

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Magnetic materials –
Part 8-1: Specifications for individual materials – Magnetically hard materials**

**Matériaux magnétiques –
Partie 8-1: Spécifications pour matériaux particuliers – Matériaux
magnétiquement durs**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 60404-8-1

Edition 3.0 2015-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Magnetic materials –

Part 8-1: Specifications for individual materials – Magnetically hard materials

Matériaux magnétiques –

Partie 8-1: Spécifications pour matériaux particuliers – Matériaux magnétiquement durs

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20; 29.030

ISBN 978-2-8322-2429-8

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references.....	7
3 Terms and definitions	7
4 Types of materials and their applications.....	7
5 Classification.....	8
5.1 General.....	8
5.2 Principal magnetic properties	8
5.3 Additional magnetic properties.....	9
6 Chemical composition.....	10
7 Densities	10
8 Designation	10
9 Mode of shipment and dimensions	10
10 Testing.....	10
10.1 Extent of testing.....	10
10.2 Testing methods	10
11 Grounds for rejection	11
12 Description of tables of standard properties.....	11
12.1 Magnetically hard alloys.....	11
12.1.1 Aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium alloys (AlNiCo)	11
12.1.2 Chromium-iron-cobalt alloys (CrFeCo).....	12
12.1.3 Iron-cobalt-vanadium-chromium alloys (FeCoVCr).....	12
12.1.4 Rare earth-cobalt alloys (RECo)	13
12.1.5 Rare earth-iron-boron alloys (REFeB).....	14
12.2 Magnetically hard ceramics (magnetically hard ferrites)	14
12.2.1 Chemical composition	14
12.2.2 Manufacturing method	15
12.2.3 Sub-classification	15
12.2.4 Magnetic properties and densities.....	15
12.2.5 Dimensional tolerances	15
12.3 Bonded magnets	15
12.3.1 General	15
12.3.2 Chemical composition	15
12.3.3 Manufacturing method.....	16
12.3.4 Sub-classification.....	16
12.3.5 Magnetic properties and densities	17
12.3.6 Dimensional tolerances	17
13 Irreversible demagnetization behaviour	17
13.1 General.....	17
13.2 General definition of demagnetization field strength H_D	18
13.3 Simplified definition of demagnetization field strength H_D	18
14 Tables 10 to 23.....	20
Annex A (informative) Physical data and mechanical reference values of AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, hard ferrite and bonded SmFeN magnets	34

Bibliography	36
Figure 1 – Graphic representation of $B(H)$ and $J(H)$ demagnetization and recoil curves	19
Figure 2 – Simplified evaluation of $B(H)$ and $J(H)$ demagnetization and recoil curves	20
Table 1 – Classification of magnetically hard materials	8
Table 2 – Magnetic properties — Symbols and units	9
Table 3 – Additional magnetic properties — Symbols and units	9
Table 4 – Chemical compositions of AlNiCo alloys (% mass fraction)	11
Table 5 – Chemical compositions of CrFeCo alloys (% mass fraction)	12
Table 6 – Chemical compositions of FeCoVCr alloys (% mass fraction)	12
Table 7 – Chemical compositions of RECo alloys (% mass fraction)	13
Table 8 – Chemical compositions of REFeB alloys (% mass fraction)	14
Table 9 – Chemical compositions of REFeN alloys for bonded magnet (% mass fraction)	16
Table 10 – Magnetic properties and densities of AlNiCo magnets	21
Table 11 – Magnetic properties and densities of CrFeCo and FeCoVCr magnets	22
Table 12 – Magnetic properties and densities of RECo magnets	23
Table 13 – Magnetic properties and densities of REFeB magnets	24
Table 14 – Magnetic properties and densities of hard ferrites	25
Table 15 – Magnetic properties and densities of isotropic AlNiCo alloys with organic binder	26
Table 16 – Magnetic properties and densities of RECo alloys with organic binder	27
Table 17 – Magnetic properties and densities of isotropic REFeB alloys with organic binder	28
Table 18 – Magnetic properties and densities of isotropic and anisotropic hard ferrites with organic binder	29
Table 19 – Magnetic properties and densities of anisotropic REFeN alloys with organic binder	30
Table 20 – Dimensional tolerances (as cast or as sintered) of magnets made from AlNiCo alloys	31
Table 21 – Dimensional tolerances of cold rolled strips of FeCoVCr and CrFeCo alloys with a maximum thickness of 6 mm and maximum width of 125 mm	32
Table 22 – Dimensional tolerances of the diameter of cold drawn wires and bars of FeCoVCr and CrFeCo alloys	32
Table 23 – Dimensional tolerances on magnets made from hard ferrites	33
Table A.1 – Physical data and mechanical reference values of AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, hard ferrite and bonded SmFeN magnets	35

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –**Part 8-1: Specifications for individual materials –
Magnetically hard materials**

FOREWORD

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

International Standard IEC 60404-8-1 has been prepared by IEC technical committee 68: Magnetic alloys and steels.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2001 and Amendment 1:2004. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) recently developed anisotropic Sm-Fe-N bonded magnets are included;
- b) high energy ferrites with La and Co as substituents are included.

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

FDIS	Report on voting
68/495/FDIS	68/503/RVD

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

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

A list of all parts in the IEC 60404 series, published under the general title *Magnetic materials*, can be found on the IEC website.

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

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

INTRODUCTION

This third edition of IEC 60404-8-1 includes the recently developed anisotropic Sm-Fe-N bonded magnets and high energy ferrites with La and Co as substituents which have become established in permanent magnet applications. It also includes corrections to the second edition in order to improve consistency with IEC 60404-5. The squareness of the demagnetization curve is introduced through the quantity H_D .

MAGNETIC MATERIALS –

Part 8-1: Specifications for individual materials – Magnetically hard materials

1 Scope

This part of IEC 60404 specifies minimum values for the principal magnetic properties of, and dimensional tolerances for, technically important magnetically hard materials (permanent magnets).

For information purposes only, this part of IEC 60404 provides values for the densities of the materials and the ranges of their chemical compositions.

NOTE Some additional physical data and mechanical reference values concerning the magnetic materials are given in Table A.1 for information and comparison purposes.

2 Normative references

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

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at: www.electropedia.org)

IEC 60404-5, *Magnetic materials – Part 5: Permanent magnet (magnetically hard) materials – Methods of measurement of magnetic properties*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-121 [1], IEC 60050-151 [2] and IEC 60050-221 [3] apply.¹

4 Types of materials and their applications

Permanent magnetic materials, also designated as magnetically hard materials, are classified in IEC 60404-1 [4] as Class R (magnetically hard alloys), Class S (magnetically hard ceramics) and Class U (bonded magnets).

Permanent magnets have a coercivity relating to the magnetic polarization greater than 1 kA/m. After being magnetized to saturation they produce a material-dependent specific magnetic energy, which can be used in static or dynamic magnetic circuit applications.

Permanent magnetic materials are used in nearly every area of daily life. They perform coupling, modulating, or regulating functions in equipment and devices based on electromagnetic principles, for example in measuring instruments, motors, generators and

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

loudspeakers. Permanent magnet materials are indispensable in office equipment and computer hardware, automobiles including propulsion motors for Hybrid Electric Vehicles (HEV) and Electric Vehicles (EV), entertainment electronics, telecommunications, household appliances and medical instruments, as well as in mechanical engineering as holding devices, clamping plates, etc.

Further possible and typical applications for the commercially available permanent magnetic materials are described in more detail in 3.2 (Class R), 3.3 (Class S) and in 3.5 (Class U) of IEC 60404-1:2000.

5 Classification

5.1 General

Compared to IEC 60404-8-1:2001 and IEC 60404-8-1:2001/AMD1:2004, this revised edition uses the same classification of permanent magnetic materials for technical applications. The bonded REFeN magnets are newly added as U5 for the first part of the code number. This classification is given in Table 1. The materials are grouped according to their metallurgical relationships.

Table 1 – Classification of magnetically hard materials

Group	Principal constituents	First part of code number IEC 60404-8-1:2015	Previous code number IEC 60404-8-1:2001/AMD1:2004
Magnetically hard alloys (R)	Aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium alloys	R1	R1
	Chromium-iron-cobalt alloys	R6	R6
	Iron-cobalt-vanadium-chromium alloys	R3	R3
	Rare earth-cobalt alloys	R5	R5
	Rare earth-iron-boron alloy	R7	R7
Magnetically hard ceramics (S)	Magnetically hard ferrites ($MO \cdot nFe_2O_3$; M = Ba, Sr, and/or Pb, and $n = 4,5$ to $6,5$)	S1	S1
Bonded hard magnetic materials (U)	Bonded aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium magnets	U1	U1
	Bonded rare earth-cobalt magnets	U2	U2
	Bonded rare earth-iron-boron magnets	U3	U3
	Bonded hard ferrite magnets	U4	U4
	Bonded rare earth-iron-nitrogen magnets	U5	—

The permanent magnetic materials are identified by the principal magnetic properties given in 5.2.

5.2 Principal magnetic properties

Symbols and units of magnetic properties of magnetically hard materials are given in Table 2.

Table 2 – Magnetic properties – Symbols and units

Magnetic properties	Symbol	Unit
Maximum value of (BH) product	$(BH)_{\max}$	kJ/m^3
Remanent flux density	B_r	mT
Coercivity relating to the magnetic flux density	H_{cB}	kA/m
Coercivity relating to the magnetic polarization	H_{cJ}	kA/m

Minimum values at room temperature of magnetic properties, determined after magnetization to saturation, are given in Tables 10 to 19.

The specified values of magnetic properties are valid only for magnets having a cross section invariable along the axis of magnetization, with a volume of $0,125 \text{ cm}^3$ to 200 cm^3 and with dimensions in the three directions of the coordinate axes of at least 5 mm.

For anisotropic materials, they are valid only along the one preferred direction.

For more details on size limits for measurements, see IEC 60404-5.

For reasons connected with the manufacturing methods, lower values of the magnetic properties may be obtained if the dimensional conditions mentioned above are not satisfied.

For the method of measurement of the coercivity of magnetic materials in an open magnetic circuit, see IEC 60404-7 [5].

5.3 Additional magnetic properties

Symbols and units of additional magnetic properties of magnetically hard materials are given in Table 3.

Table 3 – Additional magnetic properties – Symbols and units

Magnetic properties	Symbol	Unit
Recoil permeability	μ_{rec}	—
Temperature coefficient of the remanent flux density [it corresponds to the temperature coefficient of the magnetic saturation $\alpha(J_s)$]	$\alpha(B_r)$	$\%/^{\circ}\text{C}$
Temperature coefficient of the coercivity relating to the magnetic polarization	$\alpha(H_{\text{cJ}})$	$\%/^{\circ}\text{C}$
Curie temperature	T_c	$^{\circ}\text{C}$

The values given in Tables 10 to 19 are specified minimum values and some typical values. The typical values are mean values published in the literature and are given as an indication only and are not guaranteed. The temperature range for the temperature coefficients in the tables is generally from 20°C to 100°C , but this does not preclude the use of these materials outside this temperature range.

The magnetic field strength necessary for magnetizing magnetically hard materials to magnetic saturation is defined in IEC 60404-5, IEC 60404-7 [5] and IEC TR 62517 [6].

6 Chemical composition

The composition ranges for the different material groups are given for information purposes under 12.1.1.1, 12.1.2.1, 12.1.3.1, 12.1.4.1, 12.1.5.1, 12.2.1 and 12.3.2.

7 Densities

Density values are given in Tables 10 to 19 for information purposes only. The density values can be used for mass and volume calculations.

8 Designation

Magnetically hard materials can be identified by brief designations and by alpha-numeric symbols (code numbers, see Tables 10 to 19). In so far as chemical symbols are used in the brief designation, they indicate main constituents. The number before the oblique stroke in the brief designation denotes the maximum value of the (BH) product expressed in kilojoules per cubic metre (kJ/m^3) and the number after the oblique stroke denotes one tenth of the coercivity H_{cJ} expressed in kiloamperes per metre (kA/m). Magnetically hard materials with a binder (mostly organic, see 12.3.1) are denoted by a suffixed “p” to the brief designation.

EXAMPLE For the grade AlNiCo 12/6 of Table 10, the integer 12 is obtained from its minimum value $(BH)_{\text{max}}$ of $11,6 \text{ kJ/m}^3$, and the integer 6 from one-tenth of its minimum value of H_{cJ} i.e. one-tenth of $55 \text{ kA/m} = 5,5 \text{ kA/m}$ on rounding up or down to the nearest integer. If rounding down would give the integer zero, the number containing the first rounded non-zero decimal is maintained.

The code numbers are derived from the classification system used in IEC 60404-1. The letter in the code number means the class of the magnetically hard material. The first number designates the kind of material in the respective class, see Table 9. A ‘0’ in the second position means that the material is magnetically isotropic, a “1”, that the material is magnetically anisotropic. The number in the third position denotes the different grades.

9 Mode of shipment and dimensions

The materials described in this specification may be delivered either magnetized or unmagnetized and may be mounted in magnetic circuits.

The dimensions of the magnets have to be agreed upon between supplier and purchaser when ordering.

10 Testing

10.1 Extent of testing

The extent of testing shall be agreed upon between supplier and purchaser.

10.2 Testing methods

The testing methods shall be agreed upon between supplier and purchaser.

The minimum values of the magnetic properties of magnetically hard materials having suitable shape and appropriate dimensions shall be tested according to IEC 60404-5.

If the shape and dimensions do not correspond to the requirement of 5.2, the details of the test should be agreed upon between the supplier and the purchaser.

11 Grounds for rejection

Grounds for rejection include inferior magnetic quality (Tables 10 to 19 give specified minimum values of some magnetic properties), physical dimensions and dimensional tolerances (Tables 20 to 23).

External and internal mechanical imperfections may be considered a cause for rejection, if these are deleterious to handling and application.

The purchaser's notification of rejection to the supplier shall be accompanied by samples of the rejected consignment.

12 Description of tables of standard properties

12.1 Magnetically hard alloys

12.1.1 Aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium alloys (AlNiCo)

12.1.1.1 Chemical composition

Permanent magnets based on aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium, referred to as AlNiCo, form a broad spectrum of component-rich alloys in the composition ranges given in Table 4 (values in percentage mass fraction).

Table 4 – Chemical compositions of AlNiCo alloys (% mass fraction)

	Al	Ni	Co	Cu	Ti	Nb	Si	Fe
AlNiCo	8 to 13	13 to 28	5 to 42	2 to 6	0 to 9	0 to 3	0 to 0,8	balance

12.1.1.2 Manufacturing methods

AlNiCo magnets are formed by casting or by a powder metallurgical process. The magnetic performance of alloys with a Co content higher than 20 % mass fraction can be increased in a preferred direction by applying a magnetic field during heat treatment. By this procedure a magnetic anisotropy is generated in the material.

The best performances of AlNiCo magnets are achieved with columnar or single crystal structure materials. The magnetic field applied during the heat treatment has to be parallel to the columnar axis.

12.1.1.3 Sub-classification

Isotropic magnetic alloys, cast or sintered (R1-0- x)

where $x = 1, 2, \dots$

Anisotropic magnetic alloys, cast (R1-1- x)

where $x = 1, 2, \dots$

12.1.1.4 Magnetic properties and densities

The magnetic properties and densities are given in Table 10. (See also 5.2, 5.3 and Clause 7.)

12.1.1.5 Dimensional tolerances

Values of the dimensional tolerances for sintered and cast AlNiCo magnets are given in Table 20.

12.1.2 Chromium-iron-cobalt alloys (CrFeCo)

12.1.2.1 Chemical composition

Permanent magnets based on chromium-iron-cobalt alloys, referred to as CrFeCo, have compositions within the ranges given in Table 5 (values in percentage mass fraction).

Table 5 – Chemical compositions of CrFeCo alloys (% mass fraction)

	Cr	Co	Other elements e.g. Si, Ti, Mo, Al, V	Fe
CrFeCo	25 to 35	7 to 25	0,1 to 3	balance

12.1.2.2 Manufacturing method

The CrFeCo alloys can be manufactured by casting, followed by hot and cold rolling and drawing to produce strips and wires. Parts are made from this material by stamping, turning or drilling. Subsequent to the shaping, a heat treatment has to be provided to obtain the permanent magnetic properties. The magnets can also be formed by a powder metallurgical process. The magnetic performance of the cast as well as sintered material can be increased in a preferred direction by applying a magnetic field during heat treatment.

12.1.2.3 Sub-classification

Isotropic magnetic alloys (R6-0- x)

where $x = 1, 2, \dots$

Anisotropic magnetic alloys (R6-1- x)

where $x = 1, 2, \dots$

12.1.2.4 Magnetic properties and densities

Magnetic properties and densities of isotropic and anisotropic CrFeCo magnets are given in Table 11. (see 5.2, 5.3 and Clause 7.)

