                                                                | 154 |
| Figure C.2 – Représentation des forces appliquées sur un balai radial avec angle du biseau supérieur qui fonctionne dans le sens de rotation à droite .....   | 155 |
| Figure C.3 – Représentation des forces appliquées sur un balai radial avec angle du biseau supérieur qui fonctionne dans le sens de rotation inverse .....    | 157 |
| Figure C.4 – Représentation des forces appliquées sur un balai traînant avec angle du biseau supérieur qui fonctionne dans le sens de rotation à droite ..... | 158 |
| Figure C.5 – Représentation des forces appliquées sur un balai à réaction.....                                                                                | 160 |
| Figure E.1 – Position des câbles.....                                                                                                                         | 163 |
| Figure G.1 – Dimensions principales.....                                                                                                                      | 165 |
| Figure G.2 – Fonctionnement du balai .....                                                                                                                    | 166 |
| Tableau 1 – Symboles pour chaque système d'unités .....                                                                                                       | 103 |
| Tableau 2 – Dimensions normalisées d'un bloc de balai.....                                                                                                    | 106 |
| Tableau 3 – Tolérances sur $t$ , $a$ et $r$ .....                                                                                                             | 107 |
| Tableau 4 – Combinaisons recommandées pour $t$ , $a$ et $r$ .....                                                                                             | 109 |
| Tableau 5 – Dimension de la hauteur du chanfrein $c$ .....                                                                                                    | 113 |
| Tableau 6 – Valeurs recommandées pour la hauteur du chanfrein d'irréversibilité .....                                                                         | 114 |
| Tableau 7 – Valeurs préférentielles pour l'angle du biseau de contact $\alpha$ et l'angle du biseau supérieur $\beta$ .....                                   | 115 |
| Tableau 8 – Valeurs de combinaison types pour l'angle du biseau de contact $\alpha$ et l'angle du biseau supérieur $\beta$ .....                              | 116 |
| Tableau 9 – Valeurs minimales recommandées pour la largeur de la surface d'application de la pression $w_p$ .....                                             | 117 |
| Tableau 10 – Valeurs maximales de la profondeur d'insertion $q_i$ .....                                                                                       | 118 |
| Tableau 11 – Exemples de valeurs maximales de $q_i$ pour une nuance EG.....                                                                                   | 119 |
| Tableau 12 – Largeur minimale du matériau résiduel .....                                                                                                      | 120 |
| Tableau 13 – Surface nominale recommandée pour les câbles et diamètre maximal correspondant.....                                                              | 122 |
| Tableau 14 – Longueurs normalisées des câbles $l_S$ et tolérances.....                                                                                        | 123 |
| Tableau 15 – Valeurs normalisées des dimensions des cosses axiales.....                                                                                       | 125 |
| Tableau 16 – Valeurs normalisées des dimensions des cosses drapeaux .....                                                                                     | 126 |
| Tableau 17 – Valeurs normalisées des dimensions des cosses à double bourrelet .....                                                                           | 127 |
| Tableau 18 – Valeurs normalisées des dimensions des cosses tubulaires .....                                                                                   | 128 |
| Tableau 19 – Valeurs normalisées des dimensions des cosses fourches et tolérances .....                                                                       | 129 |
| Tableau 20 – Valeurs minimales de l'intensité admissible pour les cosses .....                                                                                | 130 |
| Tableau 21 – Tolérances sur les dimensions de la cage du porte-balais et jeux .....                                                                           | 143 |

|                                                                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 22 – Valeur maximale de la hauteur du chanfrein du porte-balais $c_H$ .....                                                                    | 144 |
| Tableau A.1 – Dimensions normalisées et tolérances sur les dimensions $t \times a \times r$ des balais en système impérial (pouces) .....              | 147 |
| Tableau A.2 – Dimensions nominales et maximales de la hauteur du chanfrein $c$ à utiliser dans le système impérial (pouces).....                       | 148 |
| Tableau A.3 – Valeur minimale recommandée de $w_p$ à utiliser dans le système impérial (pouces) .....                                                  | 148 |
| Tableau A.4 – Valeurs maximales de la profondeur d'insertion $q_i$ .....                                                                               | 148 |
| Tableau A.5 – Surface nominale recommandée pour les câbles (shunts) et diamètre maximal correspondant.....                                             | 149 |
| Tableau A.6 – Longueurs normalisées des câbles $l_S$ et tolérances .....                                                                               | 149 |
| Tableau B.1 – Tolérances sur $t \times a \times r$ et jeu sur les nuances métallographiques.....                                                       | 150 |
| Tableau C.1 – Vue d'ensemble des différentes configurations mécaniques (angles du biseau) en fonctionnement.....                                       | 151 |
| Tableau D.1 – Configuration des câbles.....                                                                                                            | 162 |
| Tableau F.1 – Épaisseur recommandée pour les cosses axiales, les cosses drapeaux et les cosses à double bourrelet en fonction du diamètre des vis..... | 164 |
| Tableau G.1 – Éléments à inclure dans un formulaire .....                                                                                              | 165 |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DIMENSIONS, MARQUAGES ET ESSAIS DES BALAIS ET DIMENSIONS  
DES PORTE-BALAI POUR MACHINES ÉLECTRIQUES****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'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60136 a été établie par le comité d'études 2 de l'IEC: Machines tournantes. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition parue en 1986 et l'Amendement 1:1995. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut la modification technique majeure suivante par rapport à l'édition précédente:

Modification du titre.

| Article ou paragraphe | Article précédent  | Modification                                                                                                              |
|-----------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                     | I-1                | Clarification et extension du domaine d'application.                                                                      |
| 2                     | Aucun              | Ajout d'un nouvel article.                                                                                                |
| 3                     | Aucun              | Ajout d'un nouvel article.                                                                                                |
| 4                     | I-4 et II-7.5      | Ajout d'unités et extension du marquage.                                                                                  |
| 5.1                   | I-2                | Ajout des balais cylindriques et trapèzes.                                                                                |
| 5.2                   | I-3                | Distinction des dimensions entre $t$ , $a$ et $r$ .                                                                       |
| 6.1                   | II-7.1             | Révision du tableau des dimensions du chanfrein et ajout du chanfrein d'irréversibilité.                                  |
| 6.2                   | II-7.2             | Révision des dimensions d'angles et ajout des combinaisons d'angles types.                                                |
| 6.4                   | II-7.4             | Clarification de la définition de la profondeur d'insertion et modification des valeurs maximales.                        |
| 6.5                   | Aucun              | Ajout d'un nouveau paragraphe qui introduit le concept de largeur du matériau résiduel.                                   |
| 7.1.2                 | II-8.7             | Modification de la définition de la surface et du diamètre des câbles.                                                    |
| 7.1.4                 | Aucun              | Ajout de la protection des câbles.                                                                                        |
| 7.2                   | II-8.1 à II-8.5    | Clarification. Ajout d'autres types de cosses.                                                                            |
| 8                     | Annexe C           | Clarification de la méthode de mesure de la résistance électrique et ajout d'une méthode graphique.                       |
| 9.2 et 9.3            | Article A.3        | Porte-balais: séparation des dimensions et de la vérification de la cage du porte-balais dans deux paragraphes distincts. |
| Annexe A              | Aucun              | Compilation des tableaux avec les dimensions en pouces de l'édition précédente.                                           |
| Annexe B              | Aucun              | Ajout de dimensions recommandées pour les nuances métallographiques.                                                      |
| Annexe C              | Aucun              | Explication de la stabilité des balais (en lien avec le 6.2).                                                             |
| Annexe D              | II-8.7             | Ajout d'exemples de configurations de câbles.                                                                             |
| Annexe E              | Aucun              | Ajout d'une recommandation de normalisation pour la position des câbles.                                                  |
| Annexe F              | Annexe D et II-8.8 | Lien entre l'épaisseur des cosses et le diamètre de la vis.                                                               |
| Annexe G              | Annexe B           | Simplification du questionnaire afin d'inclure uniquement les éléments définis dans le présent document.                  |

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

| Projet      | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 2/2180/FDIS | 2/2189/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](http://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](http://www.iec.ch/publications).

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](http://webstore.iec.ch) dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

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

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

## **DIMENSIONS, MARQUAGES ET ESSAIS DES BALAIS ET DIMENSIONS DES PORTE-BALAI POUR MACHINES ÉLECTRIQUES**

### **1 Domaine d'application**

Le présent document s'applique principalement aux balais et aux porte-balais montés sur collecteurs cylindriques et bagues des machines électriques tournantes. Certains articles du présent document peuvent couvrir d'autres configurations, comme les collecteurs plats ou les disques lisses.

Il définit les dimensions des balais et de leurs composants, ainsi que leurs tolérances:

- dimensions du bloc de balai ( $t$ ,  $a$ ,  $r$ );
- angles  $\alpha$  et  $\beta$ ;
- chanfrein;
- câbles (shunts);
- cosses normalisées.

Il couvre également la désignation conventionnelle des dimensions principales, le marquage des balais et les méthodes d'essai pour la qualification des balais après leur fabrication (à l'exception du matériau de la nuance des balais, couvert par l'IEC 60413).

Enfin, il spécifie les dimensions des porte-balais utilisés avec les balais.

### **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 60276:2018, *Balais de charbon, porte-balais, collecteurs et bagues – Définitions et nomenclature*

IEC 60560, *Définitions et terminologie des porte-balais de machines électriques*

ISO 129-1, *Documentation technique de produits – Représentation des dimensions et tolérances – Partie 1: Principes généraux*

ISO 197-1:1983, *Cuivre et alliages de cuivre – Termes et définitions – Partie 1: Matériaux*

ISO 286-2:2010, *Spécification géométrique des produits (GPS) – Système de codification ISO pour les tolérances sur les tailles linéaires – Partie 2: Tableaux des classes de tolérance normalisées et des écarts limites des alésages et des arbres*

### 3 Termes, définitions et symboles

#### 3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60276:2018 et de l'IEC 60560, 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:

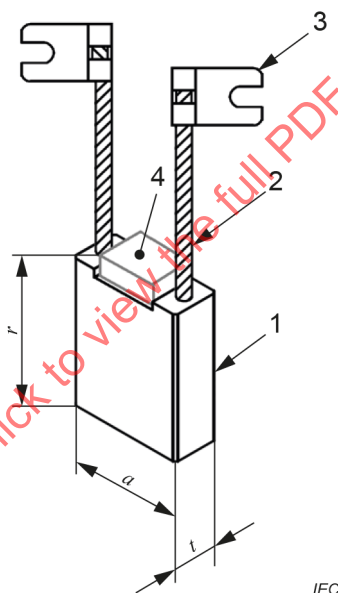
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>

##### 3.1.1

##### **composant**

<du balai> élément assemblé sur le bloc de balai et qui présente une caractéristique spécifique

Note 1 à l'article: La Figure 1 montre un exemple de balai conçu pour une machine à courant continu, et qui comprend les composants suivants: deux câbles, deux cosse et une plaquette supérieure.



##### **Légende**

- 1 bloc
- 2 câble
- 3 cosse
- 4 plaquette supérieure
- $t$  dimension tangentielle du balai
- $a$  dimension axiale du balai
- $r$  dimension radiale du balai

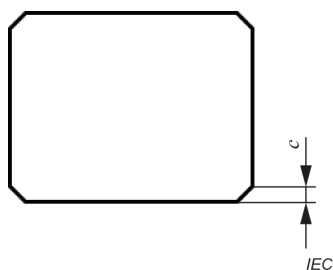
**Figure 1 – Exemples de composants de balais**

##### 3.1.2

##### **hauteur du chanfrein**

$c$

côté le plus petit du triangle rectangle isocèle formé par le chanfrein, comme cela est représenté sur la Figure 2



**Figure 2 – Hauteur du chanfrein**

Note 1 à l'article:  $c$  est exprimée en millimètres (mm).

Note 2 à l'article: Aux États-Unis,  $c$  est également appelée profondeur du chanfrein.

Note 3 à l'article: La source de la Figure 2 est l'IEC 60276:2018, élément 147.

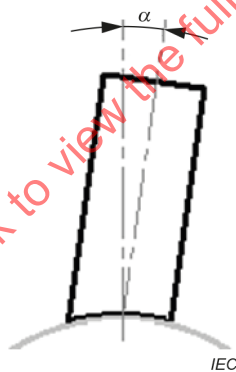
### 3.1.3

#### **angle du biseau de contact**

angle du biseau inférieur

$\alpha$

angle compris entre l'axe principal du balai et l'axe radial du collecteur ou de la bague, comme cela est représenté sur la Figure 3



**Figure 3 – Angle du biseau de contact  $\alpha$**

Note 1 à l'article:  $\alpha$  est exprimé en degrés (°).

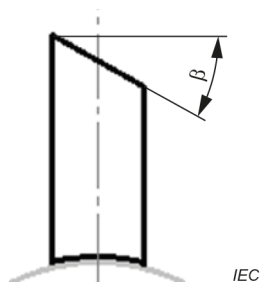
[SOURCE: IEC 60276:2018, élément 106]

### 3.1.4

#### **angle du biseau supérieur**

$\beta$

angle compris entre l'axe principal et la surface supérieure du balai, comme cela est représenté sur la Figure 4.



**Figure 4 – Angle du biseau supérieur  $\beta$**

Note 1 à l'article:  $\beta$  est exprimé en degrés (°).

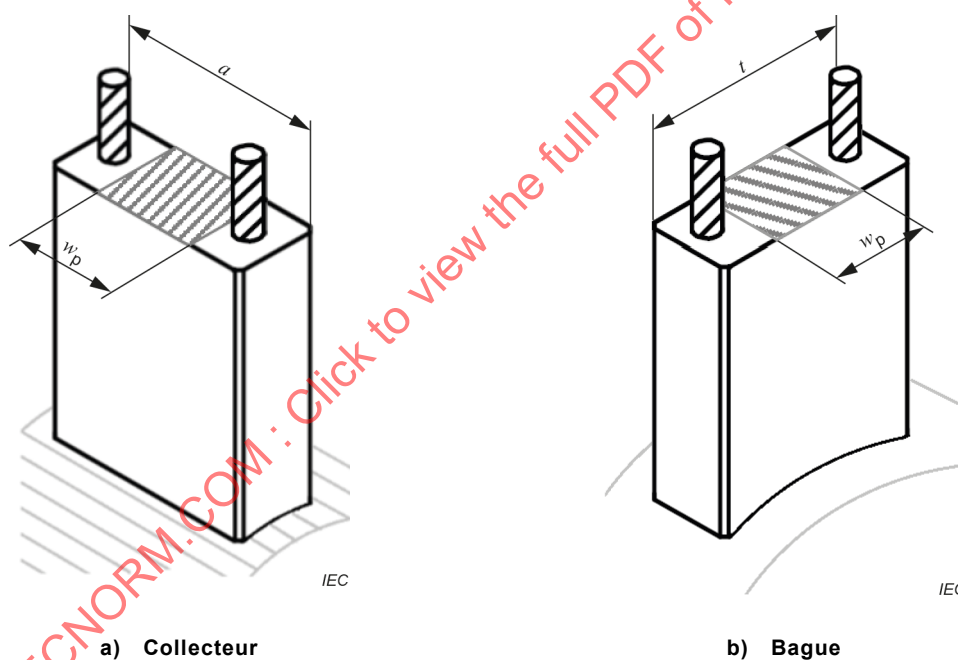
Note 2 à l'article: La source de la Figure 4 est l'IEC 60276:2018, élément 110.

### 3.1.5

#### largeur de la surface d'application de la pression

$w_p$

largeur de la surface sur la tête du balai sur laquelle est appliqué le système de pression, comme cela est représenté sur la Figure 5



**Figure 5 – Largeur de la surface d'application de la pression pour le collecteur et la bague**

Note 1 à l'article:  $w_p$  est exprimée en millimètres (mm).