12.1.2.5 Dimensional tolerances

Values of dimensional tolerances of cold rolled strips and cold drawn wires and bars are given in Tables 21 and 22, respectively. For sintered magnets, the tolerances shall be agreed upon between supplier and purchaser.

12.1.3 Iron-cobalt-vanadium-chromium alloys (FeCoVCr)

12.1.3.1 Chemical composition

The ranges of chemical composition are given in Table 6 (values in percentage mass fraction).

Table 6 – Chemical compositions of FeCoVCr alloys (% mass fraction)

	Co	V + Cr	Fe
FeCoVCr	49 to 54	4 to 13	balance

12.1.3.2 Manufacturing method

The FeCoVCr alloys are manufactured by casting and hot and cold rolling or drawing to produce strips or wires, respectively. The cold deformation (80 % to 95 %), followed by a heat treatment in the range from 500 °C to 650 °C, is essential for the production of the permanent magnet properties.

12.1.3.3 Sub-classification

The recommended sub-classification is based on the coercivity related to the magnetic polarization H_{cJ} .

12.1.3.4 Magnetic properties and densities

Magnetic properties and densities are given in Table 11. (See also 5.2, 5.3 and Clause 7.)

12.1.3.5 Dimensional tolerances

Values of the dimensional tolerances of cold rolled strips and cold drawn wires are given in Tables 21 and 22, respectively.

12.1.4 Rare earth-cobalt alloys (RECo)

12.1.4.1 Chemical composition

Of technical importance are the two types of alloys: RECo₅ and RE₂Co₁₇. The composition RE₂Co₁₇ is used as the generic name for a series of binary and multi-phase alloys with a number of transition elements partially replacing cobalt. The alloys have a strong uniaxial magnetic anisotropy and a high magnetic saturation, resulting in a high coercivity H_{cJ} and a high remanence B_r of the magnets. Their main constituents are given in Table 7 (values in percentage mass fraction).

Table 7 – Chemical compositions of RECo alloys (% mass fraction)

	Sm	Fe	Cu	Other elements e.g. Zr, Hf, Ti	Co
SmCo₅	33 to 36	–	–	–	balance
Sm₂Co₁₇	24 to 26	10 to 20	4,5 to 12	0 to 3	balance

Samarium (Sm) is the main RE metal in these alloys and leads to the best magnetic properties.

However, cerium (Ce) or praseodymium (Pr) may also be used as the RE component.

12.1.4.2 Manufacturing method

Compacting of the monocrystalline RECo powder is carried out in a magnetic field, thus obtaining particle-oriented anisotropic magnets. The pressed bodies are sintered under vacuum or under a protective atmosphere followed by heat treatments.

12.1.4.3 Sub-classification

Anisotropic alloys of the type RECo₅ (R5-1-x)

where $x = 1, 2, \dots, 9$

Anisotropic alloys of the type RE₂Co₁₇ (R5-1-x)

where $x = 10, 11, 12, \dots, 19$

12.1.4.4 Magnetic properties and densities

The magnetic properties and densities are given in Table 12. (See also 5.2, 5.3 and Clause 7.)

12.1.4.5 Dimensional tolerances

The dimensional tolerances have to be agreed upon between producer and purchaser.

12.1.5 Rare earth-iron-boron alloys (REFeB)

12.1.5.1 Chemical composition

The REFeB magnet alloys are based on the compound $RE_2Fe_{14}B$. The RE element is mainly neodymium (Nd), which may be partially substituted by dysprosium (Dy), praseodymium (Pr) or other rare earth elements. Iron may be partially substituted by cobalt (Co). The $Nd_2Fe_{14}B$ alloy forms a tetragonal crystal structure and shows both a high saturation magnetization and a high uniaxial magnetocrystalline anisotropy.

The composition ranges of the REFeB alloys are given in Table 8 (values in percentage mass fraction).

Table 8 – Chemical compositions of REFeB alloys (% mass fraction)

	Total RE	Co	B	Dy, Tb,Pr etc.	Other elements e. g. V, Nb, Al, Ga, Cu	Fe
REFeB	28 to 35	0 to 15	0,85 to 1,2	0 to 10	0 to 1	balance

12.1.5.2 Manufacturing methods

Compacting of the monocrystalline REFeB powder is carried out in a magnetic field, thus obtaining particle-oriented anisotropic magnets. The pressed bodies are sintered under vacuum or under a protective atmosphere followed by a heat treatment.

12.1.5.3 Sub-classification

Anisotropic alloys of the type REFeB (R7-1- x)

where $x = 1, 2, \dots$,

12.1.5.4 Magnetic properties and densities

The specified minimum magnetic properties and density of anisotropic materials are given in Table 13. (See also 5.2, 5.3 and Clause 7.)

12.1.5.5 Dimensional tolerances

Dimensional tolerances shall be in accordance with those for sintered AlNiCo magnets having less than 1 % Ti as specified in Table 20.

12.2 Magnetically hard ceramics (magnetically hard ferrites)

12.2.1 Chemical composition

The chemical composition of the magnetically hard ferrites can be described by the formula $MO \cdot nFe_2O_3$ (where M = Ba and Sr). The ratio n can vary from 4,5 to 6,5. The magnetically hard ferrites have a hexagonal structure with a high uniaxial magnetocrystalline anisotropy, but a relatively low magnetic saturation.

The magnetic properties can be improved by special substitutions. This is particularly so with additions of up to 9 % of La and up to 4 % of Co, which can increase the values of H_{cJ} by up to 100 % and decrease values of $\alpha(H_{cJ})$ by up to 50 %.

12.2.2 Manufacturing method

Compacting of the monocrystalline hard ferrite powder is carried out in a magnetic field, thus obtaining particle-oriented anisotropic magnets. The pressed bodies are sintered in air.

12.2.3 Sub-classification

Isotropic magnetically hard ferrites (S1-0- x)

where $x = 1, 2, \dots$

Anisotropic magnetically hard ferrites (S1-1- x)

where $x = 1, 2, \dots$

12.2.4 Magnetic properties and densities

The magnetic properties and the density of the isotropic and anisotropic magnetically hard ferrites are given in Table 14. (See also 5.2, 5.3 and Clause 7.)

12.2.5 Dimensional tolerances

Values of the dimensional tolerances for isotropic and anisotropic magnetically hard ferrites are given in Table 23.

12.3 Bonded magnets

12.3.1 General

Plastic bonded permanent magnets are composite materials. They consist of permanent magnet powders embedded in a plastic matrix. This binder phase determines to a large extent the mechanical properties of the composite, while the magnet powder determines the magnetic properties of the composite. The properties of the composite are determined by the type of permanent magnet material, the matrix material, the fill factor and, for anisotropic material, the degree of alignment, leading to a wide variety of grades.

In spite of their lower magnetic properties compared with sintered materials, bonded magnets offer economical and technical advantages in many applications because they are cost-effective to manufacture and allow a wide scope for shaping and good mechanical properties.

The expensive and elaborate processing steps required in powder metallurgy are not needed.

12.3.2 Chemical composition

The magnet materials for producing bonded permanent magnets are powders of AlNiCo, SmCo₅, Sm₂Co₁₇, NdFeB and hard ferrite (see 12.1.1.1, 12.1.4.1, 12.1.5.1 and 12.2.1).

The magnetic material required for producing REFeN bonded magnets is based on a Sm₂Fe₁₇N₃ intermetallic compound and the chemical composition ranges are given in Table 9. The REFeN powders are manufactured by the reduction diffusion process using Sm₂O₃ and Fe powders with Ca as a reductant followed by nitrogeneration. When the size of the processed powders is coarse, a subsequent milling is required.

The main matrix materials are elastomers, thermoplastics or thermosets.

Table 9 – Chemical compositions of REFeN alloys for bonded magnet (% mass fraction)

	Sm	N	Fe
REFeN	22 to 27	3,0 to 4,0	balance

12.3.3 Manufacturing method

The methods of manufacturing bonded permanent magnets, frequently referred to as “P magnets”, are largely similar, irrespective of the magnet material used. The flexible materials are produced by rolling, extrusion or calendering, while the shape-stable magnets are made by injection moulding, die pressing or extrusion.

In the injection moulding technique, cold or hot mixing of the magnet powders, depending on the binder, is carried out in mixers, mixing extruders or kneaders.

The most important matrix materials for injection-moulded magnets are the thermoplastics polyamide, polyethylene, and polyphenylene sulfide (PPS). The compound mass is processed in injection moulding machines. Single or multi-cavity dies are used depending on the magnet shape, size and production volume.

In the manufacture of anisotropic grades, the magnetic values depend critically on the alignment conditions, which are determined by magnetic field strength in the mould and by the shape of the magnet.

In the die pressing technique, which is only used commercially for the manufacture of bonded rare earth magnets, thermosets such as epoxy resins are used as binders.

The compound mixtures are loaded into the die cavities of press tools and pressed into compacts at pressures from 0,6 GPa to 1 GPa. The compacts are then heat treated to cure the binder. Anisotropic magnets can also be produced by die pressing anisotropic powders under an aligning magnetic field.

12.3.4 Sub-classification

Isotropic bonded AlNiCo magnets (U1-0- x)

where

$x = [30 + n]$ for compression moulding

$n = 0, 1, 2, \dots$

Isotropic bonded RECo magnets (U2-0- x)

where

$x = [20 + n]$ for injection moulding

$x = [30 + n]$ for compression moulding

$n = 0, 1, 2, \dots 4$ for SmCo₅

$n = 5, 6, 7, \dots 9$ for Sm₂Co₁₇

Anisotropic bonded RECo magnets (U2-1- x)

where

$x = [20 + n]$ for injection moulding

$x = [30 + n]$ for compression moulding

$n = 0, 1, 2, \dots, 4$ for RECo₅

$n = 5, 6, \dots, 9$ for $\text{RE}_2\text{Co}_{17}$

Isotropic bonded REFeB magnets (U3-0- x)

where

$x = [20 + n]$ for injection moulding

$x = [30 + n]$ for compression moulding

$n = 0, 1, 2, \dots, 9$

Isotropic bonded hard ferrite magnets (U4-0- x)

where

$x = [10 + n]$ for calendaring and extrusion

$x = [20 + n]$ for injection moulding

$n = 0, 1, 2, \dots$

Anisotropic bonded hard ferrite magnets (U4-1- x)

where

$x = [10 + n]$ for calendaring and extrusion

$x = [20 + n]$ for injection moulding

$n = 0, 1, 2, \dots, 9$

Anisotropic bonded REFeN magnets (U5-1- x)

where

$x = [20 + n]$ for injection moulding

$n = 0, 1, 2, \dots, 9$

12.3.5 Magnetic properties and densities

Specified minimum magnetic properties and densities are given for:

- bonded AlNiCo magnets (AlNiCo p) in Table 15;
- bonded RECo magnets (RECo p) in Table 16;
- bonded REFeB magnets (REFeB p) in Table 17;
- bonded hard ferrite magnets (hard ferrite p) in Table 18;
- bonded REFeN magnets (REFeN p) in Table 19.

12.3.6 Dimensional tolerances

The dimensional tolerances shall be agreed upon between supplier and purchaser.

13 Irreversible demagnetization behaviour

13.1 General

A magnetically hard material, being originally in a remanent state, will eventually lose a certain amount of flux when exposed to a demagnetizing (counteracting) magnetic field. After removing the demagnetizing field, the original magnetic flux of the remanent state may be totally or partly restored. In the former case, the magnetic change is completely reversible, while in the latter one it is partly reversible and partly irreversible. The reversible change of

magnetic flux corresponding to the change of magnetic field is quantitatively described by the relative recoil permeability μ_{rec} as given in the relevant tables of the material standards. Therefore, this reversible change can be taken into consideration for the layout of permanent magnet systems.

For the layout it is of prime importance to know the range of demagnetizing fields showing reversible changes only. More strictly speaking, one must know the demagnetizing field strength causing a tolerable amount of irreversible flux change (flux loss). This is explained in detail in Figure 1.

13.2 General definition of demagnetization field strength H_D

Figure 1 shows the demagnetization and recoil curves for a magnetically hard material, which has a remanent flux density $B_r = J_r$ after having been fully magnetized. Application of a certain demagnetizing field strength H_D and reduction of that field again to zero (transient action of the field), leads to a remanent flux density $B_p = J_p$ in the material, which is called remanent recoil flux density. For $B_p < B_r$ a relative irreversible loss of magnetic flux density has occurred. The loss of magnetic flux density increases with increasing H_D . Therefore the value of H_D which leads to a pre-determined, still tolerable maximum loss is a quantitative measure of the stability of the magnetically hard material against a demagnetizing field. If, for instance, the tolerable maximum loss of magnetic flux density is 5 % the related field is called H_{D5} . H_D may be determined experimentally as given in Clause 9 of IEC 60404-5:2015.

13.3 Simplified definition of demagnetization field strength H_D

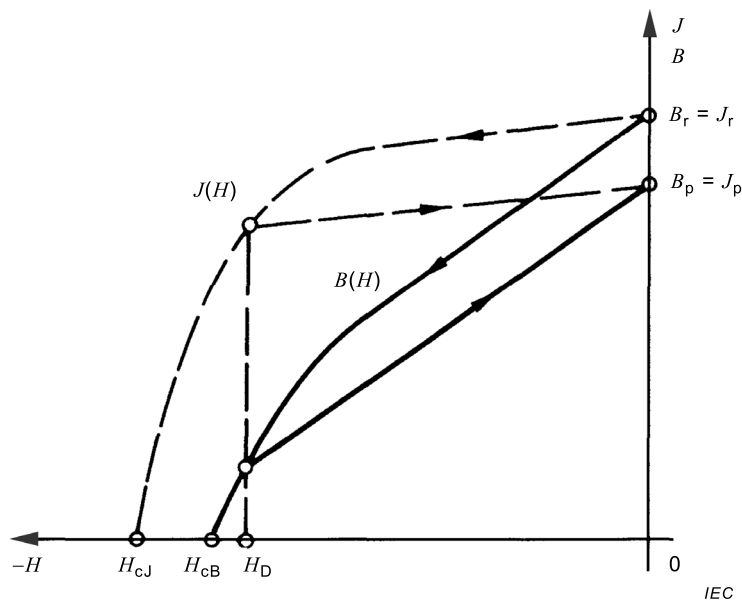
For sintered NdFeB magnets, the recoil curves are almost parallel to the outer demagnetization curves. In this case, the identification of the demagnetization field strength H_D may be simplified (see Figure 2).

The method is as follows:

The linear portion of the demagnetization curve with discretized points $\{H(i), B(i)\}$ is fitted with a linear regression line in the field range between 20 % and 70 % of H_{cJ} by

$$f(i) = B_{r,\text{lin}} + \mu_{\text{fit}} \times \mu_0 \times H(i) \quad (1)$$

This line intersects with the B -axis at point $B_{r,\text{lin}}$. For a demagnetization loss of e.g. 5 %, a line with the same slope as the fitted one is plotted with axis intersection at $0,95 \times B_{r,\text{lin}}$. This parallel line crosses the original demagnetization curve at the field value of H_{D5} .

**Key**

B	magnetic flux density or magnetic induction
J	magnetic polarization
H	magnetic field strength
B_r, J_r	remanent flux density, remanent magnetic polarization
B_p, J_p	remanent recoil flux density
H_{cB}	coercivity relating to the magnetic flux density
H_{cJ}	coercivity relating to the magnetic polarization
H_D	magnetizing field strength which, after having been transiently applied to the magnetic state of remanence, leads to the magnetic state of remanent recoil flux density

Figure 1 – Graphic representation of $B(H)$ and $J(H)$ demagnetization and recoil curves

This simplification may be used only with following restrictions:

- The simplified method shall be used only for sintered NdFeB magnets according to Table 13.
- It shall not be used for materials which show demagnetization curves with stronger deviations from linear behaviour like RECo-grades.
- The coercivity H_{cJ} shall be greater than 400 kA/m.
- The slope μ_{fit} of the fitted line shall be in the range $1,0 \leq \mu_{fit} \leq 1,15$ (assuming a finite permanent permeability of the material).

The “coefficient of determination” R^2 for the linear fit should be greater than 0,99. For a fit to a set of n observation points $\{H(i), B(i)\}$ with $1 = i \leq n$, this coefficient is defined as:

$$R^2 = 1 - \frac{S_{err}}{S_{tot}} \quad (2)$$

with the total sum of squares:

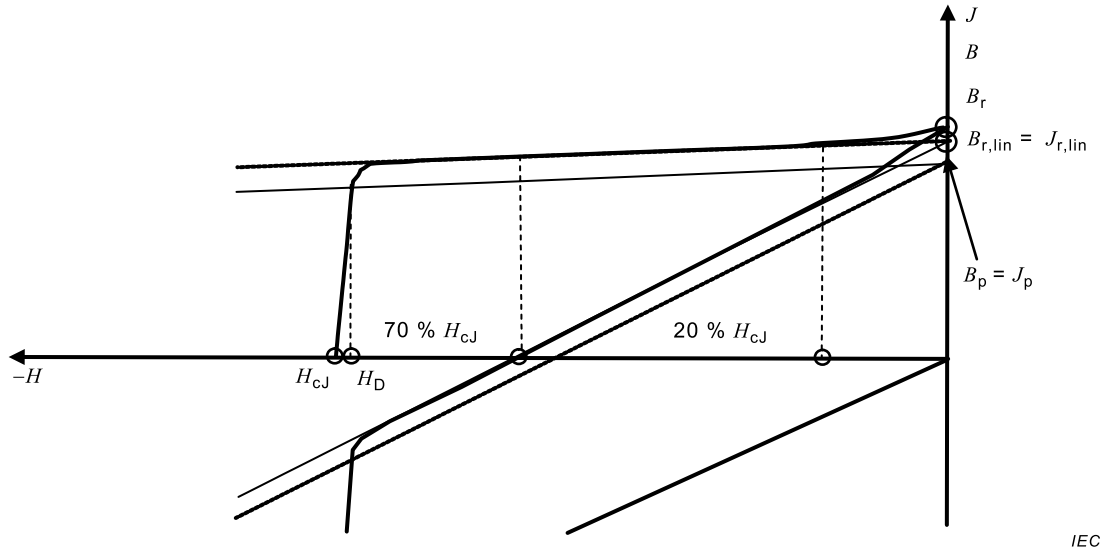
$$S_{tot} = \sum_i (B(i) - \bar{B})^2 \quad (3)$$

the residual sum of squares:

$$S_{\text{err}} = \sum_i (B(i) - f(i))^2 \quad (4)$$

and the mean of the observed induction values for n observation points:

$$\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_i B(i) \quad (5)$$



Key

B	magnetic flux density or magnetic induction
J	magnetic polarization
H	magnetic field strength
B_r	remanent flux density
$B_{r,\text{lin}}, J_{r,\text{lin}}$	remanent flux density, remanent magnetic polarization from linear interpolation
B_p, J_p	remanent recoil flux density, remanent magnetic recoil polarization
H_{cJ}	coercivity relating to the magnetic polarization
H_D	magnetizing field strength which, after having been transiently applied to the magnetic state of remanent flux density, leads to the magnetic state of remanent recoil flux density

Figure 2 – Simplified evaluation of $B(H)$ and $J(H)$ demagnetization and recoil curves

14 Tables 10 to 23

Tables 10 to 19 give the specified minimum values of properties for the various materials. Typical values of the relative recoil permeability, temperature coefficients, Curie temperature, values of the continuous operating temperature and density are also given.

Tables 20 to 23 give the dimensional tolerances of the various materials.

Table 10 – Magnetic properties and densities of AlNiCo magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum <i>BH</i> product	Remanent flux density	Coercivity	Coercivity	Relative recoil permeability	
				<i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	<i>B</i> _r mT	<i>H</i> _{cB} kA/m	<i>H</i> _{cJ} kA/m	<i>μ</i> _{rec}	
AlNiCo				Specified minimum values				Typical values	
AlNiCo 9/5	i	R1-0-1	Cast or sintered	9	550	44	47	7	6,8
AlNiCo 12/6	i	R1-0-2		11,6	630	52	55	7,5	7,0
AlNiCo 17/9	i	R1-0-3		17	580	80	86	7,5	7,1
AlNiCo 37/5	a	R1-1-1	Cast	37	1 180	48	49	4	7,3
AlNiCo 38/11	a	R1-1-2		38	800	110	112	2	7,3
AlNiCo 44/5	a	R1-1-3		44	1 200	52	53	3	7,3
AlNiCo 60/11	a	R1-1-4		60	900	110	112	2	7,3
AlNiCo 36/15	a	R1-1-5		36	700	140	148	2	7,3
AlNiCo 58/5	a	R1-1-6		58	1 300	52	53	3	7,3
AlNiCo 72/12	a	R1-1-7		72	1 050	118	120	2	7,3
AlNiCo 34/5	a	R1-1-10	Sintered	34	1 120	47	48	4	7,3
AlNiCo 26/6	a	R1-1-11		26	900	56	58	4,5	7,1
AlNiCo 31/11	a	R1-1-12		31	760	107	111	3	7,1
AlNiCo 33/15	a	R1-1-13		33	650	135	150	2	7,1
Typical values of the parameters:									
Temperature coefficient of remanence $\alpha(B_r) = -0,02 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (for 20 °C to 100 °C)									
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,03 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ to -0,07 %/°C (for 20 °C to 100 °C)									
Curie temperature: 750 °C for AlNiCo 9/5									
Curie temperature: 800 °C to 850 °C for other AlNiCo's									
Continuous operating temperature: 550 °C									
^a i = isotropic; a = anisotropic									

Table 11 – Magnetic properties and densities of CrFeCo and FeCoVCr magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum <i>BH</i> product <i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	Remanent flux density <i>B</i> _r mT	Coercivity <i>H</i> _{cB} kA/m	Coercivity <i>H</i> _{cJ} kA/m	Relative recoil permeability <i>μ</i> _{rec}	<i>ρ</i> Mg/m ³
CrFeCo/FeCoVCr				Specified minimum values				Typical values	
CrFeCo 12/4	i	R6-0-1	Cast or sintered	12	800	40	42	6	7,6
CrFeCo 10/3	i	R6-0-2		10	850	27	29	6	7,6
CrFeCo 28/5	a	R6-1-1		28	1 000	45	46	3,5	7,6
CrFeCo 30/4	a	R6-1-2		30	1 150	40	41	3,5	7,6
CrFeCo 35/5	a	R6-1-3		35	1 050	50	51	3,5	7,6
CrFeCo 44/5	a	R6-1-4		44	1 300	44	45	2,5	7,7
FeCoVCr 11/2	a	R3-1-1	Cast ^b	11	800	24	24	5	8,1
Typical values of the parameters: CrFeCo Temperature coefficient of remanence <i>α</i> (<i>B</i> _r) = −0,05 %/°C for CrFeCo 12/4 (for 20 °C to 100 °C) Temperature coefficient of remanence <i>α</i> (<i>B</i> _r) = −0,03 %/°C for other CrFeCo's (for 20 °C to 100 °C) Temperature coefficient of coercivity <i>α</i> (<i>H</i> _{cJ}) = −0,04 %/°C (for 20 °C to 100 °C) Curie temperature: 620 °C to 640 °C Continuous operating temperature: 500 °C FeCrVCr Temperature coefficient of remanence <i>α</i> (<i>B</i> _r) = −0,01 %/°C (for 20 °C to 100 °C) Temperature coefficient of coercivity <i>α</i> (<i>H</i> _{cJ}) = ~ 0 %/°C (for 20 °C to 100 °C) Curie temperature: 720 °C Continuous operating temperature: 500 °C									
^a i = isotropic; a = anisotropic									
^b followed by hot and cold rolling or drawing									

Table 12 – Magnetic properties and densities of RECo magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density			
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum <i>BH</i> product	Remanent flux density	Coercivity	Coercivity	Relative recoil permeability				
				<i>(BH)</i> _{max}	<i>B</i> _r	<i>H</i> _{cB}	<i>H</i> _{cJ}	<i>μ</i> _{rec}				
				kJ/m ³	mT	kA/m	kA/m					
RECo			Specified minimum values				Typical values					
RECo ₅ 140/120	a	R5-1-1	Sintered	140	860	600	1 200	1,05	8,3 to 8,5			
RECo ₅ 160/120	a	R5-1-2		160	920	660	1 200					
RECo ₅ 150/70	a	R5-1-3		150	900	600	700					
RECo ₅ 170/70	a	R5-1-4		170	930	600	700					
RECo ₅ 120/160	a	R5-1-5		120	800	620	1 600					
RE ₂ Co ₁₇ 140/100	a	R5-1-10		140	900	620	1 000	1,1	8,3 to 8,4			
RE ₂ Co ₁₇ 160/70	a	R5-1-11		160	940	600	700					
RE ₂ Co ₁₇ 180/100	a	R5-1-12		180	1 000	680	1 000					
RE ₂ Co ₁₇ 200/70	a	R5-1-13		200	1 050	600	700					
RE ₂ Co ₁₇ 220/70	a	R5-1-14		220	1 100	600	700					
RE ₂ Co ₁₇ 180/150	a	R5-1-15		180	1 000	660	1 500					
RE ₂ Co ₁₇ 200/150	a	R5-1-16		200	1 050	700	1 500					
Typical values of the parameters:												
RECo ₅												
Temperature coefficient of remanence $\alpha(B_r) = -0,04 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (for 20 °C to 100 °C)												
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,3 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (for 20 °C to 100 °C)												
Curie temperature: 720 °C												
Maximum operating temperature: 250 °C												
RE ₂ Co ₁₇												
Temperature coefficient of remanence $\alpha(B_r) = -0,03 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (for 20 °C to 100°C)												
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,25 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (for 20 °C to 100°C)												
Curie temperature: 820 °C												
Maximum operating temperature: 350 °C												
^a a = anisotropic												

Table 13 – Magnetic properties and densities of REFeB magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum <i>BH</i> product <i>(BH)</i> _{max} kJ/m3	Remanent flux density <i>B</i> _r mT	Coercivity <i>H</i> _{cB} kA/m	Coercivity <i>H</i> _{cJ} kA/m	Relative recoil permeability <i>μ</i> _{rec}	
REFeB				Specified minimum values				Typical values	
REFeB 170/190	a	R7-1-1	Sintered	170	980	700	1 900	1,05	7,5 to 7,7
REFeB 210/130	a	R7-1-2		210	1 060	790	1 300		
REFeB 250/120	a	R7-1-3		250	1 130	840	1 200		
REFeB 290/80	a	R7-1-4		290	1 230	700	800		
REFeB 200/190	a	R7-1-5		200	1 060	760	1 900		
REFeB 240/180	a	R7-1-6		240	1 160	840	1 800		
REFeB 280/120	a	R7-1-7		280	1 240	900	1 200		
REFeB 320/88	a	R7-1-8		320	1 310	800	880		
REFeB 210/240	a	R7-1-9		210	1 060	760	2 400		
REFeB 240/200	a	R7-1-10		240	1 160	840	2 000		
REFeB 310/130	a	R7-1-11		310	1 300	900	1 300		
REFeB 250/240	a	R7-1-12		250	1 200	830	2 400		
REFeB 260/200	a	R7-1-13		260	1 210	840	2 000		
REFeB 340/130	a	R7-1-14		340	1 330	920	1 300		
REFeB 360/90	a	R7-1-15		360	1 350	800	900		
REFeB 380/100	a	R7-1-16		380	1 420	990	1 000		
Typical values of the parameters: Temperature coefficient of remanence <i>α</i> (<i>B_r</i>) = −0,1 %/°C to −0,12 %/°C (for 20 °C to 100 °C) Temperature coefficient of coercivity <i>α</i> (<i>H_{cJ}</i>) = −0,45 %/°C to −0,6 %/°C (for 20 °C to 100 °C) Curie temperature: 310 °C Maximum operating temperature: 200 °C.									
^a a = anisotropic									

Table 14 – Magnetic properties and densities of hard ferrites

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum <i>BH</i> product	Remanent flux density	Coercivity	Coercivity	Relative recoil permeability	
				<i>(BH)</i> _{max}	<i>B</i> _r	<i>H</i> _{cB}	<i>H</i> _{cJ}	<i>μ</i> _{rec}	
				kJ/m ³	mT	kA/m	kA/m		Mg/m ³
Hard ferrite				Specified minimum values			Typical values		
Hard ferrite 7/21	i	S1-0-1	Sintered	6,5	190	125	210	1,2	4,9
Hard ferrite 7/25	i	S1-0-2		6,5	190	120	250	1,2	4,9
Hard ferrite 20/19	a	S1-1-1		20	320	170	190	1,1	4,8
Hard ferrite 24/23	a	S1-1-2		24	350	215	230	1,1	4,8
Hard ferrite 25/14	a	S1-1-3		25	380	130	135	1,1	5,0
Hard ferrite 26/18	a	S1-1-4		26	370	175	180	1,1	5,0
Hard ferrite 22/30	a	S1-1-5		22	350	255	295	1,1	4,6
Hard ferrite 26/26	a	S1-1-6		26	370	230	260	1,1	4,7
Hard ferrite 29/22	a	S1-1-7		29	390	210	220	1,1	4,8
Hard ferrite 32/17	a	S1-1-8		32	410	160	165	1,1	4,9
Hard ferrite 32/25	a	S1-1-9		32	410	240	250	1,1	4,9
Hard ferrite 24/35	a	S1-1-10		24	360	260	350	1,1	4,8
Hard ferrite 29/15	a	S1-1-11		29	400	145	150	1,1	5,0
Hard ferrite 25/38	a	S1-1-12		25	380	275	380	1,1	4,95
Hard ferrite 31/30	a	S1-1-13		31	410	295	300	1,1	4,95
Hard ferrite 35/25	a	S1-1-14		35	430	245	250	1,1	4,95
Hard ferrite 38/27 ^b	a	S1-1-15		38	450	260	270	1,1	5,0
Hard ferrite 36/34 ^b	a	S1-1-16		36	440	320	340	1,1	5,0
Hard ferrite 33/38 ^b	a	S1-1-17		33	420	300	380	1,1	5,0
Hard ferrite 41/34 ^b	a	S1-1-18		41	470	320	340	1,1	5,1
Hard ferrite 39/39 ^b	a	S1-1-19	39	460	340	390	1,1	5,1	
Typical values of the parameters:									
Temperature coefficient of remanence α(<i>B</i> _r) = −0,2 %/°C (for 20 °C to 100 °C)									

Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = 0,25 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ to $0,4 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ (for $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ to $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$) The La, Co grades (see b) have $\alpha(H_{cJ}) = 0,11 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ to $0,24 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ (for $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ to $100 \text{ }^{\circ}\text{C}$) Curie temperature: $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ Maximum operating temperature: $250 \text{ }^{\circ}\text{C}$
^a i = isotropic, a = anisotropic ^b These grades have substitutions of La and Co.

Table 15 – Magnetic properties and densities of isotropic AlNiCo alloys with organic binder

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum <i>BH</i> product <i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	Remanent flux density <i>B</i> _r mT	Coercivity <i>H</i> _{cB} kA/m	Coercivity <i>H</i> _{cJ} kA/m	Relative recoil permeability <i>μ</i> _{rec}	
AlNiCo p				Specified minimum values				Typical values	
AlNiCo 3/5p	i	U1-0-30	Compression moulding	3,1	280	37	46	2,5	5,3
AlNiCo 5/6p	i	U1-0-31		5,2	320	46	56	2,5	5,4
AlNiCo 7/8p	i	U1-0-32		7,0	340	72	84	2,5	5,5
Typical values of the parameters:									
Temperature coefficient of remanence <i>α</i> (<i>B</i> _r) = −0,02 %/°C (for 20 °C to 100 °C)									
Temperature coefficient of coercivity <i>α</i> (<i>H</i> _{cJ}) = −0,03 %/°C to −0,07 %/°C (for 20 °C to 100 °C)									
Curie temperature: 750 °C to 850 °C									
Continuous operating temperature: depending on binder									
^a i = isotropic									

Table 16 – Magnetic properties and densities of RECo alloys with organic binder

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum <i>BH</i> product <i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	Remanent flux density <i>B</i> _r mT	Coercivity <i>H</i> _{cB} kA/m	Coercivity <i>H</i> _{cJ} kA/m	Relative recoil permeability <i>μ</i> _{rec}	<i>ρ</i> Mg/m ³
RECo p				Specified minimum values				Typical values	
RECo ₅ 52/52p	a	U2-1-20	Injection moulding	52	570	330	520	1,1	5,6
RECo ₅ 68/60p	a	U2-1-21		68	620	380	600	1,1	5,7
RE ₂ Co ₁₇ 20/60p	i	U2-0-25		20	350	200	600	1,15	5,6
RE ₂ Co ₁₇ 30/80p	i	U2-0-35	Compression moulding	30	430	300	800	1,15	6,8
RE ₂ Co ₁₇ 40/60p	a	U2-1-25	Injection moulding	40	480	300	600	1,05	5,3
RE ₂ Co ₁₇ 65/70p	a	U2-1-26		65	610	360	700	1,05	5,5
RE ₂ Co ₁₇ 75/55p	a	U2-1-27		75	650	440	550	1,05	5,7
RE ₂ Co ₁₇ 110/75p	a	U2-1-35	Compression moulding	110	780	480	750	1,05	6,8
Typical values of the parameters: RECo ₅ Temperature coefficient of remanence $\alpha(B_r) = -0,04 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (for 20 °C to 100 °C) Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,3 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (for 20 °C to 100 °C) Curie temperature: 720 °C Continuous operating temperature: depending on binder RE ₂ Co ₁₇ Temperature coefficient of remanence $\alpha(B_r) = -0,03 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (for 20 °C to 100°C) Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,25 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (for 20 °C to 100°C) Curie temperature: 820 °C Continuous operating temperature: depending on binder									
^a i = isotropic; a = anisotropic									