### 3.1.6

#### profondeur d'insertion

$q_i$

distance comprise entre l'extrémité du câble à l'intérieur du balai et la position d'insertion sur la tête du balai, le long de l'axe du câble, comme cela est représenté sur la Figure 6

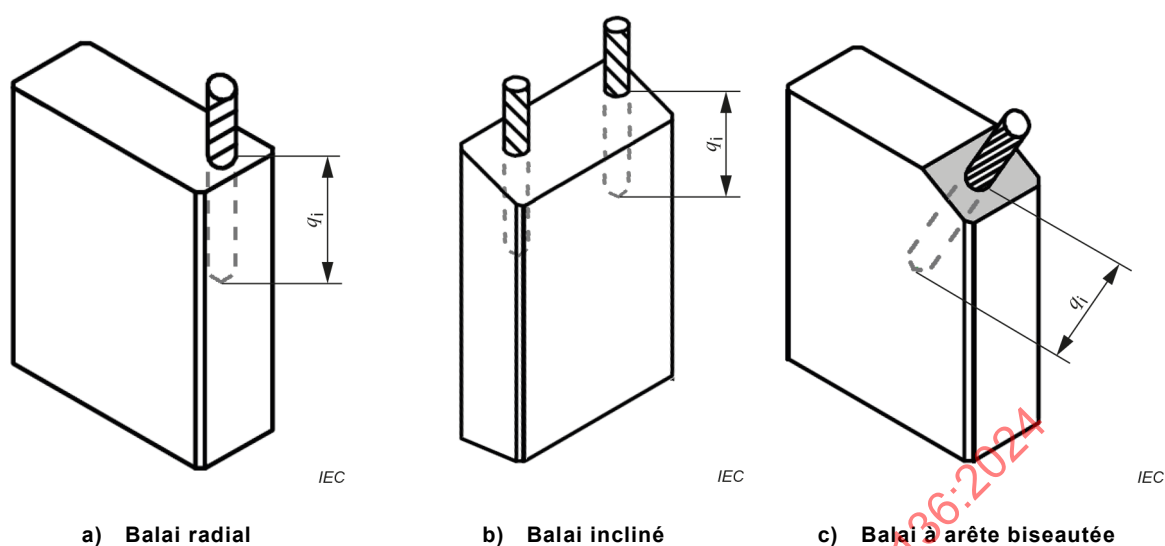


Figure 6 – Profondeur d'insertion

Note 1 à l'article:  $q_i$  est exprimée en millimètres (mm).

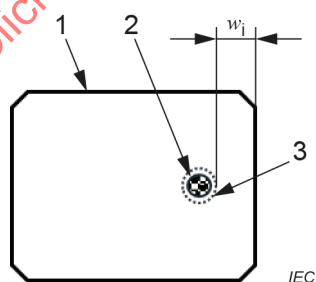
### 3.1.7

#### largeur du matériau résiduel

$w_i$

largeur du matériau résiduel adjacent au câble (voir la Figure 7), définie par la distance comprise entre:

- la face la plus proche du bloc du balai; et
- la périphérie du trou percé pour l'insertion du câble.



#### Légende

- 1 balai
- 2 câble
- 3 trou (pour l'insertion du câble)

Figure 7 – Largeur du matériau résiduel

Note 1 à l'article:  $w_i$  est exprimée en millimètres (mm).

### 3.1.8

#### limite d'utilisation d'un balai usé

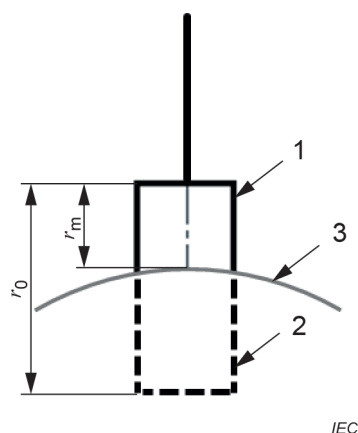
$r_m$

distance entre deux plans perpendiculaires à l'axe principal du balai, qui passe par les extrémités:

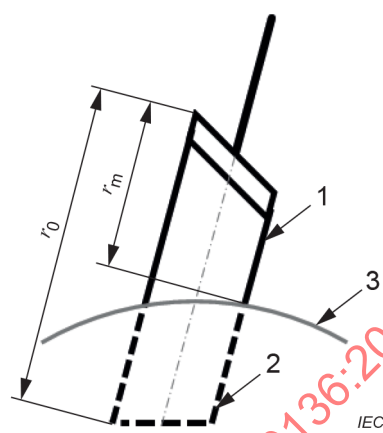
- de la surface de contact située à sa limite d'usure d'utilisation minimale; et

- des éléments du balai ou des parties d'éléments qui contribuent à l'application de la pression

Note 1 à l'article: La Figure 8 donne la définition de  $r_m$  pour deux exemples.



a) Balai radial ( $\alpha = 0$  /  $\beta = 0$ )



b) Balai incliné avec une tête biseautée et une plaque supérieure ( $\alpha \neq 0$  /  $\beta \neq 0$ )

#### Légende

- 1 balai usé
- 2 balai initial
- 3 surface tournante
- $r_0$  dimension radiale initiale
- $r_m$  limite d'utilisation du balai usé

NOTE Les lignes en pointillés représentent la partie usée du balai.

**Figure 8 – Limite d'utilisation d'un balai usé**

Note 2 à l'article:  $r_m$  est exprimée en millimètres (mm).

#### 3.1.9 longueur du câble

$l_s$

distance du câble comprise entre la connexion câble/balai (sur la tête du balai) et l'axe de connexion à vis de la cosse, comme cela est représenté sur la Figure 9

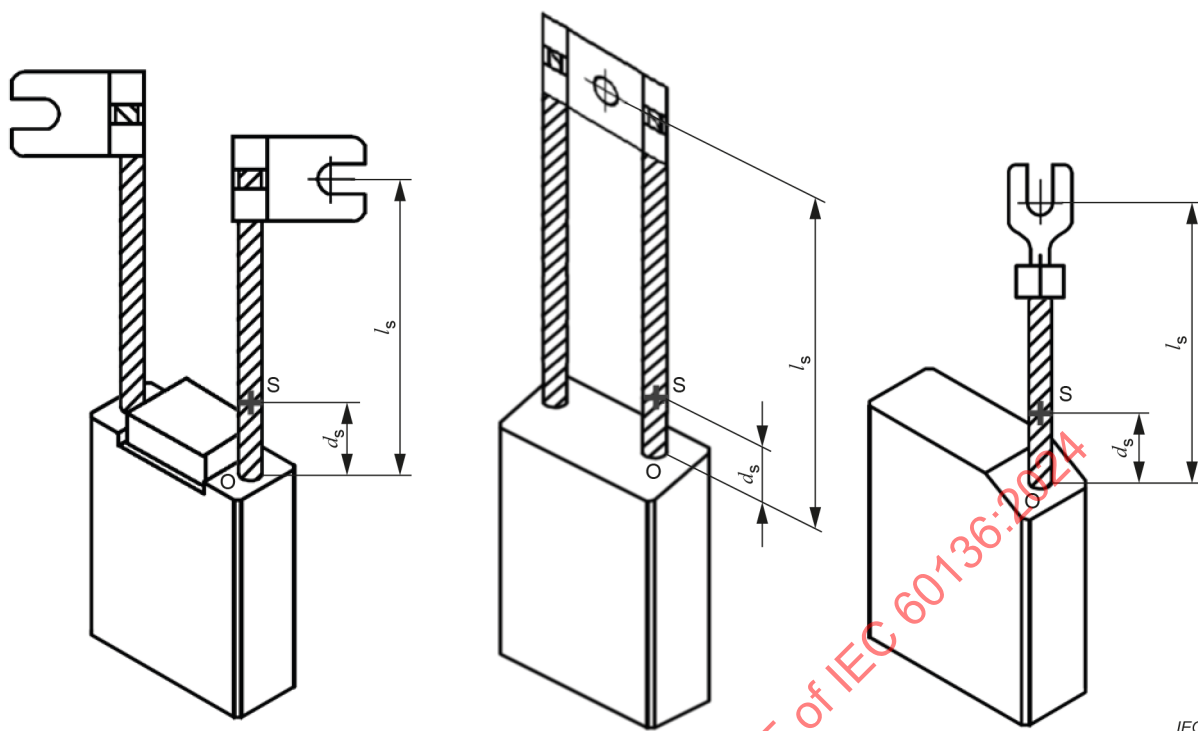
Note 1 à l'article:  $l_s$  est exprimée en millimètres (mm).

Note 2 à l'article: En l'absence de cosse, l'axe de connexion à vis dans la définition ci-dessus est naturellement remplacé par l'extrémité libre du câble.

#### 3.1.10 distance pour l'application de l'électrode de câble

$d_s$

distance, le long de l'axe du câble, comprise entre une position S sur le câble et la connexion câble/balai (position O), comme cela est représenté sur la Figure 9



#### Légende

O position de la connexion câble/balai sur la tête du balai

S position sur le câble

$d_s$  distance pour l'application de l'électrode de câble

$l_s$  longueur du câble

**Figure 9 – Dimensions du câble  $l_s$  et  $d_s$  pour différents exemples de balais**

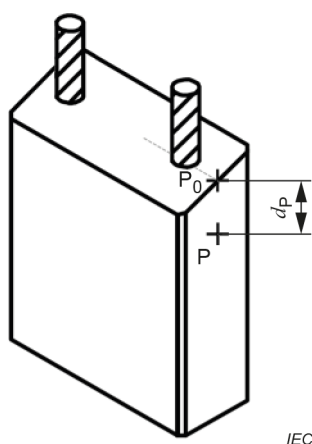
Note 1 à l'article:  $d_s$  est exprimée en millimètres (mm).

#### 3.1.11

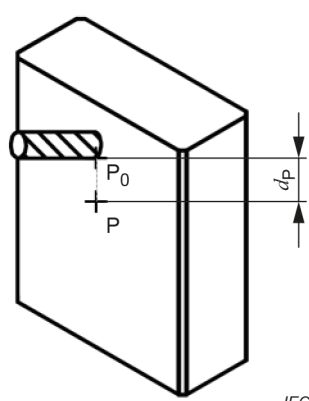
##### distance pour l'application de l'électrode de bloc

$d_p$

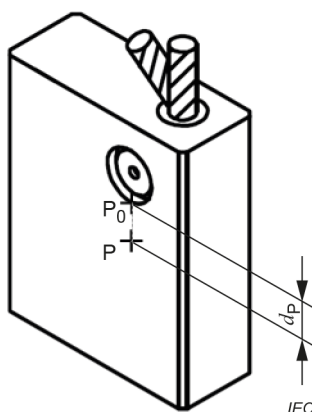
distance comprise entre un point P situé sur une face du bloc et un point  $P_0$  situé sur la même face, qui est la plus proche de l'extérieur du moyen de connexion, comme cela est représenté sur la Figure 10



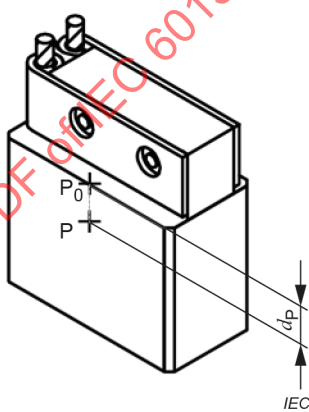
a) Connexion scellée ou moulée – sur la tête du balai



b) Connexion scellée ou moulée – latérale



c) Connexion rivetée



d) Connexion par une plaquette métallique rivetée ou soudée

### Légende

P position située sur une face du bloc de balai

$P_0$  position située sur la même face du bloc de balai que P et proche de la connexion câble/balai

$d_S$  distance pour l'application de l'électrode sur le bloc de balai

**Figure 10 – Définition de la distance  $d_P$  pour différents types de connexions de balai**

Note 1 à l'article: Pour tous les types de balais, l'axe qui passe par les deux points P et  $P_0$  est parallèle à son axe principal. La face du bloc est choisie de telle sorte que la distance comprise entre l'axe (P; $P_0$ ) et l'axe principal soit minimale.

Note 2 à l'article:  $d_P$  est exprimée en millimètres (mm).

### 3.1.12

#### résistance électrique de la connexion câble/balai

$R_f$

résistance électrique mesurée entre un point S sur le câble (voir la Figure 9) et un point P sur le bloc du balai (voir la Figure 10)

Note 1 à l'article:  $R_f$  est exprimée en milliohms (mΩ).

### 3.1.13

#### force d'arrachement de la connexion câble/balai

$F_f$

force nécessaire pour arracher le câble du balai dans le sens de l'axe du câble

Note 1 à l'article:  $F_f$  est exprimée en newtons (N).

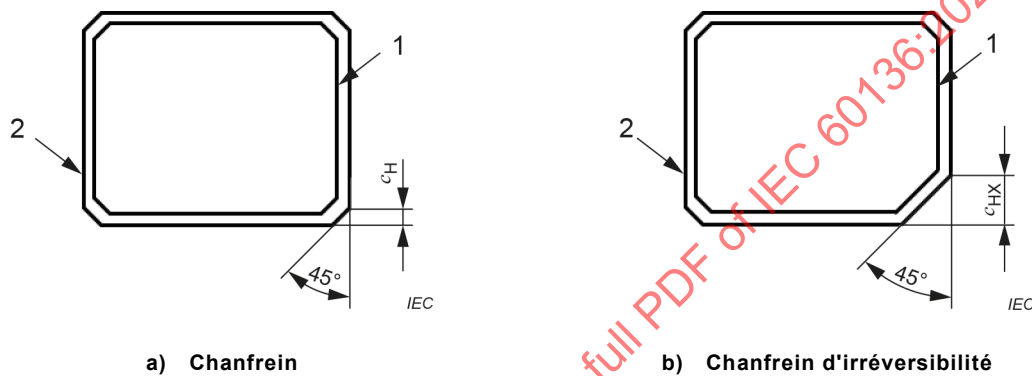
### 3.1.14

#### hauteur du chanfrein de la cage du porte-balais

$c_H$

côté le plus petit du triangle rectangle isocèle formé par le chanfrein de la cage du porte-balais

Note 1 à l'article: Par extension, la hauteur du chanfrein d'irréversibilité de la cage du porte-balais  $c_{HX}$  peut être définie. La Figure 11 représente ces définitions.



#### Légende

- 1 balai
- 2 cage du porte-balais
- $c_H$  hauteur du chanfrein de la cage du porte-balais
- $c_{HX}$  hauteur du chanfrein d'irréversibilité de la cage du porte-balais

**Figure 11 – Hauteur du chanfrein de la cage du porte-balais**

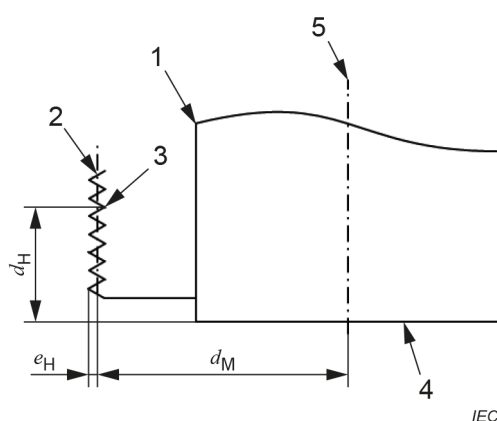
Note 2 à l'article:  $c_H$  est exprimée en millimètres (mm).