Table 17 – Magnetic properties and densities of isotropic REFeB alloys with organic binder

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum <i>BH</i> product	Remanent flux density	Coercivity	Coercivity	Relative recoil permeability	
				<i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	<i>B</i> _r mT	<i>H</i> _{cB} kA/m	<i>H</i> _{cJ} kA/m	<i>μ</i> _{rec}	
REFeB p				Specified minimum values				Typical values	
REFeB 28/56p	i	U3-0-20	Injection moulding	28	430	270	560	1,25	4,2
REFeB 33/56p	i	U3-0-21		33	470	290	560	1,25	4,6
REFeB 26/90p	i	U3-0-22		26	400	270	900	1,15	4,2
REFeB 30/90p	i	U3-0-23		30	440	280	900	1,15	4,6
REFeB 40/70p	i	U3-0-24		40	470	320	700	1,25	5,0
REFeB 45/70p	i	U3-0-25		45	510	350	700	1,25	5,7
REFeB 50/70p	i	U3-0-26		50	550	380	700	1,25	5,7
REFeB 72/64p	i	U3-0-27		72	650	370	640	1,25	6,0
REFeB 40/100p	i	U3-0-28		40	480	330	1 000	1,15	5,3
REFeB 63/64p	i	U3-0-30	Compres-sion moulding	63	630	360	640	1,25	5,8
REFeB 53/95p	i	U3-0-31		53	560	350	950	1,15	5,8
REFeB 82/68p	i	U3-0-32		82	700	500	680	1,25	6,2
Typical values of the parameters: Temperature coefficient of remanence $\alpha(B_r) = -0,1 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ to $-0,15 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (for 20 °C to 100 °C). Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,4 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (for 20 °C to 100 °C) Curie temperature of the REFeB alloy: 310 °C Maximum operating temperature: 120 °C									
^a i = isotropic									

Table 18 – Magnetic properties and densities of isotropic and anisotropic hard ferrites with organic binder

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum <i>BH</i> product	Remanent flux density	Coercivity	Coercivity	Relative recoil permeability	
				<i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	<i>B</i> _r mT	<i>H</i> _{cB} kA/m	<i>H</i> _{cJ} kA/m	<i>μ</i> _{rec}	
Hard ferrite p				Specified minimum values				Typical values	
Hard ferrite 3/16p	i	U4-0-10	Extrusion	3,2	130	85	160	1,15	3,8
Hard ferrite 1/18p	i	U4-0-20	Injection moulding	0,8	70	50	175	1,1	2,3
Hard ferrite 3/18p	i	U4-0-21		3,2	135	85	175	1,1	3,8
Hard ferrite 4/22p	i	U4-0-22		3,5	145	110	215	1,1	3,8
Hard ferrite 7/18p	a	U4-1-10	Extrusion or calendering	6,5	185	110	175	1,1	3,6
Hard ferrite 9/17p	a	U4-1-11		9	215	145	170	1,1	3,6
Hard ferrite 11/24p	a	U4-1-12		11	240	170	240	1,1	3,7
Hard ferrite 15/24p	a	U4-1-13		14,5	275	190	240	1,1	3,8
Hard ferrite 8/19p	a	U4-1-20	Injection moulded	7,5	210	120	185	1,1	3,2
Hard ferrite 12/23p	a	U4-1-21		12	250	170	230	1,1	3,5
Hard ferrite 15/21p	a	U4-1-22		15	280	180	210	1,1	3,7
Typical values of the parameters:									
Temperature coefficient of remanence $\alpha(B_r) = -0,2 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ (for 20 °C to 100 °C)									
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = 0,25 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ to 0,4 %/°C (for 20 °C to 100 °C)									
Curie temperature: 450 °C									
Continuous operating temperature: depending on binder									
^a i = isotropic; a = anisotropic									

Table 19 – Magnetic properties and densities of anisotropic REFeN alloys with organic binder

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum <i>BH</i> product <i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	Remanent flux density <i>B</i> _r mT	Coercivity <i>H</i> _{cB} kA/m	Coercivity <i>H</i> _{cJ} kA/m	Relative recoil permeability <i>μ</i> _{rec}	
REFeN p			Injection moulding	Specified minimum values				Typical values	
REFeN 75/70 p	a	U5-1-20		75	640	430	700	1,1	4,2
REFeN 91/63 p	a	U5-1-21		91	690	450	630		4,4
REFeN 100/66 p	a	U5-1-22		100	760	470	660		4,7
Typical values of the parameters: Temperature coefficient of remanence <i>α</i> (<i>B</i> _r) = −0,07 %/°C (for 20 °C to 100 °C). Temperature coefficient of coercivity <i>α</i> (<i>H</i> _{cJ}) = −0,50 %/°C (for 20 °C to 100 °C) Curie temperature: 476 °C Continuous operating temperature: depending on binder									
^a a = anisotropic									

**Table 20 – Dimensional tolerances (as cast or as sintered)
of magnets made from AlNiCo alloys**

Values in millimetres

Nominal value		Sintered alloys with $\leq 1\%$ Ti		Sintered alloys with $> 1\%$ Ti		Cast alloys	
greater than	up to	Perpendicular to the compacting direction	In compacting direction	Perpendicular to the compacting direction	In compaction direction	Sand casting	Shell moulded casting
		$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$
	4	0,15	0,20	0,20	0,25	0,40	0,25
4	6	0,20	0,25	0,25	0,30	0,40	0,25
6	8	0,20	0,25	0,25	0,30	0,40	0,25
8	10	0,20	0,30	0,30	0,35	0,45	0,25
10	13	0,25	0,30	0,30	0,35	0,50	0,30
13	16	0,25	0,35	0,35	0,45	0,50	0,30
16	20	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55	0,40
20	25	0,30	0,40	0,45	0,55	0,60	0,50
25	30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,65	0,50
30	35	0,40	0,50	0,55	0,70	0,70	0,60
35	40	0,45	0,55	0,65	0,75	0,75	0,60
40	45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,80	0,70
45	50	0,50	0,65	0,75	0,90	0,80	0,70
50	55	0,55	0,70	0,80	1,00	1,00	0,80
55	60	0,60	0,80	0,90	1,10	1,00	0,80
60	70	–	–	–	–	1,00	0,80
70	80	–	–	–	–	1,00	0,80
80	90	–	–	–	–	1,10	0,80
90	100	–	–	–	–	1,20	0,80

Table 21 – Dimensional tolerances of cold rolled strips of FeCoVCr and CrFeCo alloys with a maximum thickness of 6 mm and maximum width of 125 mm

Values in millimetres

Thickness (max. 6 mm)			Width (max. 125 mm)			
Range of thickness		Dimensional tolerance of thickness ^b ±	Stage of grades	Range of thickness		Dimensional tolerance of width
from	to less than			from	to less than	
0,10	0,15	0,010	Cut	0,10	0,40	+0,3
0,15	0,40	0,020	Cut	0,40	1,50	+0,4
0,40	1,00	0,030	Cut	1,50	2,50	+0,6
1,00	1,50	0,040	Cut	2,50	6,00 ^a	+0,8
1,50	2,50	0,050	---	---	---	---
2,50	4,00	0,060	Natural	0,3	6,00 ^a	+3,0
4,00	6,00 ^a	0,080	(as rolled)			

^a Including 6 mm.

^b Thickness may be measured at any point of the strip at a distance of at least 20 mm from the edges. For width less than or equal to 40 mm the measurements shall be performed in the middle of the strip

Table 22 – Dimensional tolerances of the diameter of cold drawn wires and bars of FeCoVCr and CrFeCo alloys

Values in millimetres

Range of diameter		Dimensional tolerance on diameter ±
from	to less than	
	0,25	0,01
0,25	0,40	0,015
0,40	0,63	0,02
0,63	1,0	0,03
1,0	1,6	0,04
1,6	2,5	0,06
2,5	4,0	0,08
4,0	6,3	0,10
6,3	10,0	0,15
10,0	16,0	0,20
16,0	20,0 (value included)	0,25

Table 23 – Dimensional tolerances on magnets made from hard ferrites*Values in millimetres*

Nominal value		Isotropic hard ferrites		Anisotropic hard ferrites		Hard ferrites with binder	
greater than	up to	Perpendicular to the compacting direction ±	In compacting direction ±	Perpendicular to the compacting direction ±	In compacting direction ^a ±	Extruded or rolled ±	Injection moulded or pressed ±
	4	0,25	0,40	0,25	0,40	0,15	0,10
4	6	0,25	0,40	0,25	0,40	0,15	0,10
6	8	0,25	0,40	0,25	0,40	0,15	0,10
8	10	0,30	0,40	0,30	0,40	0,15	0,10
10	13	0,30	0,40	0,30	0,40	0,20	0,10
13	16	0,30	0,40	0,35	0,45	0,20	0,15
16	20	0,35	0,45	0,45	0,55	0,25	0,15
20	25	0,40	0,55	0,55	0,70	0,30	0,15
25	30	0,55	0,70	0,70	0,90	0,35	0,20
30	35	0,65	0,85	0,80	1,00	0,40	0,20
35	40	0,75	1,00	0,95	1,20	0,45	0,25
40	45	0,85	1,15	1,10	1,35	0,50	0,25
45	50	0,95	1,30	1,20	–	0,50	0,25
50	55	1,05	1,65	1,30	–	0,55	0,30
55	60	1,15	1,80	1,45	–	0,60	0,30
60	70	1,30	2,10	1,65	–	0,70	0,35
70	80	1,50	2,40	1,90	–	–	–
80	90	1,70	2,70	2,15	–	–	–
90	100	1,90	3,00	2,40	–	–	–
^a Wet compacted hard ferrites shall be ground on the pole surface in every case.							

Annex A (informative)

Physical data and mechanical reference values of AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, hard ferrite and bonded SmFeN magnets

Table A.1 gives some physical and mechanical data for different groups of magnetically hard materials. These include AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, hard ferrite and bonded SmFeN magnets.

This data is for reference only. It provides a qualitative comparison of the materials according to their physical and mechanical characteristics.

Table A.1 – Physical data and mechanical reference values of AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, hard ferrite and bonded SmFeN magnets

Material/manufacturing				Physical properties			Mechanical reference properties			
Brief designation	Magnetic anisotropy a	Code number	Manufacturing	Thermal expansion coefficient $10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Thermal conductivity W/m·K	Resistivity $\mu\Omega\cdot\text{m}$	Tensile strength MPa	Compressive strength MPa	Young's modulus GPa	Vicker's Hardness H_v
AlNiCo	i and a	R1-0-x and R1-1-x	Cast or sintered	11 to 12	10 to 50	0,45 to 0,55	80 to 300	300 to 400	100 to 200	300 to 400
CrFeCo	i and a	R6-0-x and R6-1-x	Cast or sintered	10 to 11	10 to 30	0,7 to 0,8	1 200 to 1 400 ^b 600 to 700 ^c			300 to 350 ^b 400 to 500 ^c
FeCoVCr	a	R3-1-x	Cast	11 to 12		0,55 to 0,65	2 000 to 2 500 ^b 2 500 to 3 500 ^c			
SmCo ₅	a	R5-1-x x=1,2,...,9	Sintered	$\parallel$ 6 to 7 $\perp$ 12 to 13	10 to 13	0,5 to 0,6	30 to 40	900 to 1 000	100 to 150	500 to 600
Sm ₂ Co ₁₇		R5-1-x x=10,11,...,19		$\parallel$ 8 to 10 $\perp$ 10 to 12		0,75 to 0,85	40 to 50	800 to 900	150 to 200	600 to 700
NdFeB	a	R7-1-x	Sintered	$\parallel$ 4 to 8 $\perp$ -3 to -1	8 to 10	1,4 to 1,6	80 to 90	1 000 to 1 100	150 to 200	500 to 600
Hard ferrite	i	S1-0-x	Sintered	9 to 10	4	$> 10^4$	50 to 60	600 to 700	15 to 200	500 to 600
	a	S1-1-x		$\parallel$ 12 to 13 $\perp$ 10 to 11	4	$> 10^4$	50 to 60	600 to 700	15 to 200	500 to 600
Bonded SmFeN ^d	a	U5-1-x	Bonded	60 to 80	1 to 2		30 to 40		6 to 9	
$\parallel$ parallel $\perp$ perpendicular ^a i = isotropic, a = anisotropic ^b Cold-worked ^c Tempered ^d Data for bonded magnets with 7 % to 13 % mass fraction of PA-12 (nylon-12, a kind of polyamide)										

Bibliography

- [1] IEC 60050-121, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 121: Electromagnetism*
 - [2] IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 151: Electrical and magnetic devices*
 - [3] IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 221: Magnetic materials and components*
 - [4] IEC 60404-1:2000, *Magnetic materials – Part 1: Classification*
 - [5] IEC 60404-7, *Magnetic materials – Part 7: Method of measurement of the coercivity of magnetic materials in an open magnetic circuit*
 - [6] IEC TR 62517, *Magnetizing behaviour of permanent magnets*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	40
INTRODUCTION.....	42
1 Domaine d'application.....	43
2 Références normatives	43
3 Termes et définitions	43
4 Types de matériaux et leurs applications.....	43
5 Classification.....	44
5.1 Généralités	44
5.2 Principales propriétés magnétiques	44
5.3 Propriétés magnétiques additionnelles.....	45
6 Composition chimique.....	46
7 Masses volumiques	46
8 Désignation	46
9 État de livraison et dimensions.....	46
10 Essais	46
10.1 Étendue des essais	46
10.2 Méthodes d'essai	46
11 Motifs de refus.....	47
12 Description des tableaux des propriétés normales	47
12.1 Alliages magnétiques durs.....	47
12.1.1 Alliages aluminium-nickel-cobalt-fer-titane (AlNiCo).....	47
12.1.2 Alliages chrome-fer-cobalt (CrFeCo).....	48
12.1.3 Alliages fer-cobalt-vanadium-chrome (FeCoVCr).....	49
12.1.4 Alliages terres rares-cobalt (RECo)	49
12.1.5 Alliages terres rares-fer-bore (REFeB).....	50
12.2 Céramiques magnétiques dures (ferrites magnétiques dures).....	51
12.2.1 Composition chimique	51
12.2.2 Méthode de fabrication.....	51
12.2.3 Sous-classification	51
12.2.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques	51
12.2.5 Tolérances sur les dimensions	51
12.3 Aimants agglomérés.....	51
12.3.1 Généralités	51
12.3.2 Composition chimique	52
12.3.3 Méthode de fabrication.....	52
12.3.4 Sous-classification	53
12.3.5 Propriétés magnétiques et masses volumiques	54
12.3.6 Tolérances sur les dimensions	54
13 Phénomène de désaimantation irréversible	54
13.1 Généralités	54
13.2 Définition générale de l'intensité du champ de désaimantation H_D	54
13.3 Définition simplifiée de l'intensité du champ de désaimantation H_D	55
14 Tableaux 10 à 23.....	57
Annexe A (informative) Données physiques et valeurs mécaniques de référence des aimants AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, ferrite dure et des aimants agglomérés SmFeN	71

Bibliographie	73
Figure 1 – Graphique des courbes de désaimantation et de recul $B(H)$ et $J(H)$	55
Figure 2 – Évaluation simplifiée des courbes de désaimantation et de recul $B(H)$ et $J(H)$	57
Tableau 1 – Classification des matériaux magnétiques durs.....	44
Tableau 2 – Propriétés magnétiques – Symboles et unités.....	45
Tableau 3 – Propriétés magnétiques additionnelles – Symboles et unités.....	45
Tableau 4 – Compositions chimiques des alliages AlNiCo (% massique)	47
Tableau 5 – Compositions chimiques des alliages CrFeCo (% massique).....	48
Tableau 6 – Compositions chimiques des alliages FeCoVCr (% massique).....	49
Tableau 7 – Compositions chimiques des alliages RECo (% massique).....	49
Tableau 8 – Compositions chimiques des alliages REFeB (% massique).....	50
Tableau 9 – Compositions chimiques des alliages REFeN pour les aimants agglomérés (% massique)	52
Tableau 10 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants AlNiCo.....	58
Tableau 11 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants CrFeCo et FeCoVCr	59
Tableau 12 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants RECo.....	60
Tableau 13 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants REFeB.....	61
Tableau 14 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des ferrites dures	62
Tableau 15 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des alliages AlNiCo isotropes à liant organique	63
Tableau 16 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des alliages RECo à liant organique	64
Tableau 17 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des alliages isotropes REFeB avec liant organique.....	65
Tableau 18 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des ferrites dures isotropes et anisotropes à liant organique	66
Tableau 19 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des alliages REFeN anisotropes à liant organique	67
Tableau 20 – Tolérances sur les dimensions des aimants en alliages AlNiCo (moulés ou frittés).....	68
Tableau 21 – Tolérances sur les dimensions de feuillards laminés à froid, pour des alliages FeCoVCr et CrFeCo avec une épaisseur maximale de 6 mm et une largeur maximale de 125 mm	69
Tableau 22 – Tolérances sur les dimensions du diamètre des fils et des barres étirés à froid pour des alliages FeCoVCr et CrFeCo	69
Tableau 23 – Tolérances sur les dimensions des aimants en ferrites dures	70
Tableau A.1 – Données physiques et valeurs mécaniques de référence des aimants AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, ferrite dure et des aimants agglomérés SmFeN	72

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 8-1: Spécifications pour matériaux particuliers – Matériaux magnétiquement durs

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 60404-8-1 a été établie par le comité d'études 68 de l'IEC: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition, parue en 2001, et l'Amendement 1:2004. Cette édition constitue une révision technique.

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

elle inclut les aimants agglomérés Sm-Fe-N anisotropes récemment développés;

elle inclut les ferrites haute énergie avec les remplaçants La et Co.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
68/495/FDIS	68/503/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60404, publiées sous le titre général *Matériaux magnétiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

INTRODUCTION

Cette troisième édition de l'IEC 60404-8-1 inclut les aimants agglomérés Sm-Fe-N anisotropes récemment développés, ainsi que les ferrites haute énergie avec les remplaçants La et Co, qui sont devenus établis dans les applications d'aimants permanents. Elle inclut également des corrections à la deuxième édition afin d'améliorer la cohérence avec l'IEC 60404-5. La rectangularité de la courbe de désaimantation est introduite par la grandeur H_D .

MATERIAUX MAGNETIQUES –

Partie 8-1: Spécifications pour matériaux particuliers – Matériaux magnétiquement durs

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60404 spécifie les valeurs minimales des principales propriétés magnétiques des matériaux magnétiques durs importants d'un point de vue technique (aimants permanents) ainsi que leurs tolérances sur les dimensions.

La présente partie de l'IEC 60404 donne uniquement à titre indicatif des valeurs de masses volumiques des matériaux et les plages de leur composition chimique.

NOTE Dans un but d'information et de comparaison, quelques données physiques et valeurs mécaniques de référence sur les matériaux magnétiques sont aussi données au Tableau A.1.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International* (disponible sous: www.electropedia.org)

IEC 60404-5, *Matériaux magnétiques – Partie 5: Aimants permanents (magnétiques durs) – Méthodes de mesure des propriétés magnétiques*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions dans l'IEC 60050-121 [1], l'IEC 60050-151 [2] et l'IEC 60050-221 [3] s'appliquent.¹

4 Types de matériaux et leurs applications

Les matériaux d'aimants permanents, également appelés "matériaux magnétiques durs", sont classés dans l'IEC 60404-1 [4] en Classe R (alliages magnétiques durs), Classe S (céramiques magnétiques dures) et Classe U (matériaux magnétiques durs agglomérés).

Les aimants permanents ont une coercitivité de polarisation magnétique supérieure à 1 kA/m. Après avoir été aimantés jusqu'à saturation, ils produisent une énergie magnétique spécifique dépendant du matériau qui peut être utilisée dans des circuits magnétiques d'applications statiques ou dynamiques.

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

Les matériaux d'aimants permanents sont utilisés dans presque tous les domaines de la vie quotidienne. Ils réalisent des fonctions de couplage, de modulation ou de régulation dans des équipements ou dispositifs basés sur les principes de l'électromagnétisme, par exemple dans les appareils de mesure, les moteurs, les générateurs et les haut-parleurs. Les matériaux d'aimants permanents sont indispensables dans les équipements de bureau et le matériel informatique, les automobiles, y compris les moteurs à propulsion pour les véhicules hybrides électriques, les véhicules électriques, l'électronique de loisir, les télécommunications, l'électroménager et les instruments médicaux, aussi bien que dans la construction mécanique, comme appareils d'attraction, plaques de fixation, etc.

Des applications typiques et d'autres possibilités pour les matériaux d'aimants permanents commercialement disponibles sont décrites plus en détail en 3.2 (Classe R), 3.3 (Classe S) et 3.5 (Classe U) de l'IEC 60404-1:2000.

5 Classification

5.1 Généralités

Comparée à l'IEC 60404-8-1:2001 et l'IEC 60404-8-1:2001/AMD1:2004, cette édition révisée utilise la même classification des matériaux d'aimants permanents pour applications techniques. Les aimants agglomérés REFeN sont nouvellement ajoutés en tant que U5 pour la première partie du numéro de code. Cette classification est donnée dans le Tableau 1. Les matériaux sont regroupés conformément à leurs relations métallurgiques.

Tableau 1 – Classification des matériaux magnétiques durs

Groupe	Principaux constituants	Première partie du numéro de code IEC 60404-8-1:2015	Numéro de code précédent IEC 60404-8-1:2001/AMD1:2004
Alliages magnétiques durs (R)	Alliages aluminium-nickel-cobalt-fer-titane Alliages chrome-fer-cobalt Alliages fer-cobalt-vanadium-chrome Alliages terres rares-cobalt Alliage terres rares-fer-bore	R1 R6 R3 R5 R7	R1 R6 R3 R5 R7
Céramiques magnétiques dures (S)	Ferrites magnétiques dures ($MO \cdot nFe_2O_3$; M = Ba, Sr et/ou Pb et $n = 4,5$ à $6,5$)	S1	S1
Matériaux magnétiques durs agglomérés (U)	Aimants agglomérés aluminium-nickel-cobalt-fer-titane Aimants agglomérés terres rares-cobalt Aimants agglomérés terres rares-cobalt-bore Aimants agglomérés ferrites dures Aimants agglomérés terres rares-fer-azote	U1 U2 U3 U4 U5	U1 U2 U3 U4 —

Les matériaux d'aimants permanents sont identifiés par les principales propriétés magnétiques données en 5.2.

5.2 Principales propriétés magnétiques

Les symboles et unités des propriétés magnétiques des matériaux magnétiques durs sont donnés au Tableau 2.

Tableau 2 – Propriétés magnétiques – Symboles et unités

Propriétés magnétiques	Symbole	Unité
Valeur maximale du produit (BH)	$(BH)_{\max}$	kJ/m^3
Induction magnétique rémanente	B_r	mT
Coercitivité relative à l'induction magnétique	H_{cB}	kA/m
Coercitivité relative à la polarisation magnétique	H_{cJ}	kA/m

Les valeurs minimales des propriétés magnétiques à température ambiante, mesurées après aimantation à saturation, sont données dans les Tableaux 10 à 19.

Les valeurs des propriétés magnétiques spécifiées sont valables seulement pour les aimants ayant une section constante le long de l'axe d'aimantation, un volume compris entre $0,125 \text{ cm}^3$ et 200 cm^3 et dont les dimensions relatives aux trois axes de coordonnées sont d'au moins 5 mm.

Pour les matériaux anisotropes, elles sont valables seulement selon une direction préférentielle.

Pour plus de détails sur les tailles limites pour les mesurages, voir l'IEC 60404-5.

Pour des raisons liées aux méthodes de fabrication, des valeurs plus faibles des propriétés magnétiques peuvent être obtenues si les conditions dimensionnelles susmentionnées ne sont pas satisfaites.

Pour la méthode de mesure de la coercitivité des matériaux magnétiques en circuit magnétique ouvert, voir l'IEC 60404-7 [5].

5.3 Propriétés magnétiques additionnelles

Les symboles et unités des propriétés magnétiques additionnelles des matériaux magnétiques durs sont donnés au Tableau 3.

Tableau 3 – Propriétés magnétiques additionnelles – Symboles et unités

Propriétés magnétiques	Symbole	Unité
Perméabilité de recul	μ_{rec}	—
Coefficient de température de l'induction magnétique rémanente [il est lié au coefficient de température de la saturation magnétique $\alpha(J_s)$]	$\alpha(B_r)$	$\%/^{\circ}\text{C}$
Coefficient de température de la coercitivité relative à la polarisation magnétique	$\alpha(H_{cJ})$	$\%/^{\circ}\text{C}$
Température de Curie	T_c	$^{\circ}\text{C}$

Les valeurs données dans les Tableaux 10 à 19 sont les valeurs minimales spécifiées et des valeurs typiques. Les valeurs typiques sont les valeurs moyennes publiées dans les ouvrages de référence; elles sont seulement données à titre indicatif et ne sont pas garanties. La plage de températures pour les coefficients de température figurant dans les tableaux s'étend généralement de 20°C à 100°C , mais cela n'exclut pas l'utilisation de ces matériaux en dehors de cette plage.

L'intensité du champ magnétique nécessaire pour aimanter les matériaux magnétiques durs jusqu'à la saturation est définie dans l'IEC 60404-5, dans l'IEC 60404-7 [5] et dans l'IEC TR 62517 [6].

6 Composition chimique

Les plages de compositions des divers groupes de matériaux sont données à titre indicatif en 12.1.1.1, 12.1.2.1, 12.1.3.1, 12.1.4.1, 12.1.5.1, 12.2.1 et 12.3.2.

7 Masses volumiques

Les valeurs de masse volumique reportées dans les Tableaux 10 à 19 sont indicatives. Les valeurs de masse volumique peuvent être utilisées pour calculer les masses et les volumes utilisés.

8 Désignation

Les matériaux magnétiques durs peuvent être identifiés par des désignations simplifiées et par des symboles alphanumériques (numéros de code, voir les Tableaux 10 à 19). Les symboles chimiques qui sont éventuellement utilisés dans les désignations simplifiées indiquent les principaux constituants. Le nombre situé devant la barre oblique, dans la désignation simplifiée, indique la valeur maximale du produit (BH) en kilojoules par mètre cube (kJ/m^3), et le nombre situé après la barre oblique indique un dixième de la coercitivité H_{cJ} en kiloampères par mètre (kA/m). Les matériaux magnétiques durs avec liant (principalement organique, voir 12.3.1) sont repérés par un "p" ajouté comme suffixe à la désignation simplifiée.

EXEMPLE Pour la qualité AlNiCo 12/6 du Tableau 10, l'entier 12 est obtenu à partir de la valeur minimale du produit $(BH)_{\max}$ de $11,6 \text{ kJ/m}^3$ et l'entier 6 à partir du dixième de la valeur minimale de la coercitivité H_{cJ} , soit un dixième de $55 \text{ kA/m} = 5,5 \text{ kA/m}$ en arrondissant, au-dessous ou au-dessus, à l'entier le plus proche. Si l'arrondi au-dessous conduit à l'entier nul, le nombre comprenant le premier décimal arrondi non nul est retenu.

Les numéros de code sont dérivés du système de classification utilisé dans l'IEC 60404-1. La lettre dans le numéro de code indique la classe de matériau magnétique dur. Le premier chiffre indique le type de matériau dans la classe respective; voir Tableau 9. Un "0" en deuxième position signifie que le matériau est magnétiquement isotrope; un "1" indique que le matériau est magnétiquement anisotrope. Le troisième chiffre distingue les différentes qualités.

9 État de livraison et dimensions

Les matériaux décrits dans la présente spécification peuvent être livrés aimantés ou non et peuvent être montés dans des circuits magnétiques.

Un accord entre le fournisseur et l'acheteur sur les dimensions des aimants est nécessaire lors de la commande.

10 Essais

10.1 Étendue des essais

Le fournisseur et l'acheteur doivent convenir de l'étendue des essais.

10.2 Méthodes d'essai

Le fournisseur et l'acheteur doivent convenir des méthodes d'essai.

Les valeurs minimales des propriétés magnétiques des matériaux magnétiques durs de forme convenable et de dimensions appropriées doivent être soumises à essai conformément à l'IEC 60404-5.

Si la forme ou les dimensions ne correspondent pas aux exigences de 5.2, il convient que le fournisseur et l'acheteur conviennent des détails de l'essai.

11 Motifs de refus

Une qualité magnétique inférieure (les Tableaux 10 à 19 donnent les valeurs minimales spécifiées de quelques propriétés magnétiques), des dimensions physiques et des tolérances sur les dimensions (voir Tableaux 20 à 23) constituent des motifs de refus.

Des imperfections mécaniques extérieures et intérieures peuvent être considérées comme des motifs de refus si elles sont nuisibles au maniement ou au fonctionnement.

La notification de refus de l'acheteur au fournisseur doit être accompagnée d'échantillons du lot refusé.

12 Description des tableaux des propriétés normales

12.1 Alliages magnétiques durs

12.1.1 Alliages aluminium-nickel-cobalt-fer-titane (AlNiCo)

12.1.1.1 Composition chimique

Les aimants permanents de base aluminium-nickel-cobalt-fer-titane, désignés par AlNiCo, forment un large éventail d'alliages riches en composants situés dans les plages de compositions données au Tableau 4 (valeurs en pourcentage massique):

Tableau 4 – Compositions chimiques des alliages AlNiCo (% massique)

	Al	Ni	Co	Cu	Ti	Nb	Si	Fe
AlNiCo	8 à 13	13 à 28	5 à 42	2 à 6	0 à 9	0 à 3	0 à 0,8	solde

12.1.1.2 Méthodes de fabrication

Les aimants AlNiCo sont obtenus par fonderie (moulage) ou par un procédé de métallurgie des poudres (frittage). La qualité magnétique des alliages contenant plus de 20 % (pourcentage massique) de Co peut être augmentée selon une direction préférentielle par l'application d'un champ magnétique pendant le traitement thermique. Par ce procédé, une anisotropie magnétique est conférée au matériau.

Les meilleures performances des aimants AlNiCo sont atteintes par les matériaux à structure colonnaire ou monocristalline. Il faut que le champ magnétique appliqué durant le traitement thermique soit parallèle à l'axe colonnaire.

12.1.1.3 Sous-classification

Alliages magnétiques isotropes, moulés ou frittés (R1-0- x)

où $x = 1, 2, \dots$

Alliages magnétiques anisotropes, moulés (R1-1- x)

où $x = 1, 2, \dots$

12.1.1.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et les masses volumiques sont données dans le Tableau 10 (voir aussi 5.2 et 5.3 ainsi que l'Article 7).

12.1.1.5 Tolérances sur les dimensions

Les valeurs des tolérances sur les dimensions des alliages AlNiCo frittés et moulés sont données dans le Tableau 20.

12.1.2 Alliages chrome-fer-cobalt (CrFeCo)

12.1.2.1 Composition chimique

Les aimants permanents de base chrome-fer-cobalt, désignés par CrFeCo, ont des compositions situées dans les plages données au Tableau 5 (valeurs en pourcentage massique):

Tableau 5 – Compositions chimiques des alliages CrFeCo (% massique)

	Cr	Co	Autres éléments par exemple, Si, Ti, Mo, Al, V	Fe
CrFeCo	25 à 35	7 à 25	0,1 à 3	solde

12.1.2.2 Méthode de fabrication

Les alliages CrFeCo peuvent être fabriqués par fonderie (moulage), suivie d'un laminage à chaud puis à froid et d'un étirage pour produire des feuillards et des fils. Des pièces sont faites à partir de ces matériaux par estampage, tournage ou perçage. Après la mise en forme, un traitement thermique est à pratiquer pour obtenir les propriétés magnétiques permanentes. Les aimants peuvent aussi être produits par un procédé de métallurgie des poudres. Les propriétés magnétiques des matériaux moulés aussi bien que des matériaux frittés peuvent être augmentées dans une direction préférentielle par application d'un champ magnétique durant le traitement thermique.

12.1.2.3 Sous-classification

Alliages magnétiques isotropes (R6-0- x)

où $x = 1, 2, \dots$

Alliages magnétiques anisotropes (R6-1- x)

où $x = 1, 2, \dots$

12.1.2.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants CrFeCo, isotropes et anisotropes, sont données au Tableau 11 (voir aussi 5.2 et 5.3, ainsi que l'Article 7).

12.1.2.5 Tolérances sur les dimensions

Les valeurs des tolérances sur les dimensions des feuillards laminés à froid et des fils et barres étirés à froid sont données respectivement dans les Tableaux 21 et 22. Pour les aimants frittés, les tolérances doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

12.1.3 Alliages fer-cobalt-vanadium-chrome (FeCoVCr)

12.1.3.1 Composition chimique

Les plages de composition chimique sont données au Tableau 6 (valeurs en pourcentage massique):

Tableau 6 – Compositions chimiques des alliages FeCoVCr (% massique)

	Co	V + Cr	Fe
FeCoVCr	49 à 54	4 à 13	solde

12.1.3.2 Méthode de fabrication

Les alliages FeCoVCr sont fabriqués par fonderie (moulage) et par laminage ou étirage à chaud ou à froid pour la production respective de feuillards ou de fils. La déformation à froid (de 80 % à 95 %), suivie par un traitement thermique dans une plage comprise entre 500 °C et 650 °C, est essentielle pour l'obtention des propriétés magnétiques permanentes.