### 3.1.15

#### distance de positionnement des crans

$d_H$

distance comprise entre la base d'une dent du côté cranté du porte-balais et le bas de la cage du porte-balais, dans le sens vertical, comme cela est représenté sur la Figure 12



### Légende

- 1 cage du porte-balais
- 2 face crantée de la fixation du porte-balais
- 3 base d'une dent de la face crantée
- 4 bas de la cage du porte-balais
- 5 axe principal du balai
- $d_H$  distance de positionnement des crans
- $d_M$  distance de montage
- $e_H$  distance comprise entre la pointe de la dent et l'axe d'application de la distance de montage

**Figure 12 – Définition de la distance de positionnement des crans**

Note 1 à l'article:  $d_H$  est un nombre entier et est exprimée en millimètres (mm).

Note 2 à l'article: Le profil et les dimensions des crans de la fixation sont spécifiés au 9.4.

### 3.1.16

#### distance de montage

$d_M$

distance comprise entre l'axe de la face de fixation et l'axe principal du balai dans le sens tangentiel (dans le cas d'une machine à courant continu), comme cela est représenté sur la Figure 12

Note 1 à l'article:  $d_M$  est exprimée en millimètres (mm).

### 3.2 Symboles

- $A$  arête vive à l'angle du biseau de contact
- $a$  dimension axiale du balai, en mm
- $B$  arête vive à l'angle du biseau supérieur
- $c$  hauteur du chanfrein (du balai), en mm
- $c_H$  hauteur du chanfrein de la cage du porte-balais, en mm
- $c_{HX}$  hauteur du chanfrein d'irréversibilité de la cage du porte-balais, en mm
- $c_X$  hauteur du chanfrein d'irréversibilité (du balai), en mm
- $D_S$  diamètre du câble, en mm
- $D_T$  diamètre de la vis, en mm
- $d_H$  distance de positionnement des crans, en mm

|               |                                                                                                                              |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $d_M$         | distance de montage, entre l'interface de montage du porte-balais et l'axe principal du balai dans le sens tangentiel, en mm |
| $d_P$         | distance pour l'application de l'électrode de bloc, en mm                                                                    |
| $d_S$         | distance le long du câble pour l'application de l'électrode de câble, en mm                                                  |
| $d_{ST}$      | profondeur de la dent crantée (de la face de fixation crantée du porte-balais), en mm                                        |
| $e_H$         | distance comprise entre la pointe de la dent et l'axe d'application du montage du porte-balais, en mm                        |
| $F$           | force de serrage du dispositif de maintien du balai, en N                                                                    |
| $F_f$         | force d'arrachement de la connexion câble/balai, en N                                                                        |
| $h_{ST}$      | pas de la face de fixation crantée du porte-balais, en mm                                                                    |
| $L_T$         | longueur de la cosse, en mm                                                                                                  |
| $L_S$         | longueur du câble, en mm                                                                                                     |
| $q_i$         | profondeur d'insertion du câble dans le bloc de balai, en mm                                                                 |
| $R_f$         | résistance électrique de la connexion câble/balai, en $m\Omega$                                                              |
| $r$           | dimension radiale du balai, en mm                                                                                            |
| $r_m$         | limite d'utilisation du balai, en mm                                                                                         |
| $t$           | dimension tangentielle du balai, en mm                                                                                       |
| $w_T$         | largeur de la cosse, en mm                                                                                                   |
| $w_{ST}$      | largeur de la dent de la face de fixation crantée du porte-balais, en mm                                                     |
| $w_i$         | largeur restante du matériau, en mm                                                                                          |
| $w_p$         | largeur de la surface d'application de la pression, en mm                                                                    |
| $x_T$         | dimension de la cosse perpendiculaire à l'axe du câble, en mm                                                                |
| $y_T$         | dimension de la cosse parallèle à l'axe du câble, en mm                                                                      |
| $z_T$         | distance comprise entre l'axe de la vis et l'extrémité de la cosse proche du câble, en mm                                    |
| $\alpha$      | angle du biseau de contact, en °                                                                                             |
| $\beta$       | angle du biseau supérieur, en °                                                                                              |
| $\gamma_{ST}$ | angle entre les dents de la face de fixation crantée du porte-balais, en °                                                   |

NOTE Pour l'uniformisation des normes relatives aux balais et aux porte-balais, les indices ont été harmonisés:

- B est relatif à l'ensemble du balai (chute de tension totale au balai  $U_B$ );
- i est relatif à l'intérieur du bloc de balai (profondeur d'insertion  $q_i$  ou chute de tension interne du balai  $U_i$ , par exemple);
- f est relatif à la connexion câble/balai (résistance électrique  $R_f$ , etc.);
- S correspond au câble (longueur  $L_S$ , diamètre  $D_S$ );
- T correspond à la cosse (longueur  $L_T$ , largeur  $w_T$ ); et
- H correspond au porte-balais ( $c_H$ ).

## 4 Unités et marquages

### 4.1 Unités

Étant donné que les Normes internationales ne doivent utiliser que des unités SI (voir les différentes parties de la série ISO/IEC 80000), toutes les dimensions de longueur fournies dans le présent document sont exprimées en unités métriques.

Comme le système impérial (pouce, livre, etc.) est encore utilisé dans certains pays, les dimensions en pouces sont fournies à l'Annexe A. Cela signifie que les valeurs en millimètres figurant dans le corps principal du document ont une valeur correspondante en pouces dans les tableaux de l'Annexe A.

Il est important d'utiliser chaque système indépendamment de l'autre. La combinaison des valeurs des deux systèmes peut entraîner une non-conformité à la spécification et peut altérer les performances des balais en fonctionnement.

### 4.2 Marquages

#### 4.2.1 Unités

Pour éviter toute confusion entre les dimensions en millimètres (système métrique) et en pouces (système impérial, également connu sous le nom de British Imperial), il convient de marquer les balais, ainsi que les porte-balais à l'aide de l'un des symboles du Tableau 1.

**Tableau 1 – Symboles pour chaque système d'unités**

| Système d'unités       | Symbole        |
|------------------------|----------------|
| métrique (millimètres) | □ <sup>a</sup> |
| impérial (pouces)      | △ <sup>b</sup> |
| <sup>a</sup> Carré.    |                |
| <sup>b</sup> Triangle. |                |

Le symbole doit être facile à lire et mesurer au moins 3 mm de largeur.

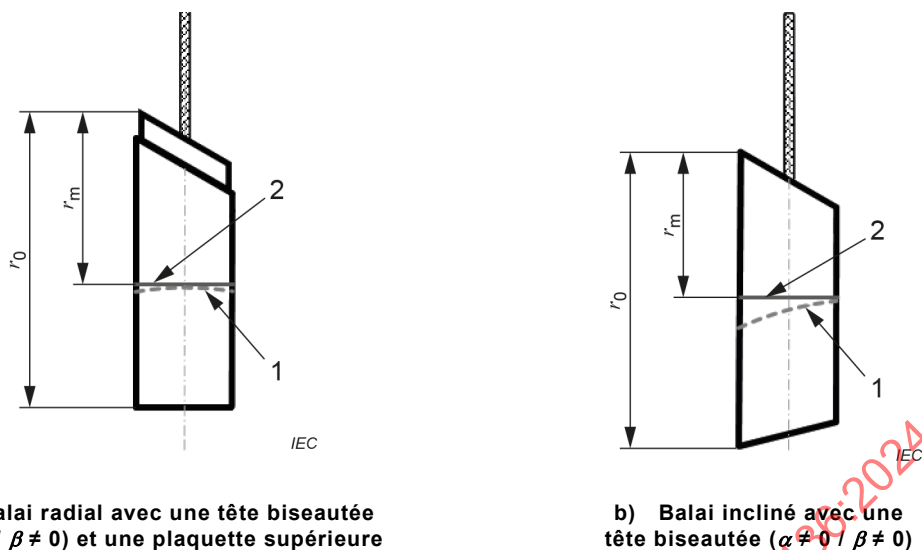
Pour les balais, il convient d'apposer le symbole de sorte qu'il soit visible lorsque le balai est complètement usé, c'est-à-dire à proximité de la tête du balai. Si le balai est trop petit, les unités ne sont pas marquées.

Pour les porte-balais, compte tenu de la grande variété de formes et de constructions, le marquage peut être apposé où le fabricant le jugera bon, sous réserve qu'il soit aisément visible par l'utilisateur lorsque les porte-balais sont montés sur la machine.

#### 4.2.2 Marques supplémentaires sur le balai

En outre, il convient d'identifier la longueur restante du balai, définie au 3.1.8 (voir aussi le 6.6) en apposant une marque sur le côté tangentiel du balai. La marque peut être un trait rainuré, un petit trou borgne ou un trait peint. Lorsque la surface de contact atteint le trait de la marque, cela signifie que le balai est usé. La Figure 13 donne quelques exemples.

Le marquage des unités selon le 4.2.1 ne doit pas être utilisé comme un trait indiquant la limite d'utilisation.



#### Légende

- 1 surface de contact lorsque le balai est sur le point d'être utilisé
- 2 marque qui indique la longueur restante avant d'atteindre la limite d'utilisation
- $r_0$  dimension radiale initiale
- $r_m$  limite d'utilisation d'un balai usé

**Figure 13 – Longueur restante avant d'atteindre la limite d'utilisation pour différentes conceptions de balais**

Le balai peut également être marqué de telle sorte que l'utilisateur puisse identifier le balai, par exemple: le nom ou le logotype du fabricant, l'appellation de la nuance du bloc, un indice de traçabilité, etc. De préférence, tous les marquages sont apposés sur la même face, sauf si l'espace n'est pas suffisant. En général, le marquage est appliqué sur la plus grande face du balai. En ce qui concerne la marque d'unité, il convient de l'apposer de sorte qu'elle soit encore visible lorsque le balai est complètement usé.

#### 4.2.3 Marques supplémentaires sur les porte-balais

Comme pour les balais, le porte-balais peut également être identifié par un marquage supplémentaire, généralement le nom ou le logotype du fabricant et un numéro de pièce.

### 5 Dimensions principales et tolérances sur les balais

#### 5.1 Séquence

**5.1.1** Pour un balai de section rectangulaire, les dimensions principales doivent être indiquées selon la séquence (1):

$$t \times a \times r \quad (1)$$

où

- $t$  est la dimension tangentielle du balai;
- $a$  est la dimension axiale;
- $r$  est la dimension radiale;
- $\times$  est un signe placé entre les dimensions.

NOTE 1  $t$ ,  $a$  et  $r$  sont définis dans l'IEC 60276 et reproduits sur la Figure 1.

NOTE 2  $t$  est toujours indiqué avant  $a$ , même lorsque  $t$  est supérieur à  $a$  (bagues, par exemple). Voir les figures des éléments 102 (type de collecteur) et 103 (type de bague) de l'IEC 60276:2018.

Les dimensions sont exprimées en millimètres ou en pouces. Les unités sont identifiées sur le balai par un marquage conformément au 4.2.1.

**5.1.2** Pour les balais cylindriques, la dimension  $t$  correspond à son diamètre. Par conséquent, la séquence correspondante est (2).

$$t \times r \quad (2)$$

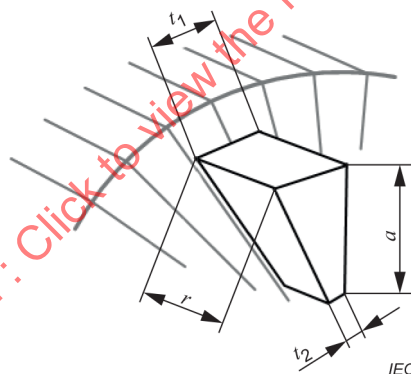
où

$t$  est le diamètre du balai.

**5.1.3** Pour les balais trapèzes ou trapézoïdaux (section trapézoïdale), il existe deux dimensions tangentielles, comme cela est représenté sur la Figure 14:

- dimension tangentielle supérieure:  $t_1$ ;
- dimension tangentielle inférieure:  $t_2$ ;

où  $t_1$  est supérieure à  $t_2$ .



**Figure 14 – Dimensions principales d'un balai trapèze**

Les dimensions sont exprimées selon la séquence (3):

$$(t_1 / t_2) \times a \times r \quad (3)$$

où

$t_1$  est la dimension tangentielle supérieure;

$t_2$  est la dimension tangentielle inférieure.

NOTE Sur la Figure 14,  $r$  ne correspond pas à la définition de la dimension radiale du balai, mais à la "longueur" usée du balai. Cette dénomination a été considérée comme nécessaire pour l'application du présent document (dimensions normalisées, tolérances, limite d'utilisation, etc.).

## 5.2 Dimensions normalisées

Les dimensions des balais sont exprimées par leur valeur nominale et doivent être choisies parmi les valeurs indiquées dans le Tableau 2.

**Tableau 2 – Dimensions normalisées d'un bloc de balai**

Dimensions en mm

| Dimension                                                                                         | Valeur nominale normalisée <sup>a</sup>                                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| $t$ ou $a$                                                                                        | 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 64; 80 |
| $r$                                                                                               | 6; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 64; 80; 100; 125                 |
| <sup>a</sup> Les valeurs sont soit issues des séries de Renard (ISO 3 – base R10) soit arrondies. |                                                                          |
| NOTE Les dimensions normalisées en pouces sont indiquées dans le Tableau A.1.                     |                                                                          |

## 5.3 Tolérances sur les dimensions principales

### 5.3.1 Tolérances générales

Le balai doit être guidé sur une hauteur suffisante avec un jeu approprié pour éviter à la fois le coincement et le battement. Par conséquent, le Tableau 3 spécifie les tolérances sur les dimensions principales du balai.

Les dimensions doivent être mesurées à l'aide d'un dispositif capable de vérifier les tolérances spécifiées dans le Tableau 3 et à différentes positions sur le balai. Il est recommandé d'utiliser un micromètre, un comparateur numérique ou un pied à coulisse dont l'exactitude est de  $\pm 0,01$  mm ou mieux. La valeur moyenne est indiquée.

NOTE 1 La conception et les caractéristiques métrologiques des instruments ci-dessus sont spécifiées dans les normes respectives ISO 3611, ISO 13102 et ISO 13385-1.

Il appartient au fabricant de balais de définir une méthode d'échantillonnage statistique appropriée pour les contrôles pendant et/ou après la production.

NOTE 2 Pour les procédures d'échantillonnage, les normes ISO comme l'ISO 2859-1 peuvent être consultées.

Les dimensions nominales et les tolérances d'un balai doivent être exprimées sur le dessin conformément à l'ISO 129-1.

#### EXEMPLE

Pour un balai dont la séquence  $t \times a \times r$  est  $16 \times 25 \times 40$ , les tolérances sont décrites comme suit:

$$16_{-0,15}^{-0,04} \times 25_{-0,13}^{-0,04} \times 40^{\pm 0,8}$$

NOTE 3 Les jeux entre les balais et les porte-balais sont indiqués au 9.2.2.

**Tableau 3 – Tolérances sur  $t$ ,  $a$  et  $r$** 

Dimensions en mm

| Dimension nominale         | Tolérances sur <i>t</i> ou <i>a</i> |            | Tolérances sur <i>r</i> |
|----------------------------|-------------------------------------|------------|-------------------------|
|                            | Inférieure                          | Supérieure |                         |
| 1,6<br>2<br>2,5<br>3,2     | −0,03                               | −0,09      | ±0,3                    |
|                            |                                     |            |                         |
|                            |                                     |            |                         |
|                            |                                     |            |                         |
| 4<br>5<br>6,3<br>8<br>10   | −0,03                               | −0,11      | ±0,3                    |
|                            |                                     |            |                         |
|                            |                                     |            |                         |
|                            |                                     |            |                         |
| 12,5<br>16<br>20<br>25     | −0,04                               | −0,13      | ±0,5                    |
|                            |                                     |            |                         |
|                            |                                     |            |                         |
|                            |                                     |            |                         |
| 32<br>40<br>50<br>64<br>80 | −0,05                               | −0,15      | ±0,8                    |
|                            |                                     |            |                         |
|                            |                                     |            |                         |
|                            |                                     |            |                         |
|                            |                                     |            |                         |

NOTE Les dimensions normalisées en pouces sont indiquées dans le Tableau A.1.