12.1.3.3 Sous-classification

La sous-classification recommandée est basée sur la coercitivité relative à la polarisation magnétique H_{CJ} .

12.1.3.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et masses volumiques sont données au Tableau 11 (voir aussi 5.2 et 5.3, ainsi que l'Article 7).

12.1.3.5 Tolérances sur les dimensions

Les valeurs des tolérances sur les dimensions des feuillards laminés à froid et des fils étirés à froid sont données respectivement dans les Tableaux 21 et 22.

12.1.4 Alliages terres rares-cobalt (RECo)

12.1.4.1 Composition chimique

Les deux types d'alliages suivants ont une importance technique: $RECo_5$ et RE_2Co_{17} . La composition RE_2Co_{17} est employée comme nom générique d'une série d'alliages binaires et multiphasés ayant un certain nombre d'éléments de transition remplaçant en partie le cobalt. Ces alliages ont une forte anisotropie magnétique uniaxiale et une saturation magnétique élevée, d'où résultent des aimants à grande coercitivité H_{CJ} et à forte rémanence B_r . Leurs constituants principaux sont donnés au Tableau 7 (valeurs en pourcentage massique):

Tableau 7 – Compositions chimiques des alliages RECo (% massique)

	Sm	Fe	Cu	Autres éléments par exemple, Zr, Hf, Ti	Co
$SmCo_5$	33 à 36	—	—	—	solde
Sm_2Co_{17}	24 à 26	10 à 20	4,5 à 12	0 à 3	solde

Le samarium (Sm) est le principal métal des terres rares (RE) dans ces alliages et il fournit les meilleures propriétés magnétiques.

Cependant, le cérium (Ce) ou le praséodyme (Pr) peut aussi être utilisé comme composant RE.

12.1.4.2 Méthode de fabrication

Le compactage de poudre monocristalline RECo est réalisé dans un champ magnétique; on obtient ainsi des aimants anisotropes de particules orientées. Ces pièces compactées sont frittées sous vide ou sous atmosphère protectrice, procédure qui est suivie par des traitements thermiques.

12.1.4.3 Sous-classification

Alliages anisotropes de type RECo₅ (R5-1-*x*)

où *x* = 1, 2,, 9

Alliages anisotropes de type RE₂Co₁₇ (R5-1-*x*)

où *x* = 10, 11, 12,, 19

12.1.4.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et masses volumiques sont données au Tableau 12 (voir aussi 5.2 et 5.3, ainsi que l'Article 7).

12.1.4.5 Tolérances sur les dimensions

Les tolérances sur les dimensions sont à convenir entre le producteur et l'acheteur.

12.1.5 Alliages terres rares-fer-bore (REFeB)

12.1.5.1 Composition chimique

Les alliages à aimants REFeB ont pour composition de base RE₂Fe₁₄B. L'élément des terres rares (RE) est principalement le néodyme (Nd), auquel on peut partiellement substituer du dysprosium (Dy), du praséodyme (Pr) ou d'autres éléments des terres rares. Au fer on peut partiellement substituer du cobalt (Co). L'alliage Nd₂Fe₁₄B a une structure cristalline tétragonale et présente à la fois une grande aimantation à saturation et une anisotropie magnétocristalline uniaxiale élevée.

Les plages des compositions des alliages REFeB sont données au Tableau 8 (valeurs en pourcentage massique).

Tableau 8 – Compositions chimiques des alliages REFeB (% massique)

	RE total	Co	B	Dy, Tb, Pr, etc.	Autres éléments par exemple, V, Nb, Al, Ga, Cu	Fe
REFeB	28 à 35	0 à 15	0,85 à 1,2	0 à 10	0 à 1	solde

12.1.5.2 Méthodes de fabrication

Le compactage de poudre monocristalline REFeB est réalisé dans un champ magnétique; on obtient ainsi des aimants anisotropes de particules orientées. Ces pièces compactées sont frittées sous vide ou sous atmosphère protectrice, procédure qui est suivie par un traitement thermique.

12.1.5.3 Sous-classification

Alliages anisotropes de type REFeB (R7-1-*x*)

où *x* = 1, 2,,

12.1.5.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques minimales spécifiées et la masse volumique des matériaux anisotropes sont fournies au Tableau 13 (voir aussi 5.2 et 5.3, ainsi que l'Article 7).

12.1.5.5 Tolérances sur les dimensions

Les tolérances sur les dimensions doivent être en accord avec celles des aimants AlNiCo frittés contenant moins de 1 % de Ti, comme spécifié au Tableau 20.

12.2 Céramiques magnétiques dures (ferrites magnétiques dures)

12.2.1 Composition chimique

La composition chimique des ferrites magnétiques dures peut être décrite par la formule $MO \cdot nFe_2O_3$ (où $M = Ba$ et Sr). La valeur de n peut varier de 4,5 à 6,5. Les ferrites magnétiques dures ont une structure hexagonale avec une anisotropie magnétocristalline uniaxiale élevée, mais une saturation magnétique relativement basse.

Les propriétés magnétiques peuvent être améliorées par des remplacements spéciaux. Cela est particulièrement le cas avec des ajouts jusqu'à 9 % de La et jusqu'à 4 % de Co, ce qui peut améliorer les valeurs de H_{cJ} de 100 % au maximum et réduire les valeurs de $\alpha(H_{cJ})$ de 50 % au maximum.

12.2.2 Méthode de fabrication

Le compactage de poudre monocristalline de ferrite dure est réalisé dans un champ magnétique; on obtient ainsi des aimants anisotropes de particules orientées. Ces pièces compactées sont frittées dans l'air.

12.2.3 Sous-classification

Ferrites magnétiques dures isotropes (S1-0- x)

où $x = 1, 2, \dots$

Ferrites magnétiques dures anisotropes (S1-1- x)

où $x = 1, 2, \dots$

12.2.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et les masses volumiques des ferrites magnétiques dures isotropes et anisotropes sont données au Tableau 14 (voir aussi 5.2 et 5.3, ainsi que l'Article 7).

12.2.5 Tolérances sur les dimensions

Les valeurs des tolérances sur les dimensions des ferrites magnétiques dures isotropes et anisotropes sont données au Tableau 23.

12.3 Aimants agglomérés

12.3.1 Généralités

Les aimants permanents agglomérés par un liant plastique sont des matériaux composites. Ils sont constitués de poudres d'aimant permanent enrobées dans une matrice de matière plastique. Ce liant détermine pour une bonne part les propriétés mécaniques du composite, tandis que la poudre d'aimant détermine les propriétés magnétiques du composite. Les propriétés du composite sont déterminées par le type de matériau d'aimant permanent, par le

matériau de la matrice, par le taux de remplissage et par le degré d'alignement, dans le cas de matériau anisotrope, ce qui entraîne une grande variété de qualités.

En dépit de leurs faibles propriétés magnétiques, comparées à celles des matériaux frittés, les aimants agglomérés offrent des avantages économiques et techniques dans maintes applications en raison de leur faible coût de fabrication et permettent un large domaine d'application de formes et de bonnes propriétés mécaniques.

Les étapes de fabrication complexes et coûteuses exigées par la métallurgie des poudres ne sont pas nécessaires.

12.3.2 Composition chimique

Les matériaux magnétiques utilisés pour la production d'aimants agglomérés permanents sont des poudres d'AlNiCo, SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, NdFeB et ferrites dures (voir 12.1.1.1, 12.1.4.1, 12.1.5.1 et 12.2.1).

Le matériau magnétique exigé pour la production d'aimants agglomérés REFeN est basé sur un composé $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ intermétallique et les plages de composition chimique sont données au Tableau 9. Les poudres REFeN sont fabriquées par un processus de diffusion de réduction qui utilise des poudres Sm_2O_3 et Fe avec Ca comme réducteur, suivi d'une nitrogénéation. Quand les poudres traitées sont épaisses, un fraisage ultérieur est exigé.

Les principaux matériaux de matrice sont des élastomères et des résines thermoplastiques ou thermodurcissables.

Tableau 9 – Compositions chimiques des alliages REFeN pour les aimants agglomérés (% massique)

	Sm	N	Fe
REFeN	22 à 27	3,0 à 4,0	solde

12.3.3 Méthode de fabrication

Les méthodes de fabrication des aimants agglomérés permanents, fréquemment appelés "aimants P", sont très similaires, quel que soit le matériau à aimant utilisé. Les matériaux flexibles sont produits par laminage, extrusion ou calandrage, tandis que les aimants rigides sont faits par moulage à injection, compression en presse ou extrusion.

Dans la technique de moulage par injection, le mélange de poudres magnétiques est réalisé, à froid ou à chaud, selon le liant, dans des mélangeurs, des mélangeurs-extrudeurs ou des malaxeurs.

Les matériaux polymères liants les plus importants pour les aimants moulés par injection sont les thermoplastiques polyamide, polyéthylène et sulfure de polyphénylène (PPS). Le mélange composite est traité par des machines de moulage par injection. Des matrices à une ou plusieurs empreintes sont utilisées selon la forme de l'aimant, sa taille et le volume de sa production.

Dans la fabrication des qualités anisotropes, les valeurs magnétiques dépendent de façon critique des conditions d'alignement qui sont déterminées par l'intensité du champ magnétique à l'intérieur du moule et par la forme de l'aimant.

Dans la technique de compression en presse, qui n'est utilisée commercialement que pour la fabrication des aimants agglomérés terres rares, des thermodurcissables tels que les résines époxy sont utilisés comme liants.

Les composants mélangés sont introduits dans les empreintes de l'outillage de compression et comprimés à des pressions comprises entre 0,6 GPa et 1 GPa. Les pièces sont ensuite soumises à un traitement thermique qui durcit le liant. Des aimants anisotropes peuvent aussi être obtenus par compression de poudres anisotropes en présence d'un champ magnétique d'alignement.

12.3.4 Sous-classification

Aimants agglomérés AlNiCo isotropes (U1-0- x)

où

$x = [30 + n]$ pour moulage par compression

$n = 0, 1, 2, \dots$

Aimants agglomérés RECo isotropes (U2-0- x)

où

$x = [20 + n]$ pour moulage par injection

$x = [30 + n]$ pour moulage par compression

$n = 0, 1, 2, \dots 4$ pour SmCo_5

$n = 5, 6, 7, \dots 9$ pour $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$

Aimants agglomérés RECo anisotropes (U2-1- x)

où

$x = [20 + n]$ pour moulage par injection

$x = [30 + n]$ pour moulage par compression

$n = 0, 1, 2, \dots, 4$ pour RECo_5 ,

$n = 5, 6, \dots 9$ pour $\text{RE}_2\text{Co}_{17}$

Aimants agglomérés REFeB isotropes (U3-0- x)

où

$x = [20 + n]$ pour moulage par injection

$x = [30 + n]$ pour moulage par compression

$n = 0, 1, 2, \dots, 9$

Aimants agglomérés ferrites dures isotropes (U4-0- x)

où

$x = [10 + n]$ pour calandrage et extrusion

$x = [20 + n]$ pour moulage par injection

$n = 0, 1, 2, \dots$

Aimants agglomérés ferrites dures anisotropes (U4-1- x)

où

$x = [10 + n]$ pour calandrage et extrusion

$x = [20 + n]$ pour moulage par injection

$n = 0, 1, 2, \dots, 9$

Aimants agglomérés REFeN anisotropes (U5-1-x)

où

$x = [20 + n]$ pour moulage par injection

$n = 0, 1, 2, \dots, 9$

12.3.5 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les spécifications minimales des propriétés magnétiques et des masses volumiques sont données pour

- aimants agglomérés AlNiCo (AlNiCo p) dans le Tableau 15;
- aimants agglomérés RECo (RECo p) dans le Tableau 16;
- aimants agglomérés REFeB (REFeB p) dans le Tableau 17;
- aimants agglomérés ferrite dure (ferrite dure p) dans le Tableau 18;
- aimants agglomérés REFeN (REFeN p) dans le Tableau 19.

12.3.6 Tolérances sur les dimensions

Les tolérances sur les dimensions doivent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

13 Phénomène de désaimantation irréversible

13.1 Généralités

Un matériau magnétique dur, partant d'une rémanence donnée à l'état initial, perdra éventuellement un certain taux de flux si on le soumet à un champ démagnétisant (champ inverse). Après suppression du champ démagnétisant, le flux magnétique de l'état initial peut être restauré en totalité ou en partie. Dans le premier cas, la perte d'aimantation est complètement réversible, tandis que, dans le second, elle est partiellement réversible et partiellement irréversible. La variation réversible de flux magnétique correspondant à la variation du champ magnétique est décrite quantitativement par la perméabilité relative de recul μ_{rec} , tel que cela est indiqué dans les tableaux correspondants des normes de matériaux. Par conséquent, cette variation réversible peut être prise en compte lors de la détermination d'un système à aimants permanents.

Lors de la détermination, il est de première importance de connaître la plage des champs démagnétisants ne produisant que des variations réversibles. Plus précisément, on doit connaître l'intensité du champ démagnétisant causant une variation irréversible de flux (perte de flux) acceptable. Cela est expliqué en détail à la Figure 1.

13.2 Définition générale de l'intensité du champ de désaimantation H_D

La Figure 1 montre la désaimantation et les courbes de recul pour un matériau magnétique dur dont l'induction magnétique rémanente est $B_r = J_r$ après avoir totalement aimanté le matériau. L'application d'un champ de désaimantation d'une certaine intensité H_D et la diminution de ce champ jusqu'à zéro (action transitoire du champ) conduisent à une induction magnétique rémanente dans le matériau de $B_p = J_p$, qui est appelée "induction magnétique rémanente de recul". Pour $B_p < B_r$ une perte irréversible relative d'induction magnétique est apparue. La perte d'induction magnétique augmente avec l'augmentation de H_D . Par conséquent, la valeur de H_D qui conduit à une perte maximale prédéterminée encore tolérable est une mesure quantitative de la stabilité du matériau magnétique dur à un champ démagnétisant. Si, par exemple, la perte maximale tolérable de l'induction magnétique est de 5 %, le champ correspondant est appelé H_{D5} . H_D peut être déterminé expérimentalement comme cela est indiqué à l'Article 9 de l'IEC 60404-5:2015.

13.3 Définition simplifiée de l'intensité du champ de désaimantation H_D

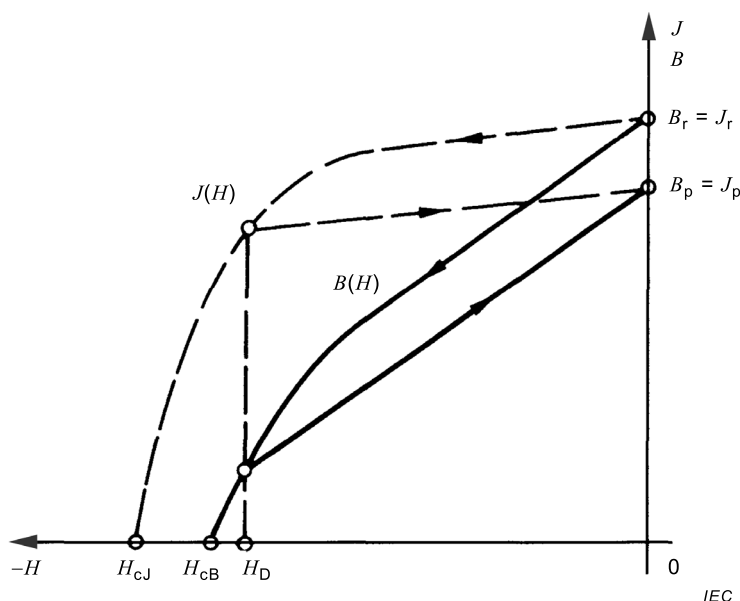
Pour les aimants NdFeB frittés, les courbes de recul sont presque parallèles aux courbes de désaimantation extérieures. Dans ce cas, l'identification de l'intensité du champ de désaimantation H_D peut être simplifiée (voir Figure 2).

La méthode est la suivante:

La portion linéaire de la courbe de désaimantation avec points discrétisés $\{H(i), B(i)\}$ est ajustée avec une droite de régression linéaire dans la plage de champs comprise entre 20 % et 70 % de H_{cJ} par

$$f(i) = B_{r,lin} + \mu_{fit} \times \mu_0 \times H(i) \quad (1)$$

Cette droite coupe l'axe B au point $B_{r,lin}$. Pour une perte de désaimantation de, par exemple, 5 %, une droite avec la même pente que celle de la droite ajustée est tracée avec une intersection de l'axe à $0,95 \times B_{r,lin}$. Cette droite parallèle croise la courbe de désaimantation d'origine à la valeur de champ de H_{D5} .