### 5.3.2 Balais jumelés

La dimension ( $t$  ou  $a$ ) pour laquelle le balai est jumelé en plusieurs tranches (voir l'élément 138 de l'IEC 60276:2018) doit être indiquée dans la séquence des dimensions par une barre oblique suivie du nombre de tranches.

En fonction de la configuration du jumelage, la Formule (1) devient la Formule (4) ou la Formule (5) suivante:

- en cas de jumelage dans la dimension  $t$ :

$$t / 2 \times a \times r \quad (4)$$

- en cas de jumelage dans la dimension  $a$ :

$$t \times a / 2 \times r \quad (5)$$

Sauf spécification contraire de l'utilisateur et du fournisseur, la tolérance sur la valeur  $t$  ou  $a$  d'un ensemble de balais jumelés (ou de balais divisés) est augmentée de 20 µm (ou 0,8 millième de pouce) par réduction de sa limite inférieure, sans modifier sa limite supérieure.

#### EXEMPLE

Pour un balai dont la séquence  $t \times a \times r$  est 16/2 mm × 25 mm × 40 mm, les tolérances sont décrites comme suit:

$$16 / 2_{-0,15}^{-0,06} \times 25_{-0,13}^{-0,04} \times 40^{\pm 0,8}$$

### 5.3.3 Balais métallographiques

Pour les nuances de balais qui ont un coefficient d'expansion thermique anormalement élevé, par exemple les nuances métallographiques et non carbonisées, il convient de réduire les dimensions sous la responsabilité du fabricant de balais, comme cela est spécifié à l'Annexe B.

Ces balais doivent cependant toujours être désignés selon les valeurs nominales du Tableau 2.

Pour faciliter les contrôles, il convient que le fabricant de balais indique les dimensions nominales réduites sur le dessin ou sur un rapport de contrôle lors de l'expédition des balais.

## 5.4 Combinaisons recommandées pour les dimensions principales

### 5.4.1 Combinaisons pour $t$ et $a$

Le Tableau 4 indique les combinaisons recommandées pour  $t$  et  $a$ , ainsi que les valeurs préférentielles de  $r$ . Les combinaisons préférentielles sont indiquées en gras.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60136:2024

Tableau 4 – Combinaisons recommandées pour  $t$ ,  $a$  et  $r$ 

Dimensions en mm

| $t$ | $a$ |     |         |                 |            |            |                |                |                |                |                      |                |                |    |    |
|-----|-----|-----|---------|-----------------|------------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|----|----|
|     | 2   | 2,5 | 3,2     | 4               | 5          | 6,3        | 8              | 10             | 12,5           | 16             | 20                   | 25             | 32             | 40 | 50 |
| 1,6 | 8   | 8   |         |                 |            |            |                |                |                |                |                      |                |                |    |    |
| 2   |     | 8   | 8       |                 |            |            |                |                |                |                |                      |                |                |    |    |
| 2,5 |     |     | 8<br>10 | 8<br>10         | 10<br>12,5 |            |                |                |                |                |                      |                |                |    |    |
| 3,2 |     | 10  |         | 8<br>10<br>12,5 | 10<br>12,5 | 12,5<br>16 |                |                |                |                |                      |                |                |    |    |
| 4   |     | 10  | 10      |                 | 10<br>12,5 | 12,5<br>16 | 16<br>20       | 16<br>20       |                |                |                      |                |                |    |    |
| 5   |     |     | 12,5    | 12,5            |            | 12,5<br>16 | 16<br>20<br>25 | 16<br>20<br>25 | 20<br>25<br>32 | 20<br>25<br>32 | 25<br>32             | 32<br>40       | 32<br>40       |    |    |
| 6,3 |     |     | 12,5    | 12,5<br>16      | 16         |            | 20<br>25       | 20<br>25<br>32 | 20<br>25<br>32 | 25<br>32       | 25<br>32<br>40<br>50 | 32<br>40<br>50 | 32<br>40<br>50 |    |    |

Dimensions en mm

| <i>t</i> | <i>a</i> |     |     |          |          |                |                |                |                      |                      |                            |                      |                             |                             |                       |
|----------|----------|-----|-----|----------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
|          | 2        | 2,5 | 3,2 | 4        | 5        | 6,3            | 8              | 10             | 12,5                 | 16                   | 20                         | 25                   | 32                          | 40                          | 50                    |
| 8        |          |     |     | 16<br>20 | 16<br>20 | 20             |                | 20<br>25<br>32 | 25<br>32             | 25<br>32<br>40       | 25<br>32<br>40<br>50       | 32<br>40<br>50       | 32<br>40<br>50<br>64        |                             |                       |
| 10       |          |     |     |          | 16<br>20 | 16<br>20<br>25 | 20<br>25<br>32 |                | 25<br>32<br>40       | 25<br>32<br>40       | 25<br>32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64        | 40<br>50<br>64              |                       |
| 12,5     |          |     |     |          |          | 20<br>25       | 25<br>32       | 25<br>32       |                      | 25<br>32<br>40       | 32<br>40<br>50             | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64<br>80  | 40<br>50<br>64<br>80        | 50<br>64<br>80        |
| 16       |          |     |     |          |          | 20<br>25       | 25<br>32       | 25<br>32<br>40 | 32<br>40             |                      | 32<br>40<br>50             | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64<br>80  | 40<br>50<br>64<br>80        | 50<br>64<br>80        |
| 20       |          |     |     |          |          |                | 25<br>32       | 25<br>32<br>40 | 32<br>40<br>50       | 32<br>40<br>50       |                            | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64<br>80  | 40<br>50<br>64<br>80        | 50<br>64<br>80<br>100 |
| 25       |          |     |     |          |          |                | 32<br>40<br>50 | 32<br>40<br>50 | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64 | 32<br>40<br>50<br>64       |                      | 40<br>50<br>64<br>80<br>100 | 40<br>50<br>64<br>80<br>100 | 50<br>64<br>80<br>100 |

Dimensions en mm

| $t$ | $a$ |     |     |   |   |     |   |    |      |    |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|---|---|-----|---|----|------|----|-----|-----|-----|-----|-----|
|     | 2   | 2,5 | 3,2 | 4 | 5 | 6,3 | 8 | 10 | 12,5 | 16 | 20  | 25  | 32  | 40  | 50  |
| 32  |     |     |     |   |   |     |   | 32 | 32   | 32 | 32  |     |     |     |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   | 40 | 40   | 40 | 40  | 40  |     | 40  |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   | 50 | 50   | 50 | 50  | 50  |     | 50  | 50  |
|     |     |     |     |   |   |     |   | 64 | 64   | 64 | 64  | 64  |     | 64  | 64  |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      | 80 | 80  | 80  |     | 80  | 80  |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 100 | 100 |     | 100 | 100 |
| 40  |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    |     | 125 |     | 125 | 125 |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    | 40   | 40 | 40  | 40  | 40  |     |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    | 50   | 50 | 50  | 50  | 50  |     |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    | 64   | 64 | 64  | 64  | 64  |     | 64  |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      | 80 | 80  | 80  | 80  |     | 80  |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 100 | 100 | 100 |     | 100 |
| 50  |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    |     | 125 | 125 |     | 125 |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 40  | 40  |     |     |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 50  | 50  | 50  |     |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 64  | 64  | 64  | 64  |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 80  | 80  | 80  | 80  |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    | 100 | 100 | 100 | 100 |     |
|     |     |     |     |   |   |     |   |    |      |    |     | 125 | 125 | 125 |     |

Lors de l'utilisation de balais dont la valeur  $r$  est élevée, il convient de vérifier qu'ils peuvent être utilisés de manière satisfaisante pour la conception de porte-balais utilisée.

Il n'est pas recommandé d'utiliser un balai dont la valeur de la dimension  $r$  est supérieure à 125 mm. En particulier, la stabilité du balai doit être prise en compte (voir l'Annexe C).

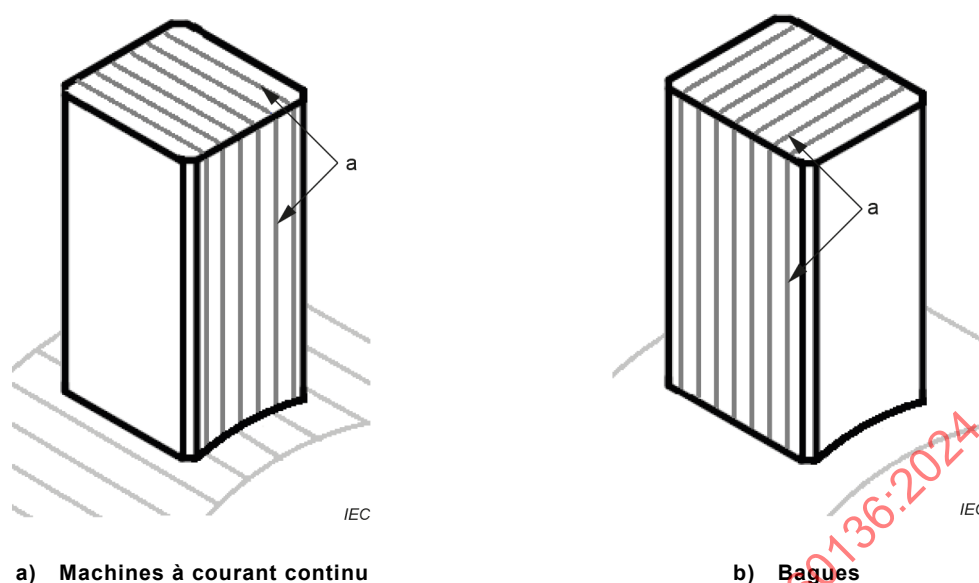
#### 5.4.2 Balai carré

Les balais à section carrée ne sont pas recommandés, en particulier lorsqu'une nuance anisotrope est utilisée, comme la nuance métallographique. Le sens de découpe du bloc doit être conforme au sens d'orientation du grain en rapport avec la surface de frottement, qui dépend de l'application.

La Figure 15 représente l'orientation préférentielle pour les machines à courant continu et les bagues.

Lorsque le client confirme qu'il souhaite utiliser un balai carré, il est fortement recommandé d'utiliser un chanfrein d'irréversibilité pour identifier la position correcte du balai dans la cage du porte-balais par rapport au sens de découpe.

Les dimensions recommandées du chanfrein d'irréversibilité sont spécifiées au 6.1.3 pour les balais et au 9.2.3 pour les porte-balais.



#### Légende

- a plan d'orientation des grains pendant l'opération de moulage (perpendiculaire à la force de compression en cas de compression uniaxiale dans un moule)

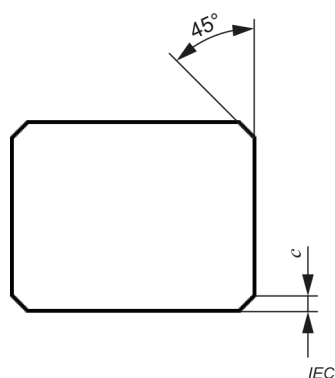
**Figure 15 – Orientation préférentielle des nuances anisotropes en fonction de l'application**

## 6 Dimensions supplémentaires des balais

### 6.1 Chanfreins

#### 6.1.1 Angle

Un angle de  $45^\circ$  doit être prévu pour le chanfrein des balais, comme cela est représenté sur la Figure 16.



**Figure 16 – Angle des chanfreins**

#### 6.1.2 Dimension

Les valeurs de la hauteur du chanfrein  $c$ , représentée sur la Figure 2 et sur la Figure 16, sont associées aux dimensions  $t$  ou  $a$  du balai.

La hauteur nominale du chanfrein, définie comme une valeur minimale assurant un guidage correct du balai à l'intérieur de la cage, doit être choisie dans le Tableau 5 en fonction de la valeur la plus faible entre  $t$  et  $a$ .

Le Tableau 5 fournit également une valeur nominale et une valeur maximale recommandées.

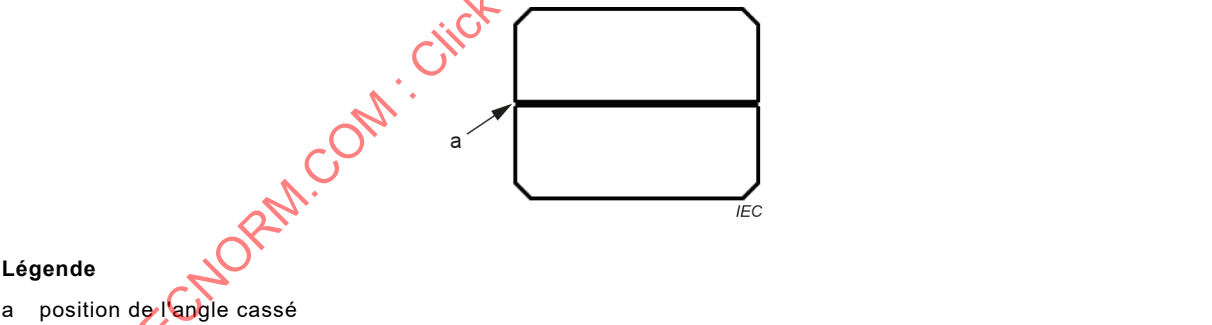
Lorsque d'autres valeurs de chanfreins (et leurs tolérances) sont utilisées, celles-ci doivent être indiquées sur le dessin du balai.

Tableau 5 – Dimension de la hauteur du chanfrein  $c$

Dimensions en mm

| Valeur la plus faible entre les dimensions $t$ et $a$                         | Valeurs de $c$         |          |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------|------------------------|
|                                                                               | Nominale (recommandée) | Minimale | Maximale (recommandée) |
| $(t \text{ ou } a) \leq 3,2$                                                  | 0,1                    | 0,1      | 0,4                    |
| $3,2 < (t \text{ ou } a) \leq 6,3$                                            | 0,3                    | 0,3      | 0,6                    |
| $6,3 < (t \text{ ou } a) \leq 8$                                              | 0,5                    | 0,5      | 0,8                    |
| $8 < (t \text{ ou } a) \leq 20$                                               | 1,0                    | 1,0      | 1,5                    |
| $20 < (t \text{ ou } a)$                                                      | 2,0                    | 2,0      | 2,5                    |
| NOTE Les dimensions normalisées en pouces sont indiquées dans le Tableau A.2. |                        |          |                        |

Pour les balais jumelés (doubles, triples, etc.), la valeur  $c$  des chanfreins extérieurs est indiquée dans le Tableau 5 en fonction de la dimension nominale  $t$  ou  $a$ . Aucun chanfrein n'est exigé entre les tranches. Toutefois, pour éviter toute ébréchure pendant la fabrication, les arêtes entre les tranches peuvent être légèrement cassées, comme cela est indiqué par la flèche sur la Figure 17.



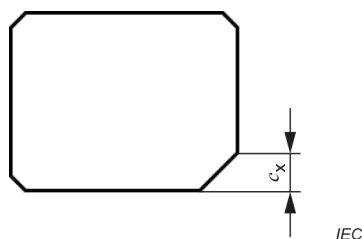
Légende  
a position de l'angle cassé

Figure 17 – Balai jumelé

La hauteur du chanfrein correspondante de la cage du porte-balais,  $c_H$ , définie au 3.1.14, doit être conforme au 9.2.3.

6.1.3 Chanfrein d'irréversibilité

Un chanfrein d'irréversibilité peut être ajouté lorsqu'il est nécessaire de monter le balai dans une position spécifique sur la machine électrique tournante (voir l'élément 146 de l'IEC 60276:2018). Cette caractéristique des balais est généralement appliquée pour les balais carrés (voir le 5.4.2), mais ne se limite pas qu'à ce type de balai.



**Figure 18 – Hauteur du chanfrein d'irréversibilité**

La hauteur recommandée  $c_x$  du chanfrein d'irréversibilité, définie sur la Figure 18, est indiquée dans le Tableau 6. Dans tous les cas, elle doit être strictement supérieure à la valeur de tolérance maximale de  $c$  (voir le 6.1.2).

**Tableau 6 – Valeurs recommandées pour la hauteur du chanfrein d'irréversibilité**

Dimensions en mm

| Valeur la plus faible entre les dimensions $t$ et $a$                         | Valeurs de $c_x$       |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------|----------------------|
|                                                                               | Nominale (et minimale) | Tolérance supérieure |
| $(t \text{ ou } a) \leq 6,3$                                                  | 2                      | +0,3                 |
| $6,3 < (t \text{ ou } a) \leq 10$                                             | 2,5                    | +0,3                 |
| $10 < (t \text{ ou } a) \leq 16$                                              | 3                      | +0,3                 |
| $20 < (t \text{ ou } a)$                                                      | 4                      | +0,5                 |
| NOTE Les dimensions normalisées en pouces sont indiquées dans le Tableau A.2. |                        |                      |

La hauteur correspondante du chanfrein d'irréversibilité de la cage du porte-balais,  $c_{HX}$ , définie sur la Figure 11 doit être choisie de sorte qu'il n'y ait ni coincement ni frottement entre le balai et la cage (voir aussi le 9.2.3).

## 6.2 Angles du biseau de contact et angles du biseau supérieur

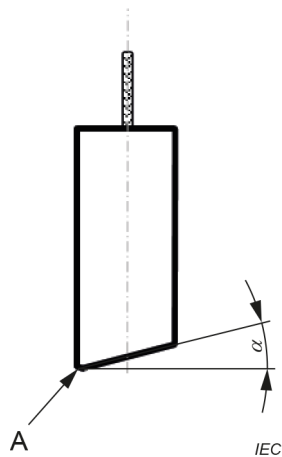
### 6.2.1 Angles du biseau de contact

Il convient de choisir l'angle du biseau de contact  $\alpha$  (voir la Figure 3) parmi les valeurs indiquées dans le Tableau 7.

Les angles du biseau de contact indiqués dans le Tableau 7 correspondent aux valeurs les plus couramment utilisées pour les machines électriques tournantes en fonctionnement, et constituent donc la norme pour la plupart des fabricants de balais. Pour des valeurs supérieures à  $20^\circ$ , il est recommandé d'étudier la stabilité du balai, en combinaison avec l'angle du biseau supérieur et le sens de rotation (voir le 6.2.3).

Les tolérances sur toutes les valeurs d'angle sont de  $\pm 1^\circ$ .

Lorsque  $\alpha$  est supérieur à  $15^\circ$  et que  $t$  est supérieure à 8 mm (5/16 in), l'arête vive de l'angle A peut être éliminée par le fabricant, comme cela est représenté sur la Figure 19, en lui donnant une surface plane (rebord), une forme arrondie ou un chanfrein d'une largeur maximale de 1 mm (0,04 in).



**Légende**

A arête vive au bas du balai

**Figure 19 – Arête vive lorsqu'un angle du biseau de contact  $\alpha$  est appliqué**

NOTE En pratique, de nombreux moteurs ou générateurs à courant continu de conception ancienne utilisent encore des angles intermédiaires ou des angles supérieurs à 35°. Par exemple, sur les moteurs à rotation inversable, des porte-balais tandem en V avec un angle  $\alpha$  de 40° sont utilisés.

**6.2.2 Angles du biseau supérieur**

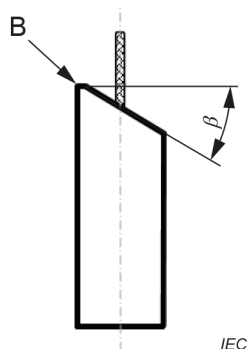
Les valeurs préférentielles pour l'angle du biseau supérieur  $\beta$  (voir la Figure 4) sont indiquées dans le Tableau 7.

**Tableau 7 – Valeurs préférentielles pour l'angle du biseau de contact  $\alpha$  et l'angle du biseau supérieur  $\beta$**

| Dimensions en °                                                                                                                   |                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Angle                                                                                                                             | Valeurs nominales <sup>a</sup> |
| $\alpha$                                                                                                                          | 0; 7,5; 15; 20; 22,5; 30; 35   |
| $\beta$                                                                                                                           | 0; 7,5; 15; 20; 22,5; 25; 30   |
| <sup>a</sup> Les valeurs spécifiées sont des valeurs absolues (les angles $\alpha$ et $\beta$ peuvent être positifs ou négatifs). |                                |

Les tolérances sur toutes les valeurs d'angle sont de  $\pm 1^\circ$ .

Lorsque  $\beta$  est supérieur à 15°, il est recommandé d'éliminer l'arête vive de l'angle B, en lui donnant une surface plane d'une largeur maximale de 1 mm (0,04 in), comme cela est représenté sur la Figure 20.



#### Légende

B arête vive à la tête du balai

**Figure 20 – Surface plane d'une arête  
lorsqu'un angle du biseau de contact  $\beta$  est appliqué**

Les angles supérieurs à  $30^\circ$  ne sont pas recommandés, car ils peuvent altérer la stabilité du balai, en particulier lorsque celui-ci est usé (voir le 6.2.3).

#### 6.2.3 Combinaison d'angles

Les angles sont associés à la stabilité du balai en fonctionnement. Une étude de la stabilité peut être utile pour définir les angles  $\alpha$  et  $\beta$  appropriés. L'étude doit notamment tenir compte de la pression spécifique, du point d'application de la pression, du sens de rotation et du coefficient de frottement de la nuance du balai. L'Annexe C explique les considérations relatives à la stabilité des balais.

Le Tableau 8 donne quelques valeurs historiques types des combinaisons d'angle du biseau de contact et d'angle du biseau supérieur.

**Tableau 8 – Valeurs de combinaison types pour  
l'angle du biseau de contact  $\alpha$  et l'angle du biseau supérieur  $\beta$**

Dimensions en  $^\circ$

| Valeurs de $\alpha$                                                                                                                                                                                                                                         | Valeurs recommandées de $\beta$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 0 <sup>a</sup>                                                                                                                                                                                                                                              | 0; 7,5; 15                      |
| 7,5 à 8 <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                                                                        | 0; 7,5; 15                      |
| 15 <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                                                                             | 0; 7,5; 15                      |
| 20 <sup>b</sup>                                                                                                                                                                                                                                             | 20; 25                          |
| 22,5                                                                                                                                                                                                                                                        | 22,5; 25                        |
| > 25 et < 40 <sup>c</sup>                                                                                                                                                                                                                                   | 25; 30; 35; 40                  |
| NOTE Les valeurs des angles spécifiées dans ce tableau sont des valeurs absolues.<br><sup>a</sup> Balai radial.<br><sup>b</sup> Dimension type d'un balai traînant ( $\alpha < 0$ ).<br><sup>c</sup> Dimension type d'un balai à réaction ( $\alpha > 0$ ). |                                 |

### 6.3 Surface d'application de la pression

La tête du balai doit comporter une surface symétrique par rapport à l'axe principal du balai, libre de toute connexion au balai, sur laquelle peut être appliquée la pression. La largeur de la surface d'application de la pression  $w_p$  est importante pour définir les dimensions du système de pression, en particulier de type rouleau.

Les valeurs de la largeur de la surface d'application de la pression  $w_p$  sont associées soit à  $a$ , soit à  $t$ , selon le type de machine, comme cela est représenté sur la Figure 5:

- pour les machines à courant continu:  $w_p$  est définie dans le sens axial (par rapport à  $a$ );
- pour les machines équipées de bagues:  $w_p$  est définie dans le sens axial (par rapport à  $t$ ).

Le Tableau 9 fournit les valeurs minimales recommandées pour  $w_p$ .

**Tableau 9 – Valeurs minimales recommandées pour la largeur de la surface d'application de la pression  $w_p$**

Dimensions en mm

| Dimension $t$ ou $a$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Valeur minimale de $w_p$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| 12,5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 6,3                      |
| 16                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 6,3                      |
| 20                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 10                       |
| 25                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 12,5 <sup>a</sup>        |
| 32                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 16                       |
| 40                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 20                       |
| 50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 25                       |
| <p>NOTE Les dimensions en pouces sont indiquées dans le Tableau A.3.</p> <p><sup>a</sup> Il est reconnu que pour les balais dont <math>a</math> ou <math>t</math> a une valeur de 25 mm (1 in), plusieurs porte-balais utilisent des doigts de pression d'une largeur de 12,5 mm (1/2 in). Dans ces cas, les fabricants de balais augmentent la dimension <math>w_p</math> à une valeur appropriée ou utilisent deux câbles (shunts).</p> |                          |

Lorsqu'il est difficile ou impossible d'utiliser le type de connexion représenté sur les figures du présent document, le fabricant a la possibilité d'utiliser d'autres types d'insertions du câble (shunt).

### 6.4 Profondeur d'insertion $q_i$ du câble (shunt) dans le balai

Le fabricant de balais utilise généralement la partie du balai la plus proche de la tête pour insérer le câble (shunt) dans le matériau du balai, comme cela est représenté sur la Figure 6.

La valeur de  $q_i$  dépend du diamètre  $D_S$  du câble. Les valeurs recommandées pour  $q_i$  sont indiquées dans le Tableau 10.

**Tableau 10 – Valeurs maximales de la profondeur d'insertion  $q_i$**

Dimensions en mm

| Dimension $D_s$                                                               | Valeur maximale recommandée de $q_i$ |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| 1                                                                             | 6                                    |
| 1,2                                                                           | 6                                    |
| 1,4                                                                           | 7                                    |
| 1,6                                                                           | 8                                    |
| 1,8                                                                           | 9                                    |
| 2                                                                             | 10                                   |
| 2,2                                                                           | 11                                   |
| 2,5                                                                           | 12                                   |
| 2,8                                                                           | 13                                   |
| 3,2                                                                           | 14                                   |
| 3,6                                                                           | 15                                   |
| 4                                                                             | 16                                   |
| 4,5                                                                           | 17                                   |
| 5                                                                             | 18                                   |
| 5,6                                                                           | 19                                   |
| 6,3                                                                           | 20                                   |
| NOTE Les dimensions normalisées en pouces sont indiquées dans le Tableau A.4. |                                      |

Dans le cas des balais tandem et des balais jumelés, il convient de prendre la valeur maximale de  $q_i$  du Tableau 10 qui correspond à la section de chaque bloc.

Le câble est défini à la fois en fonction de la nuance et des dimensions du bloc de balai (les câbles sont spécifiés au 7.1). Par conséquent, la profondeur d'insertion peut être légèrement différente d'un balai à l'autre. Une tolérance est également appliquée en raison des disparités constatées au niveau du perçage des trous.

Si le fabricant de balais ne peut pas assurer une connexion satisfaisante en appliquant les valeurs indiquées dans le Tableau 10, il convient qu'il en informe le client et lui suggère la valeur de  $q_i$  modifiée qui est nécessaire.

#### EXEMPLE

Les valeurs indiquées dans le Tableau 11 représentent les valeurs maximales de  $q_i$  déterminées pour un balai normalisé d'une nuance choisie dans la famille EG (en électrographite) pour une machine à courant continu.

**Tableau 11 – Exemples de valeurs maximales de  $q_i$  pour une nuance EG**

Dimensions en mm

| Valeurs de $t$ | Valeurs de $a$  |                 |                 |                 |              |              |                |                 |                 |                 |              |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------|
|                | 5               | 6,3             | 8               | 10              | 12,5         | 16           | 20             | 25              | 32              | 40              | 50           |
| 5              | <sup>a</sup>    | 6               | 6               | 6               | 6            | 7            | 8 <sup>b</sup> | 9 <sup>b</sup>  | 10 <sup>b</sup> | 12 <sup>b</sup> |              |
| 6,3            | 6               | <sup>a</sup>    | 6               | 6               | 7            | 8            | 9              | 10 <sup>b</sup> | 12 <sup>b</sup> | 13 <sup>b</sup> |              |
| 8              | 6               | 6               | <sup>a</sup>    | 7               | 8            | 9            | 10             | 12              | 13 <sup>b</sup> | 15 <sup>b</sup> |              |
| 10             | 6               | 7               | 7               | <sup>a</sup>    | <sup>a</sup> | 11           | 12             | 13              | 15              | 16 <sup>b</sup> | 18           |
| 12,5           | 6               | 7               | 8               | <sup>a</sup>    | <sup>a</sup> | <sup>a</sup> | 13             | 15              | 16              | 18              | 19           |
| 16             | 7               | 8               | 9               | 11              | <sup>a</sup> | <sup>a</sup> | 15             | 16              | 18              | 19              | 20           |
| 20             | 8 <sup>b</sup>  | 9               | 10              | 12              | 13           | 15           | <sup>a</sup>   | 18              | 19              | 20              | <sup>c</sup> |
| 25             | 9 <sup>b</sup>  | 10 <sup>b</sup> | 12              | 13              | 15           | 16           | 18             | <sup>a</sup>    | 20              | <sup>c</sup>    | <sup>c</sup> |
| 32             | 10 <sup>b</sup> | 12 <sup>b</sup> | 13 <sup>b</sup> | 15              | 16           | 18           | 19             | 20              | <sup>a</sup>    | <sup>c</sup>    | <sup>c</sup> |
| 40             | 12 <sup>b</sup> | 13 <sup>b</sup> | 15 <sup>b</sup> | 16 <sup>b</sup> | 18           | 19           | 20             | <sup>c</sup>    | <sup>c</sup>    | <sup>a</sup>    | <sup>c</sup> |
| 50             |                 |                 |                 | 18              | 19           | 20           | <sup>c</sup>   | <sup>c</sup>    | <sup>c</sup>    | <sup>c</sup>    | <sup>a</sup> |

<sup>a</sup> Combinaison non recommandée, comme cela est expliqué au 5.4.2.

<sup>b</sup> Combinaison non recommandée, selon le Tableau 4.

<sup>c</sup> Combinaison non recommandée, car il convient généralement d'utiliser 2 câbles.

Des valeurs de  $q_i$  moins élevées peuvent être appliquées à la demande du client pour prolonger la durée de vie des balais. Il doit être gardé à l'esprit que les propriétés relatives à la connexion câble/balai (résistance électrique et résistance à l'arrachement) peuvent être altérées. Par conséquent, un accord doit être fixé entre le client et le fabricant de balais en s'appuyant sur les propriétés souhaitées du balai, qui doivent être définies en fonction de l'application finale de la machine.

### 6.5 Largeur du matériau résiduel adjacent au câble

La largeur du matériau résiduel adjacent au câble, définie au 3.1.7 et représentée sur la Figure 7, doit être réduite le plus possible afin d'éviter toute fissure à l'intérieur du bloc de balai lors du perçage et/ou de la fixation du câble (par scellement ou par rivets). Les valeurs spécifiées dans le Tableau 12 correspondent à la largeur minimale à respecter par rapport au diamètre du câble.

Les valeurs du Tableau 12 concernent les nuances de balais qui ont une résistance minimale à la flexion de 20 MPa, ce qui représente la majorité des nuances EG, CG et MG.

Pour les nuances fragiles comme NG ou BG, qui présentent ainsi une résistance à la flexion inférieure à 20 MPa, il convient d'ajouter 0,2 mm aux valeurs spécifiées dans le Tableau 12.

Pour les nuances à haute résistance à la flexion (supérieure à 60 MPa, par exemple), une valeur inférieure peut être appliquée après la réalisation d'une étude de faisabilité par le fabricant de balais.