Légende

B	induction magnétique
J	polarisation magnétique
H	intensité du champ magnétique
B_r, J_r	induction magnétique rémanente, polarisation magnétique rémanente
B_p, J_p	induction magnétique rémanente de recul
H_{cB}	coercitivité relative à l'induction magnétique
H_{cJ}	coercitivité relative à la polarisation magnétique
H_D	intensité du champ magnétisant qui, après avoir été transitoirement appliqué à l'état magnétique de rémanence, conduit à un état magnétique d'induction magnétique rémanente de recul

Figure 1 – Graphique des courbes de désaimantation et de recul $B(H)$ et $J(H)$

Cette simplification ne peut être utilisée qu'avec les restrictions suivantes:

- La méthode simplifiée ne doit être utilisée que pour les aimants NdFeB frittés conformément au Tableau 13.
- Elle ne doit pas être utilisée pour les matériaux qui montrent des courbes de désaimantation avec des écarts plus forts avec le comportement linéaire, comme les qualités RECo.

- La coercitivité H_{cJ} doit être supérieure à 400 kA/m.
- La pente μ_{fit} de la droite ajustée doit être dans la plage $1,0 \leq \mu_{fit} \leq 1,15$ (en supposant une perméabilité permanente finie du matériau).

Il convient que le "coefficient de détermination" R^2 de l'ajustement linéaire soit supérieur à 0,99. Pour un ajustement à un ensemble de n points d'observation $\{H(i), B(i)\}$ avec $1 = i \leq n$, ce coefficient est défini comme:

$$R^2 = 1 - \frac{S_{err}}{S_{tot}} \quad (2)$$

avec la somme totale des carrés:

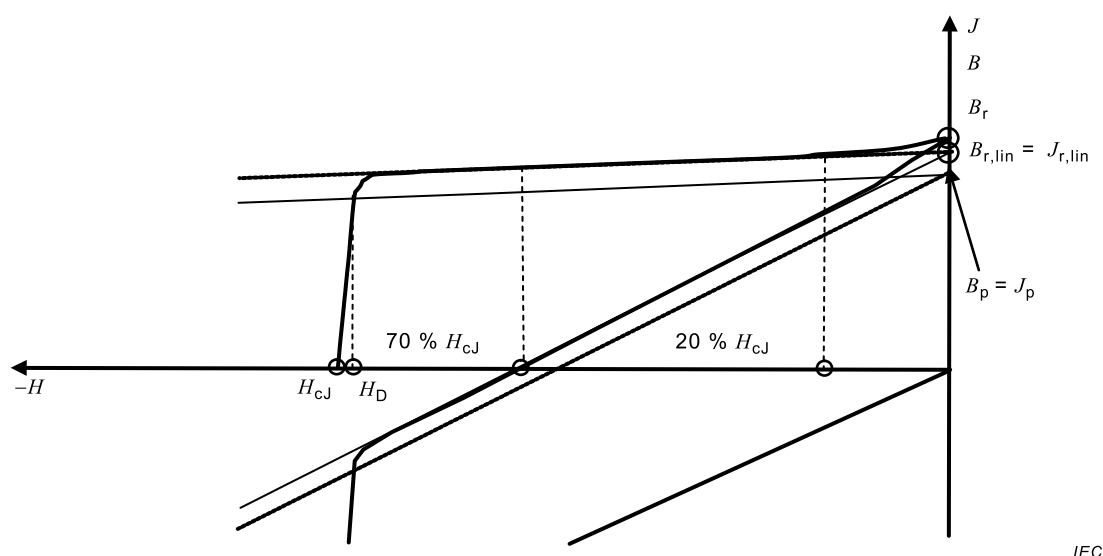
$$S_{tot} = \sum_i (B(i) - \bar{B})^2 \quad (3)$$

la somme résiduelle des carrés:

$$S_{err} = \sum_i (B(i) - f(i))^2 \quad (4)$$

et la moyenne des valeurs d'induction observées pour n points d'observation:

$$\bar{B} = \frac{1}{n} \sum_i B(i) \quad (5)$$



Légende

B	induction magnétique
J	polarisation magnétique
H	intensité du champ magnétique
B_r	induction magnétique rémanente
$B_{r,lin}, J_{r,lin}$	induction magnétique rémanente, polarisation magnétique rémanente de l'interpolation linéaire
B_p, J_p	induction magnétique rémanente de recul, polarisation magnétique de recul rémanente
H_{cJ}	coercitivité relative à la polarisation magnétique
H_D	intensité du champ magnétisant qui, après avoir été transitoirement appliqué à l'état magnétique d'induction magnétique rémanente, conduit à un état magnétique d'induction magnétique rémanente de recul

Figure 2 – Évaluation simplifiée des courbes de désaimantation et de recul $B(H)$ et $J(H)$

14 Tableaux 10 à 23

Les Tableaux 10 à 19 donnent les valeurs minimales spécifiées des propriétés pour les divers matériaux. Les valeurs typiques de la perméabilité relative de recul, des coefficients de température, de la température de Curie, des valeurs de la température d'exploitation continue et des masses volumiques sont également données.

Les Tableaux 20 à 23 donnent les tolérances sur les dimensions des divers matériaux.

Tableau 10 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants AlNiCo

Matériau			Fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Maximum du produit <i>BH</i> <i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	Induction magnétique rémanente <i>B</i> _r mT	Coercitivité <i>H</i> _{cB} kA/m	Coercitivité <i>H</i> _{cJ} kA/m	Perméabilité relative de recul <i>μ</i> _{rec}	
AlNiCo				Valeurs minimales spécifiées				Valeurs typiques	
AlNiCo 9/5	i	R1-0-1	Moulé ou fritté	9	550	44	47	7	6,8
AlNiCo 12/6	i	R1-0-2		11,6	630	52	55	7,5	7,0
AlNiCo 17/9	i	R1-0-3		17	580	80	86	7,5	7,1
AlNiCo 37/5	a	R1-1-1	Moulé	37	1 180	48	49	4	7,3
AlNiCo 38/11	a	R1-1-2		38	800	110	112	2	7,3
AlNiCo 44/5	a	R1-1-3		44	1 200	52	53	3	7,3
AlNiCo 60/11	a	R1-1-4		60	900	110	112	2	7,3
AlNiCo 36/15	a	R1-1-5		36	700	140	148	2	7,3
AlNiCo 58/5	a	R1-1-6		58	1 300	52	53	3	7,3
AlNiCo 72/12	a	R1-1-7		72	1 050	118	120	2	7,3
AlNiCo 34/5	a	R1-1-10	Fritté	34	1 120	47	48	4	7,3
AlNiCo 26/6	a	R1-1-11		26	900	56	58	4,5	7,1
AlNiCo 31/11	a	R1-1-12		31	760	107	111	3	7,1
AlNiCo 33/15	a	R1-1-13		33	650	135	150	2	7,1
Valeurs typiques des paramètres: Coefficient de température de la rémanence <i>α</i> (<i>B</i> _r) = −0,02 %/°C (de 20 °C à 100 °C) Coefficient de température de la coercitivité <i>α</i> (<i>H</i> _{cJ}) = −0,03 %/°C à −0,07 %/°C (de 20 °C à 100 °C) Température de Curie 750 °C pour AlNiCo 9/5 Température de Curie de 800 °C à 850 °C pour les autres AlNiCo Température d'exploitation continue 550 °C									
^a i = isotrope; a = anisotrope									

Tableau 11 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants CrFeCo et FeCoVCr

Matériau			Fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Maximum du produit <i>BH</i>	Induction magnétique rémanente	Coercitivité	Coercitivité	Perméabilité relative de recul	
				<i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	<i>B</i> _r mT	<i>H</i> _{cB} kA/m	<i>H</i> _{cJ} kA/m	<i>μ</i> _{rec}	
CrFeCo/FeCoVCr				Valeurs minimales spécifiées			Valeurs typiques		
CrFeCo 12/4	i	R6-0-1	Moulé ou fritté	12	800	40	42	6	7,6
CrFeCo 10/3	i	R6-0-2		10	850	27	29	6	7,6
CrFeCo 28/5	a	R6-1-1		28	1 000	45	46	3,5	7,6
CrFeCo 30/4	a	R6-1-2		30	1 150	40	41	3,5	7,6
CrFeCo 35/5	a	R6-1-3		35	1 050	50	51	3,5	7,6
CrFeCo 44/5	a	R6-1-4		44	1 300	44	45	2,5	7,7
FeCoVCr 11/2	a	R3-1-1	Moulé ^b	11	800	24	24	5	8,1
Valeurs typiques des paramètres:									
CrFeCo									
Coefficient de température de la rémanence $\alpha(B_r)$ = −0,05 %/°C pour CrFeCo 12/4 (de 20 °C à 100 °C)									
Coefficient de température de la rémanence $\alpha(B_r)$ = −0,03 %/°C pour les autres CrFeCo (de 20 °C à 100 °C)									
Coefficient de température de la coercitivité $\alpha(H_{cJ})$ = −0,04 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Température de Curie de 620 °C à 640 °C									
Température d'exploitation continue 500 °C									
FeCrVCr									
Coefficient de température de la rémanence $\alpha(B_r)$ = −0,01 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Coefficient de température de la coercitivité $\alpha(H_{cJ})$ = ~ 0 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Température de Curie 720 °C									
Température d'exploitation continue 500 °C									
^a i = isotrope; a = anisotrope									
^b suivi par laminage ou étirage à chaud et à froid									

Tableau 12 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants RECo

Matériau			Fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Maximum du produit <i>BH</i>	Induction magnétique rémanente	Coercitivité	Coercitivité	Perméabilité relative de recul	
				<i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	<i>B</i> _r mT	<i>H</i> _{cB} kA/m	<i>H</i> _{cJ} kA/m	<i>μ</i> _{rec}	
RECo			Fritté	Valeurs minimales spécifiées				Valeurs typiques	
RECo ₅ 140/120	a	R5-1-1		140	860	600	1 200	1,05	8,3 jusqu'à 8,5
RECo ₅ 160/120	a	R5-1-2		160	920	660	1 200		
RECo ₅ 150/70	a	R5-1-3		150	900	600	700		
RECo ₅ 170/70	a	R5-1-4		170	930	600	700		
RECo ₅ 120/160	a	R5-1-5		120	800	620	1 600		
RE ₂ Co ₁₇ 140/100	a	R5-1-10		140	900	620	1 000	1,1	8,3 jusqu'à 8,4
RE ₂ Co ₁₇ 160/70	a	R5-1-11		160	940	600	700		
RE ₂ Co ₁₇ 180/100	a	R5-1-12		180	1 000	680	1 000		
RE ₂ Co ₁₇ 200/70	a	R5-1-13		200	1 050	600	700		
RE ₂ Co ₁₇ 220/70	a	R5-1-14		220	1 100	600	700		
RE ₂ Co ₁₇ 180/150	a	R5-1-15		180	1 000	660	1 500		
RE ₂ Co ₁₇ 200/150	a	R5-1-16		200	1 050	700	1 500		
Valeurs typiques des paramètres: RECo ₅ Coefficient de température de la rémanence $\alpha(B_r) = -0,04 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ (de 20 °C à 100 °C) Coefficient de température de la coercitivité $\alpha(H_{cJ}) = -0,3 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ (de 20 °C à 100 °C) Température de Curie 720 °C Température d'exploitation maximale 250 °C RE ₂ Co ₁₇ Coefficient de température de la rémanence $\alpha(B_r) = -0,03 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ (de 20 °C à 100 °C) Coefficient de température de la coercitivité $\alpha(H_{cJ}) = -0,25 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ (de 20 °C à 100 °C) Température de Curie 820 °C Température d'exploitation maximale 350 °C									
^a a = anisotrope									

Tableau 13 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants REFeB

Matériau			Fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique ρ Mg/m ³
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Maximum du produit BH $(BH)_{\max}$ kJ/m3	Induction magnétique rémanente B_r mT	Coercitivité H_{cB} kA/m	Coercitivité H_{cJ} kA/m	Perméabilité relative de recul μ_{rec}	
REFeB				Valeurs minimales spécifiées				Valeurs typiques	
REFeB 170/190	a	R7-1-1	Fritté	170	980	700	1 900	1,05	7,5 jusqu'à 7,7
REFeB 210/130	a	R7-1-2		210	1 060	790	1 300		
REFeB 250/120	a	R7-1-3		250	1 130	840	1 200		
REFeB 290/80	a	R7-1-4		290	1 230	700	800		
REFeB 200/190	a	R7-1-5		200	1 060	760	1 900		
REFeB 240/180	a	R7-1-6		240	1 160	840	1 800		
REFeB 280/120	a	R7-1-7		280	1 240	900	1 200		
REFeB 320/88	a	R7-1-8		320	1 310	800	880		
REFeB 210/240	a	R7-1-9		210	1 060	760	2 400		
REFeB 240/200	a	R7-1-10		240	1 160	840	2 000		
REFeB 310/130	a	R7-1-11		310	1 300	900	1 300		
REFeB 250/240	a	R7-1-12		250	1 200	830	2 400		
REFeB 260/200	a	R7-1-13		260	1 210	840	2 000		
REFeB 340/130	a	R7-1-14		340	1 330	920	1 300		
REFeB 360/90	a	R7-1-15		360	1 350	800	900		
REFeB 380/100	a	R7-1-16		380	1 420	990	1 000		
Valeurs typiques des paramètres:									
Coefficient de température de la rémanence $\alpha(B_r)$ = −0,1 %/°C à −0,12 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Coefficient de température de la coercitivité $\alpha(H_{\text{cJ}})$ = −0,45 %/°C à −0,6 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Température de Curie 310 °C									
Température d'exploitation maximale 200 °C.									
^a a = anisotrope									

Tableau 14 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des ferrites dures

Matériau			Fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Maximum du produit <i>BH</i>	Induction magnétique rémanente	Coercitivité	Coercitivité	Perméabilité relative de recul	
				<i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	<i>B</i> _r mT	<i>H</i> _{CB} kA/m	<i>H</i> _{cJ} kA/m	<i>μ</i> _{rec}	
Ferrite dure				Valeurs minimales spécifiées				Valeurs typiques	
Ferrite dure 7/21	i	S1-0-1	Fritté	6,5	190	125	210	1,2	4,9
Ferrite dure 7/25	i	S1-0-2		6,5	190	120	250	1,2	4,9
Ferrite dure 20/19	a	S1-1-1		20	320	170	190	1,1	4,8
Ferrite dure 24/23	a	S1-1-2		24	350	215	230	1,1	4,8
Ferrite dure 25/14	a	S1-1-3		25	380	130	135	1,1	5,0
Ferrite dure 26/18	a	S1-1-4		26	370	175	180	1,1	5,0
Ferrite dure 22/30	a	S1-1-5		22	350	255	295	1,1	4,6
Ferrite dure 26/26	a	S1-1-6		26	370	230	260	1,1	4,7
Ferrite dure 29/22	a	S1-1-7		29	390	210	220	1,1	4,8
Ferrite dure 32/17	a	S1-1-8		32	410	160	165	1,1	4,9
Ferrite dure 32/25	a	S1-1-9		32	410	240	250	1,1	4,9
Ferrite dure 24/35	a	S1-1-10		24	360	260	350	1,1	4,8
Ferrite dure 29/15	a	S1-1-11		29	400	145	150	1,1	5,0
Ferrite dure 25/38	a	S1-1-12		25	380	275	380	1,1	4,95
Ferrite dure 31/30	a	S1-1-13		31	410	295	300	1,1	4,95
Ferrite dure 35/25	a	S1-1-14		35	430	245	250	1,1	4,95
Ferrite dure 38/27 ^b	a	S1-1-15		38	450	260	270	1,1	5,0
Ferrite dure 36/34 ^b	a	S1-1-16		36	440	320	340	1,1	5,0
Ferrite dure 33/38 ^b	a	S1-1-17		33	420	300	380	1,1	5,0
Ferrite dure 41/34 ^b	a	S1-1-18		41	470	320	340	1,1	5,1
Ferrite dure 39/39 ^b	a	S1-1-19	39	460	340	390	1,1	5,1	

Valeurs typiques des paramètres:

Coefficient de température de la rémanence $\alpha(B_r) = -0,2 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (de 20 °C à 100 °C)

Coefficient de température de la coercitivité $\alpha(H_{cJ}) = 0,25 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ à $0,4 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (de 20 °C à 100 °C)

Les qualités La, Co (voir b) ont $\alpha(H_{cJ}) = 0,11 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ à $0,24 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (de 20 °C à 100 °C)

Température de Curie 450 °C

Température d'exploitation maximale 250 °C

^a i = isotrope, a = anisotrope

^b Ces qualités comportent des remplacements de La et de Co.