Comme on peut le constater d'après le Tableau 12 et le Tableau 9, il peut y avoir un conflit entre les deux concepts de surface minimale pour l'application de la pression  $w_p$  et de largeur minimale du matériau résiduel  $w_i$ . Par conséquent, un accord doit être fixé entre l'utilisateur et le fabricant de balais pour assurer un bon fonctionnement du balai et sa fabrication. Il doit être gardé à l'esprit que le choix du type de porte-balais a une influence sur la conception du balai.

NOTE L'IEC 60413 spécifie la méthode pour déterminer la résistance à la flexion des nuances de balais.

**Tableau 12 – Largeur minimale du matériau résiduel**

Dimensions en mm

| Dimension $D_s$                                                                 | Largeur minimale du matériau résiduel $w_i$ |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1                                                                               | 1,4                                         |
| 1,3                                                                             | 1,4                                         |
| 1,6                                                                             | 1,5                                         |
| 1,8                                                                             | 1,6                                         |
| 2                                                                               | 1,6                                         |
| 2,4                                                                             | 1,7                                         |
| 2,7                                                                             | 1,9                                         |
| 3,3                                                                             | 2,4                                         |
| 3,7                                                                             | 2,9                                         |
| 4,2                                                                             | 2,9                                         |
| 4,7                                                                             | 3,5                                         |
| 5,3                                                                             | 3,5                                         |
| 5,9                                                                             | 4,0                                         |
| 6,7                                                                             | 4,0                                         |
| NOTE La plage de tolérances est généralement comprise entre + 0 mm et + 0,5 mm. |                                             |

## 6.6 Limite d'utilisation d'un balai usé $r_m$

La limite d'utilisation d'un balai usé, définie au 3.1.8 et représentée sur la Figure 8, doit être légèrement supérieure à la valeur de  $q_i$ . La limite  $r_m$  dépend de différents facteurs, notamment:

- les valeurs réelles de  $q_i$ ;
- les éléments (ou parties d'éléments) montés sur un balai et inclus dans la dimension  $r$ , comme les plaquettes, qui participent à l'application de la pression (voir l'exemple b) de la Figure 8);
- le type de ressort de pression, notamment la pression restante lorsque le balai est usé.

L'utilisateur doit surveiller l'usure du balai afin de le remplacer lorsque la limite d'utilisation  $r_m$  est atteinte.

Un trait indiquant la limite d'utilisation doit être apposé sur le balai neuf par le fabricant à la demande de l'utilisateur ou de sa propre initiative. Le marquage doit être conforme au 4.2.2.

La valeur de  $r_m$  n'est pas mentionnée dans le présent document, car elle dépend de la conception et de l'application du balai (notamment du taux d'usure).

Pour les besoins du guidage, du marquage, etc., la dimension  $r_m$  est limitée à une valeur minimale:

- pour les balais radiaux et les balais inclinés dont  $\alpha \leq 15^\circ$ , il est recommandé que la valeur de  $r_m$  ne soit pas inférieure à 35 % de la valeur de  $r$ ;
- pour les balais inclinés dont  $\alpha > 15^\circ$ , il est recommandé que la valeur de  $r_m$  soit  $\geq 30$  % de la valeur de  $r$ .

Si des dispositions spéciales doivent être prises pour empêcher une usure supérieure à  $r_m$ , celles-ci doivent être fixées au balai et non au porte-balais.

## 7 Connexions des balais: câbles et cosses

### 7.1 Câbles

#### 7.1.1 Généralités

Les câbles (ou shunts en américain) sont composés de plusieurs fils métalliques unitaires assemblés ensemble. Deux assemblages principaux sont utilisés pour les câbles de balais: le toron et la tresse, comme cela est représenté sur la Figure 21.



**Figure 21 – Représentation de la configuration des câbles**

NOTE Un toron est constitué d'un assemblage de plusieurs fils unitaires tordus de manière hélicoïdale. En général, plusieurs torons sont toronnés ensemble pour constituer le câble. Une tresse comporte plusieurs fils unitaires (ou torons) tressés ensemble.

En général, le matériau du fil unitaire est le cuivre. Le cuivre doit être choisi parmi le Cu-ETP (Electrolytic Tough Pitch) ou le Cu-OF (Oxygen free), définis dans l'ISO 197-1. Lorsqu'une plus grande résistance aux produits chimiques ou à l'oxydation est nécessaire, le fil unitaire peut être plaqué avec de l'étain, de l'argent ou du nickel.

Il doit être noté que les dimensions du câble peuvent varier légèrement en fonction de la configuration et de la nature chimique du métal.

D'autres configurations que celles représentées sur la Figure 21 sont possibles (câble tressé plat de section rectangulaire, par exemple). Il est donc possible que certains articles du présent document ne s'appliquent pas.

La position du câble sur le balai doit être choisie avec soin afin que le câble ne soit pas détérioré lors de l'installation ou du fonctionnement du balai (des fils peuvent être sectionnés si le câble touche un élément métallique du porte-balais, par exemple). L'Annexe E donne un exemple de définition des positions.

#### 7.1.2 Surface nominale et diamètre maximal des câbles

La définition du câble doit être étudiée d'un point de vue électrique: sa section est liée à l'intensité de courant admissible.

Il convient que les valeurs de courant nominal par câble indiquées dans le Tableau 13 servent de guide pour déterminer la configuration du câble. Le Tableau 13 donne les valeurs recommandées pour la surface nominale et le diamètre maximal du câble  $D_S$ .

NOTE Le diamètre du câble dépend de sa configuration (diamètre des fils unitaires, matériau, montage, etc.). Par conséquent, seule une valeur maximale du diamètre du câble est indiquée dans le Tableau 13. Quelques exemples de configurations sont donnés à titre de référence à l'Annexe D.

En pratique, le courant nominal par câble est calculé à partir du courant qui doit parcourir chaque balai et du nombre de câbles par balai. Il est recommandé de mettre au moins 2 câbles par tranche en cas de problème de fonctionnement (câble sectionné ou arraché). Si le courant nominal par câble calculé ne correspond pas exactement à la valeur du Tableau 13, il doit être arrondi à la valeur supérieure.

**Tableau 13 – Surface nominale recommandée pour les câbles et diamètre maximal correspondant**

| Courant nominal par câble <sup>a</sup>                                                                                                                                                                           | Surface nominale | Diamètre maximal $D_S$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------|
| A                                                                                                                                                                                                                | mm <sup>2</sup>  | mm                     |
| 7                                                                                                                                                                                                                | 0,25             | 1,0                    |
| 9                                                                                                                                                                                                                | 0,5              | 1,3                    |
| 12                                                                                                                                                                                                               | 0,75             | 1,6                    |
| 15                                                                                                                                                                                                               | 1,0              | 1,8                    |
| 17,5                                                                                                                                                                                                             | 1,25             | 2,0                    |
| 20                                                                                                                                                                                                               | 1,5              | 2,2                    |
| 24                                                                                                                                                                                                               | 2,0              | 2,4                    |
| 28                                                                                                                                                                                                               | 2,5              | 2,7                    |
| 32                                                                                                                                                                                                               | 3,2              | 3,0                    |
| 38                                                                                                                                                                                                               | 4,0              | 3,3                    |
| 44                                                                                                                                                                                                               | 5,0              | 3,7                    |
| 50                                                                                                                                                                                                               | 6,0              | 4,2                    |
| 60                                                                                                                                                                                                               | 8,0              | 4,7                    |
| 75                                                                                                                                                                                                               | 10,0             | 5,3                    |
| 85                                                                                                                                                                                                               | 12,5             | 5,9                    |
| 100                                                                                                                                                                                                              | 16,0             | 6,7                    |
| <sup>a</sup> Il correspond à un courant continu (et non à un maximum) pour lequel les propriétés du câble ne sont pas altérées.<br>NOTE Les dimensions normalisées en pouces sont indiquées dans le Tableau A.5. |                  |                        |

D'autres configurations peuvent être utilisées lorsque les paramètres d'application sont spécifiques, par exemple pour les moteurs de traction, les générateurs d'éoliennes ou la mise à la terre. Cela inclut les câbles à tresse plate.

Il convient d'informer le fabricant de balais des cas de surintensités exceptionnelles ou de ventilation réduite, afin qu'il puisse adapter la taille du câble en conséquence.

### 7.1.3 Longueur du câble

La longueur des câbles  $l_S$  doit être mesurée comme cela est représenté sur la Figure 9 et il convient de la choisir parmi les valeurs spécifiées dans le Tableau 14, qui donne également les tolérances.

**Tableau 14 – Longueurs normalisées des câbles  $l_s$  et tolérances**

Dimensions en mm

| Valeur nominale <sup>a</sup> de $l_s$                                         | Tolérances |            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------|------------|
|                                                                               | Inférieure | Supérieure |
| 16; 20; 25; 32; 40                                                            | 0          | +3         |
| 50; 56; 63; 71; 80; 90; 100                                                   | 0          | +5         |
| 112; 125; 140; 160; 200; 250                                                  | 0          | +8         |
| <sup>a</sup> Les valeurs sont issues des séries de Renard (ISO 3 – Ra10).     |            |            |
| NOTE Les dimensions normalisées en pouces sont indiquées dans le Tableau A.6. |            |            |

#### 7.1.4 Protection du câble

Une gaine peut être placée autour du câble pour le protéger du point de vue de:

- l'isolation, lorsqu'une haute tension est attendue, pour éviter les courts-circuits;
- la résistance mécanique, lorsqu'un niveau de vibration élevé est suspecté sur la machine, pour éviter une rupture des fils.

Il doit être gardé à l'esprit qu'une telle protection du câble a une incidence négative en cas de température élevée dans le balai, car les matériaux sont généralement des isolants thermiques.

### 7.2 Cosses

#### 7.2.1 Généralités

Pour les cosses axiales, drapeaux, à double bourrelet, tubulaires, fourches et pastilles, les dimensions principales indiquées sur les figures du 7.2 doivent être respectées:

- diamètre du trou de la cosse (qui correspond à la vis):  $D_T$ ;
- largeur de la cosse:  $W_T$ ;
- longueur (totale) de la cosse:  $L_T$ ;
- distance entre le trou de la vis et la base de la cosse (qui ne comprend pas la partie fixée au câble) le long de l'axe du câble:  $y_T$ ;
- distance entre le trou de la vis et le côté du câble perpendiculaire à la direction du câble:  $x_T$ ;
- distance entre l'extrémité libre de la cosse et la base de la cosse (qui ne comprend pas la partie fixée au câble):  $z_T$ .

NOTE Ces cosses sont définies au 5.4 de l'IEC 60276:2018 – élément 402 pour la cosse axiale, élément 401 pour la cosse drapeau, élément 404 pour la cosse à double bourrelet et élément 407 pour la cosse pastille.

Les détails relatifs aux formes des cosses et aux autres dimensions sont laissés à la discrétion du fabricant.

Les dimensions indiquées dans les Tableaux 15 à 20 indiquent le jeu minimal pour une clé plate ou une clé à molette.

Les tolérances sur la valeur nominale  $D_T$  sont comprises entre 0 et +0,3 (indication  $DT_0^{+0,3}$  sur le dessin).

L'épaisseur du matériau peut être choisie parmi les valeurs indiquées à l'Annexe F.

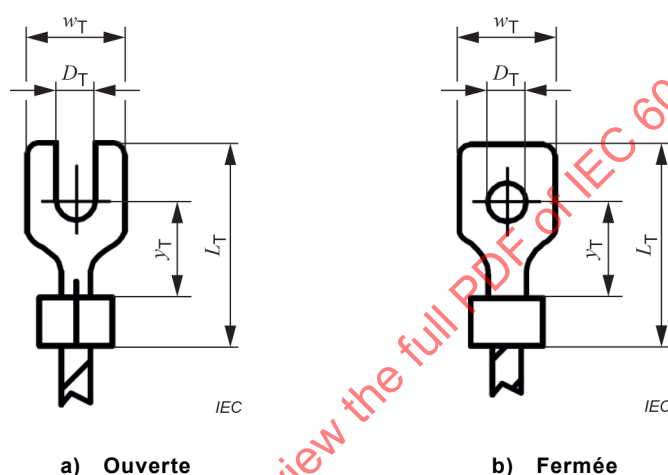
Les cosses serties sont traitées aux 7.2.2 à 7.2.5, tandis que certaines cosses soudées sont définies au 7.2.6.

Les cosses qui n'exigent pas l'utilisation d'une vis, comme les cosses de type connexion rapide (l'élément 405 de l'IEC 60276:2018, par exemple) sont admises sous réserve que leurs dimensions soient fixées d'un commun accord entre le fabricant de balais et le concepteur de la machine.

Lors de l'installation de balais neufs, il est fortement recommandé d'appliquer un couple approprié conformément aux normes spécifiques à la vis utilisée (diamètre et matériau).

## 7.2.2 Cosses axiales

La Figure 22 définit la forme générale et les dimensions principales des cosses axiales.



### Légende

$D_T$  diamètre du trou de la cosse

$w_T$  largeur de la cosse

$L_T$  longueur totale de la cosse

$y_T$  distance entre le trou de la vis et la base de la cosse (qui ne comprend pas la partie fixée au câble)

**Figure 22 – Définition de la forme et des dimensions des cosses axiales**

Le Tableau 15 indique les valeurs normalisées des dimensions des cosses axiales en fonction du diamètre de la vis.

Tableau 15 – Valeurs normalisées des dimensions des cosses axiales

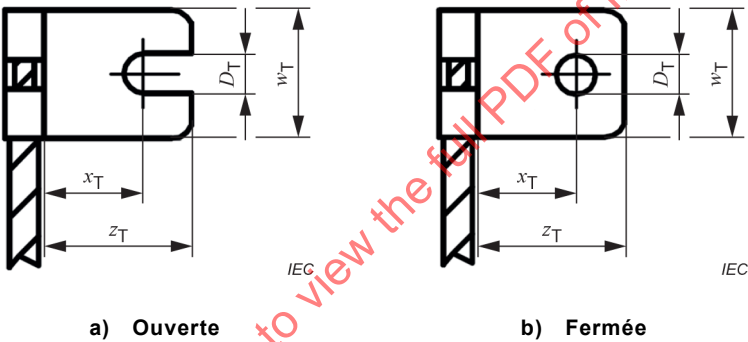
Dimensions en mm

| Diamètre nominal de la vis | Valeur nominale de $D_T$ | Valeur maximale de $w_T$ <sup>a</sup> | Valeur maximale de $L_T$ | Valeur minimale de $y_T$ |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2,5                        | 2,8                      | 7                                     | 14                       |                          |
| 4                          | 4,3                      | 11                                    | 18                       | 6                        |
| 5                          | 5,2                      | 13                                    | 20                       | 7                        |
| 6                          | 6,5                      | 17                                    | 28                       | 8,5                      |
| 8                          | 8,5                      | 21                                    | 32                       | 10,5                     |
| 10                         | 10,5                     | 23                                    | 40                       | 13                       |

<sup>a</sup> Des largeurs de bande normalisées peuvent être utilisées pour la dimension de largeur  $w_T$ .

7.2.3 Cosses drapeaux

La Figure 23 définit la forme et les dimensions principales des cosses drapeaux.



Légende

- $D_T$  diamètre du trou de la cosse
- $w_T$  largeur de la cosse
- $x_T$  distance entre le trou de la vis et le côté du câble perpendiculaire à la direction du câble
- $z_T$  distance entre l'extrémité libre de la cosse et la base de la cosse

Figure 23 – Définition de la forme et des dimensions des cosses drapeaux

Le Tableau 16 indique les valeurs normalisées des dimensions des cosses drapeaux en fonction du diamètre de la vis.

Tableau 16 – Valeurs normalisées des dimensions des cosses drapeaux

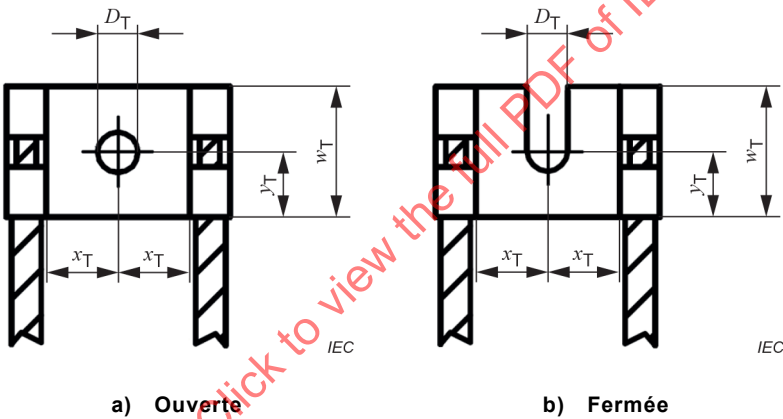
Dimensions en mm

| Diamètre nominal de la vis | Valeur nominale de $D_T$ | Valeur maximale de $W_T$ <sup>a</sup> | Valeur maximale de $z_T$ | Valeur minimale de $x_T$ |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 2,5                        | 2,8                      | 7                                     | 8                        |                          |
| 4                          | 4,3                      | 11                                    | 12                       | 6                        |
| 5                          | 5,2                      | 13                                    | 13                       | 7                        |
| 6                          | 6,5                      | 17                                    | 16                       | 8,5                      |
| 8                          | 8,5                      | 21                                    | 20                       | 10,5                     |
| 10                         | 10,5                     | 23                                    | 25                       | 13                       |

<sup>a</sup> Des largeurs de bande normalisées peuvent être utilisées pour la dimension de largeur  $W_T$ .

7.2.4 Cosse à double bourrelet

La Figure 24 définit la forme et les connexions principales des cosses à double bourrelet.



Légende

$D_T$  diamètre du trou de la cosse

$w_T$  largeur de la cosse

$y_T$  distance entre le trou de la vis et la base de la cosse

$x_T$  distance entre l'axe du trou de la vis et le côté du câble perpendiculaire à la direction du câble

Figure 24 – Définition de la forme et des dimensions des cosses à double bourrelet

Pour les cosses à double bourrelet fermées, la valeur de  $y_T$  est généralement égale à la valeur de  $W_T$  divisée par 2.

Le Tableau 17 indique les valeurs normalisées des dimensions des cosses à double bourrelet en fonction du diamètre de la vis.

Tableau 17 – Valeurs normalisées des dimensions des cosses à double bourrelet

Dimensions en mm

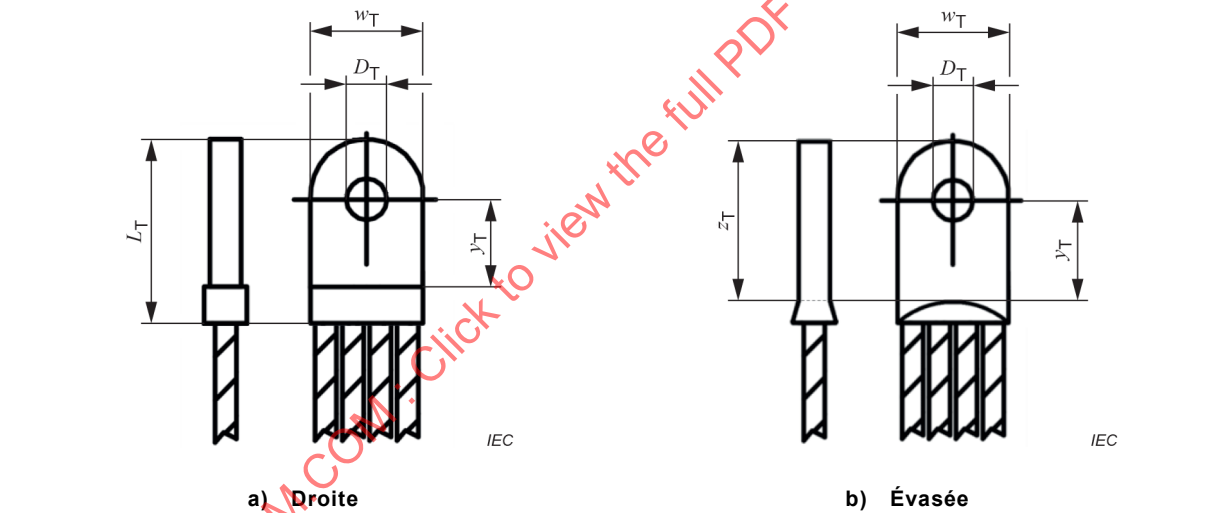
| Diamètre nominal de la vis | Valeur nominale de $D_T$ | Valeur maximale de $w_T$ <sup>a</sup> | Valeur maximale de $y_T$ <sup>b</sup> | Valeur minimale égale à 2 fois la valeur de $x_T$ |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 4                          | 4,3                      | 11                                    | 6                                     | 12                                                |
| 5                          | 5,2                      | 13                                    | 7                                     | 14                                                |
| 6                          | 6,5                      | 17                                    | 9                                     | 17                                                |
| 8                          | 8,5                      | 21                                    | 11                                    | 21                                                |
| 10                         | 10,5                     | 23                                    | 11                                    | 26                                                |

<sup>a</sup> Des largeurs de bande normalisées peuvent être utilisées pour la dimension de largeur  $w_T$ .

<sup>b</sup> S'applique uniquement aux cosses à double bourrelet ouvertes.

7.2.5 Cosses tubulaires

La Figure 25 définit la forme et les dimensions principales des cosses tubulaires (également appelées cosses tubes ou cosses pliées).



Légende

- $D_T$  diamètre du trou de la cosse
- $w_T$  largeur de la cosse
- $L_T$  longueur de la cosse
- $y_T$  distance entre le trou de la vis et la base de la cosse (qui ne comprend pas la partie fixée au câble)
- $z_T$  distance entre l'extrémité libre de la cosse et la base de la cosse

NOTE Les sous-figures a) et b) ci-dessus sont des exemples de cosses tubulaires. D'autres formes sont possibles, par exemple: extrémité rectangulaire (partie où se trouve le trou de vis), partie sertie droite, ouverte, etc.

Figure 25 – Définition de la forme et des dimensions des cosses tubulaires

Le Tableau 18 indique les valeurs normalisées des dimensions des cosses tubulaires en fonction du diamètre de la vis.

Tableau 18 – Valeurs normalisées des dimensions des cosses tubulaires

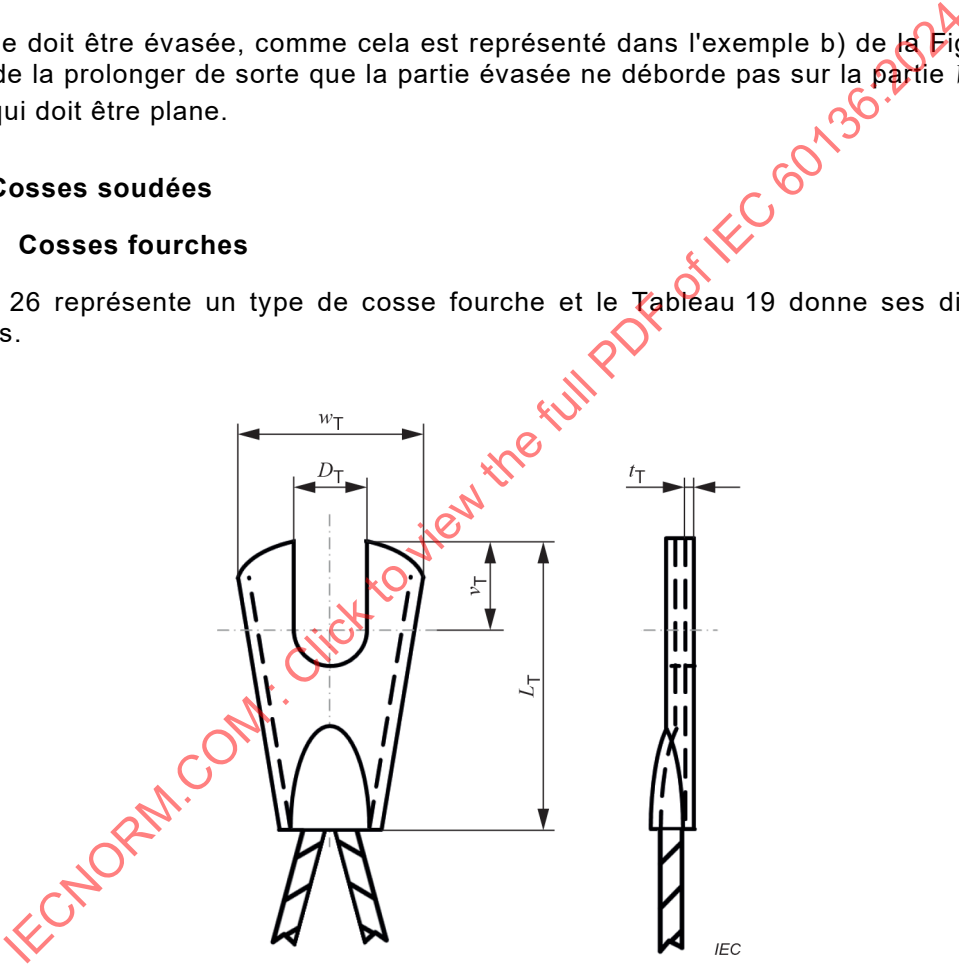
| Dimensions en mm           |                          |                          |                                   |                          |
|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| Diamètre nominal de la vis | Valeur nominale de $D_T$ | Valeur maximale de $W_T$ | Valeur maximale de $z_T$ ou $L_T$ | Valeur minimale de $y_T$ |
| 4                          | 4,3                      | 11                       | 12                                | 6                        |
| 5                          | 5,2                      | 13                       | 13                                | 7                        |
| 6                          | 6,5                      | 17                       | 16                                | 8,5                      |
| 8                          | 8,5                      | 21                       | 20                                | 10,5                     |
| 10                         | 10,5                     | 23                       | 25                                | 13                       |

Si la cosse doit être évasée, comme cela est représenté dans l'exemple b) de la Figure 25, il convient de la prolonger de sorte que la partie évasée ne déborde pas sur la partie  $W_T \times L_T$  et  $W_T \times y_T$ , qui doit être plane.

7.2.6 Cosses soudées

7.2.6.1 Cosses fourches

La Figure 26 représente un type de cosse fourche et le Tableau 19 donne ses dimensions principales.



Légende

- $D_T$  diamètre du trou de la cosse
- $w_T$  largeur de la cosse
- $L_T$  longueur de la cosse
- $v_T$  distance entre l'axe du trou de la vis et l'extrémité libre de la cosse
- $t_T$  épaisseur de la plaquette de la cosse

NOTE  $v_T$  correspond à  $z_T$  moins  $y_T$  (utilisée sur les Figures 22 à Figure 25).

Figure 26 – Définition de la forme (exemple) et des dimensions des cosses fourches

Tableau 19 – Valeurs normalisées des dimensions des cosses fourches et tolérances

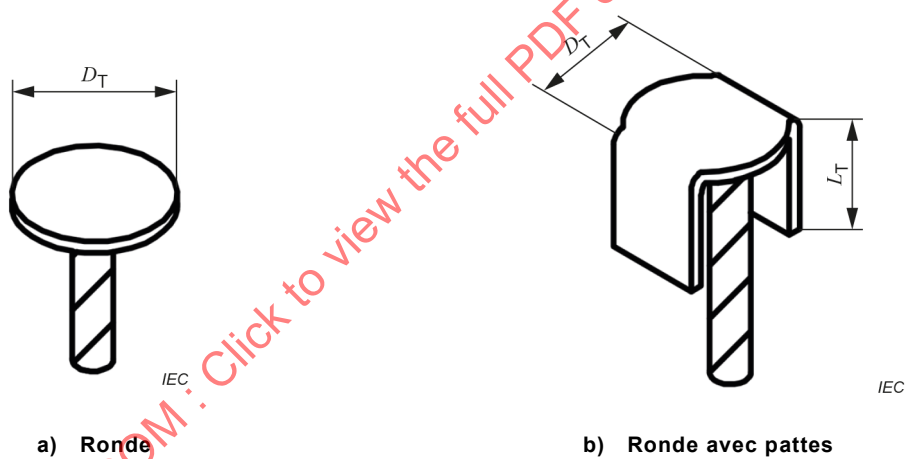
Dimensions en mm

| Diamètre nominal de la vis         | Valeur nominale de $D_T$ | Valeur nominale de $L_T$ | Valeur nominale de $W_T$  | Valeur nominale de $v_T$ | Valeur nominale de $t_T$ |
|------------------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| M5                                 | 5,5                      | 20                       | 13                        | 6,5                      | 0,45                     |
| M6                                 | 6,5                      | 24                       | 16                        | 8                        | 0,45                     |
| M8                                 | 8,5                      | 29                       | 19                        | 9,5                      | 0,45                     |
| Tolérances (inférieure/supérieure) | -0,1 / +0,3              | ±1,5                     | ±0,8<br>sauf ±1,0 pour M8 | -                        | ±0,05                    |

NOTE Ce type de cosse est couramment utilisé au Japon (JIS C2802).

7.2.6.2 Cosses pastilles

La Figure 27 représente deux exemples de cosses pastilles couramment utilisées pour les porte-balais de type cartouche.



Légende

$D_T$  diamètre de la cosse

$L_T$  longueur de la cosse

[SOURCE: IEC 60276:2018 – élément 407 – dimensions ajoutées]

Figure 27 – Définition de la forme (exemples) et des dimensions des deux types de cosses pastilles

La forme et les dimensions doivent être fixées d'un commun accord entre l'utilisateur et le fabricant.

7.2.7 Intensité admissible des cosses

Afin d'éviter que les petites cosses soient utilisées avec des câbles de grande section ou inversement, il est souhaitable de déterminer une intensité admissible pour chacune des cosses.

Le Tableau 20 définit l'intensité admissible recommandée pour les cosses en fonction du diamètre de la vis. Des valeurs plus élevées peuvent être utilisées sous réserve d'un accord entre le fabricant et l'utilisateur.

**Tableau 20 – Valeurs minimales de l'intensité admissible pour les cosses**

| Diamètre nominal<br>de la vis<br>mm                                               | Intensité admissible <sup>a</sup><br>pour les cosses axiales<br>et les cosses drapeaux<br>A | Intensité admissible <sup>a</sup><br>pour les cosses à<br>double bourrelet<br>A |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| 2,5                                                                               | 15                                                                                          | -                                                                               |
| 4                                                                                 | 32                                                                                          | 64                                                                              |
| 5                                                                                 | 50                                                                                          | 100                                                                             |
| 6                                                                                 | 76                                                                                          | 120                                                                             |
| 8                                                                                 | 100                                                                                         | 150                                                                             |
| 10                                                                                | 150                                                                                         | 240                                                                             |
| <sup>a</sup> Cela correspond à l'intensité maximale admissible en régime continu. |                                                                                             |                                                                                 |

Les intensités indiquées ci-dessus correspondent à la section maximale du ou des câbles qui peuvent être montés dans une cosse donnée.

Les valeurs de courant concernent les cosses dont le collet est enroulé ou serti. Les valeurs de courant des cosses tubulaires (7.2.5) et des cosses à souder (7.2.6) ne relèvent pas du présent document.

Il est recommandé, lorsque cela est possible, d'utiliser la plus petite cosse compatible avec l'intensité maximale exigée.

## 8 Procédures d'essai pour déterminer les propriétés physiques des balais

### 8.1 Généralités

Après la fabrication, le fabricant doit vérifier les dimensions principales décrites à l'Article 5 et la qualité de la connexion du câble, qui est évaluée en examinant la résistance électrique et la force d'arrachement de la connexion câble/balai.

Un rapport de contrôle peut être établi par le fabricant de balais à la demande de l'utilisateur du balai. Il doit spécifier que le mesurage a été effectué conformément au présent document et indiquer tout écart éventuel par rapport à celle-ci.

Il appartient au fabricant de balais de déterminer la taille de l'échantillonnage pour les contrôles qualité de production.

NOTE L'ISO 2859-1 fournit une méthode pour déterminer le nombre d'éléments à prélever dans un lot de production en fonction du nombre d'éléments du lot pris en compte.

## 8.2 Mesurage de la résistance électrique de la connexion câble/balai

### 8.2.1 Généralités

Comme cela est expliqué dans l'IEC 60773, les pertes électriques sont liées à la chute de tension totale au balai, qui est la somme des différentes chutes de tension dans le balai, depuis sa cosse jusqu'à sa face frottante, en particulier la chute de tension  $U_f$  de la connexion câble-balai. Il est donc important de vérifier la résistance  $R_f$  de la connexion câble-balai avant de mettre en service le balai.

L'équipement d'essai est défini au 8.2.2.

La méthode décrite au 8.2.3 est recommandée pour effectuer les contrôles qualité après la fabrication du balai. Elle donne la valeur relative de la résistance de connexion à comparer à une spécification, qui est définie pour assurer un bon fonctionnement du balai.

Il appartient au fabricant de balais de déterminer la taille de l'échantillonnage pour les contrôles qualité de production.

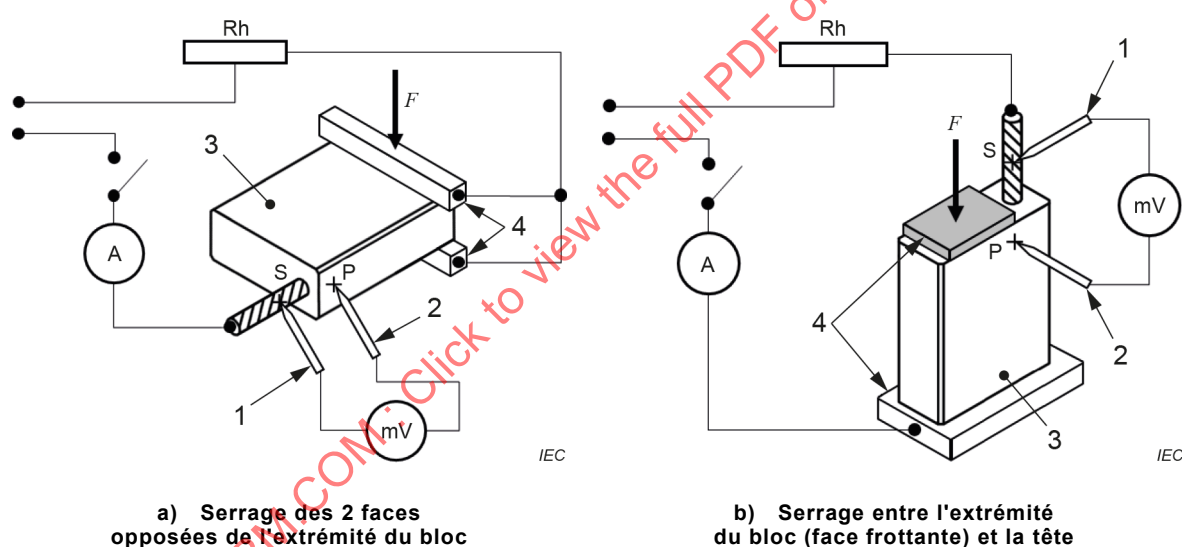
Lorsqu'il est prévu d'effectuer ultérieurement des calculs de chute de tension (chute de tension  $U_f$  de la connexion et/ou chute de tension totale  $U_B$ ), la méthode mathématique décrite au 8.2.4 doit être utilisée, car elle définit avec précision la position de mesure sur le bloc de balai.

## 8.2.2 Équipement d'essai

### 8.2.2.1 Principe

La méthode consiste à injecter un courant dans le balai et à mesurer la tension (donc la résistance) entre deux points P et S situés de part et d'autre de la connexion câble-balai.

Le dispositif d'essai doit être conforme au 8.2.2.2. La Figure 28 représente deux exemples de montages du circuit électrique et du dispositif de maintien du balai.



#### Légende

- A ampèremètre
- $F$  force de serrage appliquée par le dispositif de maintien
- mV millivoltmètre
- P position de l'électrode sur le balai
- S position de l'électrode sur le câble
- Rh rhéostat (résistance électrique réglable)
- 1 électrode 1
- 2 électrode 2
- 3 balai
- 4 dispositif de maintien du bloc de balai

NOTE Sur la sous-figure b), la partie grisée est réalisée en matériau isolant.

**Figure 28 – Exemples de dispositifs d'essai pour mesurer la résistance électrique de la connexion**

### 8.2.2.2 Dispositif d'essai

Le dispositif d'essai doit comprendre:

- une source de courant continu avec un moyen de mesure du courant, comme un ampèremètre;
- un dispositif de maintien, comme un étau ou une pince, fixé au balai à l'extrémité de sa surface de contact et relié à une face de la source de courant, comme cela est représenté sur la Figure 28.

Il convient d'assurer une connexion électrique avec le balai, de telle sorte que la distribution du courant dans la section  $t \times a$  du balai soit la plus uniforme possible. Il convient que la pression de contact du dispositif de connexion soit suffisante pour éviter tout échauffement significatif;

- un dispositif approprié pour maintenir le câble du balai, comme une pince, connecté à l'autre face de la source (non représenté sur la Figure 28).

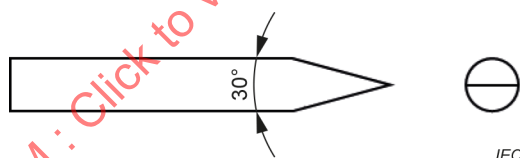
Il convient que la pression au point de contact ne détériore pas le câble mais qu'elle soit suffisante afin d'éviter tout échauffement à ce point;

- un interrupteur pour fermer et ouvrir le circuit d'essai;
- un milliohmètre ou un millivoltmètre (voir le 8.2.2.5);
- 2 électrodes pour mesurer une résistance ou une tension (voir le 8.2.2.3).

### 8.2.2.3 Dispositif d'électrodes

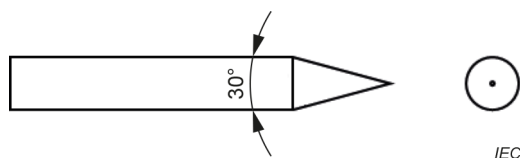
Les électrodes sont réalisées dans un métal conducteur, comme le cuivre ou l'acier.

L'électrode à appliquer sur le câble, désignée Électrode 1, peut être une pointe de contact, comme celle décrite sur la Figure 29, ou une pince. Quelle que soit l'électrode, le contact entre l'électrode et le câble doit être ferme et stable.



**Figure 29 – Exemple d'électrode de contact pour câble**

L'électrode à appliquer sur le balai est de forme conique, comme cela est représenté sur la Figure 30. L'angle conique recommandé est de 30°.



**Figure 30 – Exemple d'électrode de contact pour balai**

Il convient d'appuyer fermement l'Électrode 2 contre le bloc de balai.

Si les faces du balai sont cuivrées, il convient que l'électrode de potentiel entre en contact avec le balai 2 mm au-dessous du bas de la partie cuivrée. Les valeurs ainsi lues auront peu voire aucune relation avec celles données par un balai non cuivré.

#### 8.2.2.4 Dispositif d'alimentation en courant

Une source de courant doit être capable de fournir un courant entre 0 A et 100 A, qui peut être réglé par tout moyen approprié, par exemple à l'aide d'un rhéostat.

L'ampèremètre doit avoir une erreur maximale de 2,5 % avec des plages appropriées pour une lecture supérieure ou égale à 20 % de la pleine échelle.

NOTE Un ampèremètre est intégré à certains équipements d'alimentation en courant.

#### 8.2.2.5 Milliohmètre ou millivoltmètre

Le milliohmètre doit avoir une exactitude inférieure ou égale à 2,5 % et des plages appropriées pour une lecture supérieure ou égale à 20 % de la pleine échelle.

Le millivoltmètre doit avoir une résistance interne d'au moins 1 000  $\Omega/V$ , une exactitude inférieure ou égale à 2,5 % et des plages appropriées pour une lecture supérieure ou égale à 20 % de la pleine échelle.

### 8.2.3 Procédure d'essai

#### 8.2.3.1 Exigences générales

Cette méthode est utile pour déterminer les valeurs relatives de la résistance de connexion d'un balai à l'autre. Les valeurs absolues dépendent en effet de la résistance de la nuance du balai et de la configuration du balai.

La méthode est valable pour les balais qui comportent plusieurs câbles, à condition qu'ils soient séparés. Si les câbles sont réunis dans la même cosse, il convient de les séparer afin de pouvoir les alimenter séparément. Cet essai est normalement effectué par les fabricants avant le montage des cosses.

Avant l'essai, le balai doit être nettoyé, exempt de toute huile, colle ou autre substance chimique.

Pour réduire le plus possible l'échauffement de la connexion balai/câble qui pourrait influencer l'exactitude de l'essai, il convient d'effectuer l'essai dans un délai de 30 s.

#### 8.2.3.2 Position S de l'Électrode 1

La position S de l'Électrode 1 est toujours située sur le câble à une distance  $d_S$  de 5 mm du point de connexion O.

#### 8.2.3.3 Position P de l'Électrode 2

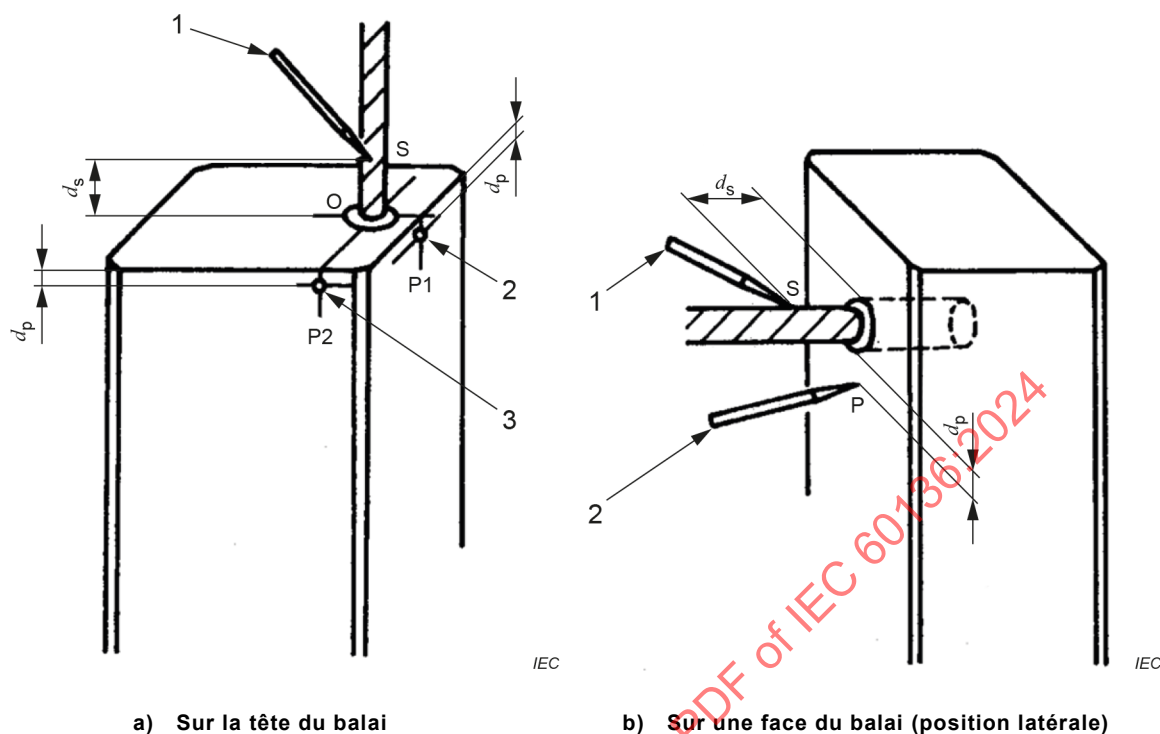
##### 8.2.3.3.1 Généralités

La position P de l'Électrode 2 sur le bloc de balai dépend du type de connexion:

- moulée et scellée: voir le 8.2.3.3.2;
- rivetée: voir le 8.2.3.3.3;
- soudée à une plaquette métallique: voir le 8.2.3.3.4.

##### 8.2.3.3.2 Connexions moulées ou scellées

La position P est située à une distance  $d_P$  de 2 mm de la tête du bloc du balai et de la face la plus proche du câble, comme cela est représenté sur la Figure 31.



#### Légende

- 1 électrode 1 (située à la position S)
- 2 électrode 2 – position 1 (P1 ou P)
- 3 électrode 2 – position 2 (P2)

**Figure 31 – Mesurage de la résistance de connexion pour une connexion moulée ou scellée**

#### EXEMPLE

Sur la Figure 31, deux positions sont possibles, marquées P1 et P2. La distance entre la position O et la face correspondant à chaque position (le long du plan qui est perpendiculaire à l'axe principal) est plus faible pour la position P1 que pour la position P2. Par conséquent, la résistance de connexion est mesurée entre S et P1, car elle donne la valeur la plus faible.

Si la distance  $d_p$  est différente de 2 mm, cela doit être indiqué dans le rapport d'essai.

Pour une meilleure exactitude, l'électrode peut être placée au point qui donne la valeur de résistance la plus faible. Le 8.2.4 fournit une méthode pratique.

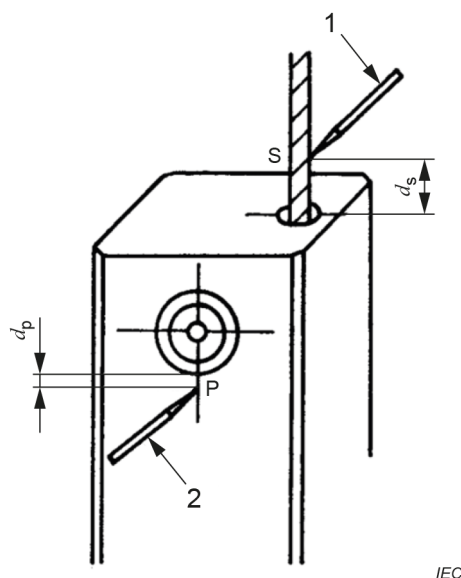
#### 8.2.3.3.3 Connexions rivetées

La position P est située sur la face du balai, où la tête du rivet est en contact direct avec le câble.

##### a) Un rivet:

La position P doit se trouver à une distance  $d_p$  de 2 mm du rivet, le long de l'axe principal du balai, comme cela est représenté sur la Figure 32.

Si la distance  $d_p$  est différente de 2 mm, cela doit être indiqué dans le rapport d'essai.



#### Légende

- 1 électrode 1 (située à la position S)
- 2 électrode 2 (position P)

**Figure 32 – Mesurage de la résistance de connexion pour une connexion rivetée**

NOTE 1 Lorsqu'une autre distance  $d_p$  de l'Électrode 2 est utilisée, par exemple 10 mm, les mesures peuvent différer par rapport à la position obligatoire. Par conséquent, ces résultats sont utilisés uniquement à des fins de comparaison de différents lots de balais.

#### b) Deux rivets (ou plus):

Lorsqu'un même balai comporte plusieurs rivets, le mesurage est effectué sur chaque rivet selon la méthode a) spécifiée ci-dessus.

Une autre méthode peut être utilisée en variante lorsque la même tranche de balai comporte deux rivets, comme cela est représenté sur la Figure 33.