Tableau 15 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des alliages AlNiCo isotropes à liant organique

Matériau			Fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Maximum du produit BH $(BH)_{\max}$ kJ/m ³	Induction magnétique rémanente B_r mT	Coercitivité H_{cB} kA/m	Coercitivité H_{cJ} kA/m	Perméabilité relative de recul μ_{rec}	
AlNiCo p				Valeurs minimales spécifiées				Valeurs typiques	
AlNiCo 3/5p	i	U1-0-30	Moulage par compression	3,1	280	37	46	2,5	5,3
AlNiCo 5/6p	i	U1-0-31		5,2	320	46	56	2,5	5,4
AlNiCo 7/8p	i	U1-0-32		7,0	340	72	84	2,5	5,5
Valeurs typiques des paramètres:									
Coefficient de température de la rémanence $\alpha(B_r) = -0,02 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (de 20 °C à 100 °C)									
Coefficient de température de la coercitivité $\alpha(H_{cJ}) = -0,03 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ à $-0,07 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (de 20 °C à 100 °C)									
Température de Curie 750 °C à 850 °C									
Température d'exploitation continue en fonction du liant									
^a i = isotrope									

Tableau 16 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des alliages RECo à liant organique

Matériau			Fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Maximum du produit <i>BH</i> <i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	Induction magnétique rémanente <i>B</i> _r mT	Coercitivité <i>H</i> _{cB} kA/m	Coercitivité <i>H</i> _{cJ} kA/m	Perméabilité relative de recul <i>μ</i> _{rec}	
RECo p				Valeurs minimales spécifiées				Valeurs typiques	
RECo ₅ 52/52p	a	U2-1-20	Moulage par injection	52	570	330	520	1,1	5,6
RECo ₅ 68/60p	a	U2-1-21		68	620	380	600	1,1	5,7
RE ₂ Co ₁₇ 20/60p	i	U2-0-25		20	350	200	600	1,15	5,6
RE ₂ Co ₁₇ 30/80p	i	U2-0-35	Moulage par compression	30	430	300	800	1,15	6,8
RE ₂ Co ₁₇ 40/60p	a	U2-1-25	Moulage par injection	40	480	300	600	1,05	5,3
RE ₂ Co ₁₇ 65/70p	a	U2-1-26		65	610	360	700	1,05	5,5
RE ₂ Co ₁₇ 75/55p	a	U2-1-27		75	650	440	550	1,05	5,7
RE ₂ Co ₁₇ 110/75p	a	U2-1-35	Moulage par compression	110	780	480	750	1,05	6,8
Valeurs typiques des paramètres:									
RECo ₅									
Coefficient de température de la rémanence $\alpha(B_r)$ = −0,04 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Coefficient de température de la coercitivité $\alpha(H_{cJ})$ = −0,3 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Température de Curie 720 °C									
Température d'exploitation continue en fonction du liant									
RE ₂ Co ₁₇									
Coefficient de température de la rémanence $\alpha(B_r)$ = −0,03 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Coefficient de température de la coercitivité $\alpha(H_{cJ})$ = −0,25 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Température de Curie 820 °C									
Température d'exploitation continue en fonction du liant									
^a i = isotrope; a = anisotrope									

Tableau 17 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des alliages isotropes REFeB avec liant organique

Matériau			Fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Maximum du produit <i>BH</i> <i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	Induction magnétique rémanente <i>B</i> _r mT	Coercitivité <i>H</i> _{cB} kA/m	Coercitivité <i>H</i> _{cJ} kA/m	Perméabilité relative de recul <i>μ</i> _{rec}	
REFeB p				Valeurs minimales spécifiées				Valeurs typiques	
REFeB 28/56p	i	U3-0-20	Moulage par injection	28	430	270	560	1,25	4,2
REFeB 33/56p	i	U3-0-21		33	470	290	560	1,25	4,6
REFeB 26/90p	i	U3-0-22		26	400	270	900	1,15	4,2
REFeB 30/90p	i	U3-0-23		30	440	280	900	1,15	4,6
REFeB 40/70p	i	U3-0-24		40	470	320	700	1,25	5,0
REFeB 45/70p	i	U3-0-25		45	510	350	700	1,25	5,7
REFeB 50/70p	i	U3-0-26		50	550	380	700	1,25	5,7
REFeB 72/64p	i	U3-0-27		72	650	370	640	1,25	6,0
REFeB 40/100p	i	U3-0-28		40	480	330	1 000	1,15	5,3
REFeB 63/64p	i	U3-0-30	Moulage par compression	63	630	360	640	1,25	5,8
REFeB 53/95p	i	U3-0-31		53	560	350	950	1,15	5,8
REFeB 82/68p	i	U3-0-32		82	700	500	680	1,25	6,2
Valeurs typiques des paramètres:									
Coefficient de température de la rémanence <i>α</i> (<i>B</i> _r) = -0,1 %/°C à -0,15 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Coefficient de température de la coercitivité <i>α</i> (<i>H</i> _{cJ}) = -0,4 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Température de Curie de l'alliage REFeB 310 °C									
Température d'exploitation maximale 120 °C									
^a i = isotrope									

Tableau 18 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des ferrites dures isotropes et anisotropes à liant organique

Matériau			Fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Maximum du produit <i>BH</i>	Induction magnétique rémanente	Coercitivité	Coercitivité	Perméabilité relative de recul	
				<i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	<i>B</i> _r mT	<i>H</i> _{cB} kA/m	<i>H</i> _{cJ} kA/m	<i>μ</i> _{rec}	
Ferrite dure p				Valeurs minimales spécifiées				Valeurs typiques	
Ferrite dure 3/16p	i	U4-0-10	Extrusion	3,2	130	85	160	1,15	3,8
Ferrite dure 1/18p	i	U4-0-20	Moulage par injection	0,8	70	50	175	1,1	2,3
Ferrite dure 3/18p	i	U4-0-21		3,2	135	85	175	1,1	3,8
Ferrite dure 4/22p	i	U4-0-22		3,5	145	110	215	1,1	3,8
Ferrite dure 7/18p	a	U4-1-10	Extrusion ou calan-drage	6,5	185	110	175	1,1	3,6
Ferrite dure 9/17p	a	U4-1-11		9	215	145	170	1,1	3,6
Ferrite dure 11/24p	a	U4-1-12		11	240	170	240	1,1	3,7
Ferrite dure 15/24p	a	U4-1-13		14,5	275	190	240	1,1	3,8
Ferrite dure 8/19p	a	U4-1-20	Moulage par injection	7,5	210	120	185	1,1	3,2
Ferrite dure 12/23p	a	U4-1-21		12	250	170	230	1,1	3,5
Ferrite dure 15/21p	a	U4-1-22		15	280	180	210	1,1	3,7
Valeurs typiques des paramètres:									
Coefficient de température de la rémanence $\alpha(B_r)$ = -0,2 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Coefficient de température de la coercitivité $\alpha(H_{cJ})$ = 0,25 %/°C à 0,4 %/°C (de 20 °C à 100 °C)									
Température de Curie 450 °C									
Température d'exploitation continue en fonction du liant									
^a i = isotrope; a = anisotrope									

Tableau 19 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des alliages REFeN anisotropes à liant organique

Matériau			Fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Maximum du produit <i>BH</i> <i>(BH)</i> _{max} kJ/m ³	Induction magnétique rémanente <i>B</i> _r mT	Coercitivité <i>H</i> _{cB} kA/m	Coercitivité <i>H</i> _{cJ} kA/m	Perméabilité relative de recul <i>μ</i> _{rec}	
REFeN p			Moulage par injection	Valeurs minimales spécifiées				Valeurs typiques	
REFeN 75/70 p	a	U5-1-20		75	640	430	700	1,1	4,2
REFeN 91/63 p	a	U5-1-21		91	690	450	630		4,4
REFeN 100/66 p	a	U5-1-22		100	760	470	660		4,7
Valeurs typiques des paramètres: Coefficient de température de la rémanence <i>α</i> (<i>B</i> _r) = −0,07 %/°C (de 20 °C à 100 °C). Coefficient de température de la coercitivité <i>α</i> (<i>H</i> _{cJ}) = −0,50 %/°C (de 20 °C à 100 °C) Température de Curie 476 °C Température d'exploitation continue en fonction du liant									
^a a = anisotrope									

Tableau 20 – Tolérances sur les dimensions des aimants en alliages AlNiCo (moulés ou frittés)

Valeurs en millimètres

Valeur nominale		Alliages frittés avec $\leq 1\%$ Ti		Alliages frittés avec $> 1\%$ Ti		Alliages moulés	
Plus de	Jusqu'à	Perpendiculairement à la direction de compactage $\pm$	Dans la direction de compactage $\pm$	Perpendiculairement à la direction de compactage $\pm$	Dans la direction de compactage $\pm$	Moulage au sable $\pm$	Moulage en coquille $\pm$
	4	0,15	0,20	0,20	0,25	0,40	0,25
4	6	0,20	0,25	0,25	0,30	0,40	0,25
6	8	0,20	0,25	0,25	0,30	0,40	0,25
8	10	0,20	0,30	0,30	0,35	0,45	0,25
10	13	0,25	0,30	0,30	0,35	0,50	0,30
13	16	0,25	0,35	0,35	0,45	0,50	0,30
16	20	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55	0,40
20	25	0,30	0,40	0,45	0,55	0,60	0,50
25	30	0,35	0,40	0,50	0,60	0,65	0,50
30	35	0,40	0,50	0,55	0,70	0,70	0,60
35	40	0,45	0,55	0,65	0,75	0,75	0,60
40	45	0,50	0,60	0,70	0,80	0,80	0,70
45	50	0,50	0,65	0,75	0,90	0,80	0,70
50	55	0,55	0,70	0,80	1,00	1,00	0,80
55	60	0,60	0,80	0,90	1,10	1,00	0,80
60	70	–	–	–	–	1,00	0,80
70	80	–	–	–	–	1,00	0,80
80	90	–	–	–	–	1,10	0,80
90	100	–	–	–	–	1,20	0,80

Tableau 21 – Tolérances sur les dimensions de feuillets laminés à froid, pour des alliages FeCoVCr et CrFeCo avec une épaisseur maximale de 6 mm et une largeur maximale de 125 mm

Valeurs en millimètres

Épaisseur (max. 6 mm)			Largeur (max. 125 mm)			
Épaisseur		Tolérance d'épaisseur ^b	État des qualités	Épaisseur		Tolérance de largeur
de	jusqu'à			de	jusqu'à	
		±				
0,10	0,15	0,010	Coupé	0,10	0,40	+0,3
0,15	0,40	0,020	Coupé	0,40	1,50	+0,4
0,40	1,00	0,030	Coupé	1,50	2,50	+0,6
1,00	1,50	0,040	Coupé	2,50	6,00 ^a	+0,8
1,50	2,50	0,050	— — —	— — —	— — —	— — —
2,50	4,00	0,060	Naturel (brut de laminage)	0,3	6,00 ^a	+3,0
4,00	6,00 ^a	0,080				

^a 6 mm inclus.

^b L'épaisseur peut être mesurée en des points du feuillet situés à une distance d'au moins 20 mm des bords. Dans le cas où la largeur est inférieure ou égale à 40 mm, le mesurage doit être effectué au milieu du feuillet.

Tableau 22 – Tolérances sur les dimensions du diamètre des fils et des barres étirés à froid pour des alliages FeCoVCr et CrFeCo

Valeurs en millimètres

Plage des diamètres		Tolérance de diamètre
de	jusqu'à	
	0,25	± 0,01
0,25	0,40	± 0,015
0,40	0,63	± 0,02
0,63	1,0	± 0,03
1,0	1,6	± 0,04
1,6	2,5	± 0,06
2,5	4,0	± 0,08
4,0	6,3	± 0,10
6,3	10,0	± 0,15
10,0	16,0	± 0,20
16,0	20,0 (valeur incluse)	± 0,25

Tableau 23 – Tolérances sur les dimensions des aimants en ferrites dures

Valeurs en millimètres

Valeur nominale		Ferrites dures isotropes		Ferrites dures anisotropes		Ferrites dures avec liant	
plus de	jusqu'à	Perpendiculairement à la direction de compactage	Dans la direction de compactage	Perpendiculairement à la direction de compactage	Dans la direction de compactage ^a	Fabriquées par extrusion ou laminage	Moulées par injection ou compactage
		±	±	±	±	±	±
	4	0,25	0,40	0,25	0,40	0,15	0,10
4	6	0,25	0,40	0,25	0,40	0,15	0,10
6	8	0,25	0,40	0,25	0,40	0,15	0,10
8	10	0,30	0,40	0,30	0,40	0,15	0,10
10	13	0,30	0,40	0,30	0,40	0,20	0,10
13	16	0,30	0,40	0,35	0,45	0,20	0,15
16	20	0,35	0,45	0,45	0,55	0,25	0,15
20	25	0,40	0,55	0,55	0,70	0,30	0,15
25	30	0,55	0,70	0,70	0,90	0,35	0,20
30	35	0,65	0,85	0,80	1,00	0,40	0,20
35	40	0,75	1,00	0,95	1,20	0,45	0,25
40	45	0,85	1,15	1,10	1,35	0,50	0,25
45	50	0,95	1,30	1,20	—	0,50	0,25
50	55	1,05	1,65	1,30	—	0,55	0,30
55	60	1,15	1,80	1,45	—	0,60	0,30
60	70	1,30	2,10	1,65	—	0,70	0,35
70	80	1,50	2,40	1,90	—	—	—
80	90	1,70	2,70	2,15	—	—	—
90	100	1,90	3,00	2,40	—	—	—
^a Les ferrites dures compactées par voie humide doivent être rectifiées sur les surfaces des pôles dans tous les cas.							

Annexe A (informative)

Données physiques et valeurs mécaniques de référence des aimants AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, ferrite dure et des aimants agglomérés SmFeN

Le Tableau A.1 donne quelques données physiques et mécaniques pour les différents groupes de matériaux magnétiques durs. Ceux-ci incluent les aimants AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, ferrite dure et les aimants agglomérés SmFeN.

Ces valeurs sont uniquement données à titre indicatif. Elles permettent des comparaisons qualitatives entre les matériaux en relation avec leurs caractéristiques physiques et mécaniques.

**Tableau A.1 – Données physiques et valeurs mécaniques de référence des aimants
AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, ferrite dure et des aimants agglomérés SmFeN**

Matériau/Fabrication				Propriétés physiques			Propriétés mécaniques de référence			
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code	Fabrication	Coefficient de dilatation thermique 10 ⁻⁶ %/°C	Conductivité thermique W/m·K	Résistivité μΩ·m	Tenue à la traction MPa	Force compressive MPa	Module de Young GPa	Dureté Vicker H _v
AlNiCo	i et a	R1-0- <i>x</i> et R1-1- <i>x</i>	Moulé ou fritté	11 à 12	10 à 50	0,45 à 0,55	80 à 300	300 à 400	100 à 200	300 à 400
CrFeCo	i et a	R6-0- <i>x</i> et R6-1- <i>x</i>	Moulé ou fritté	10 à 11	10 à 30	0,7 à 0,8	1 200 à 1 400 ^b 600 à 700 ^c			300 à 350 ^b 400 à 500 ^c
FeCoVCr	a	R3-1- <i>x</i>	Moulé	11 à 12		0,55 à 0,65	2 000 à 2 500 ^b 2 500 à 3 500 ^c			
SmCo ₅	a	R5-1- <i>x</i> <i>x</i> =1,2,...,9	Fritté	6 à 7 ⊥ 12 à 13	10 à 13	0,5 à 0,6	30 à 40	900 à 1 000	100 à 150	500 à 600
Sm ₂ Co ₁₇		R5-1- <i>x</i> <i>x</i> =10,11,...,19		8 à 10 ⊥ 10 à 12		0,75 à 0,85	40 à 50	800 à 900	150 à 200	600 à 700
NdFeB	a	R7-1- <i>x</i>	Fritté	4 à 8 ⊥ -3 à -1	8 à 10	1,4 à 1,6	80 à 90	1 000 à 1 100	150 à 200	500 à 600
Ferrite dure	i	S1-0- <i>x</i>	Fritté	9 à 10	4	> 10 ⁴	50 à 60	600 à 700	15 à 200	500 à 600
	a	S1-1- <i>x</i>		12 à 13 ⊥ 10 à 11	4	> 10 ⁴	50 à 60	600 à 700	15 à 200	500 à 600
SmFeN aggloméré ^d	a	U5-1- <i>x</i>	Aggloméré	60 à 80	1 à 2		30 à 40		6 à 9	
parallèle ⊥ perpendiculaire ^a i = isotrope; a = anisotrope ^b Travail à froid ^c Revenu ^d Données pour aimants agglomérés avec 7 % à 13 % (pourcentage massique) de PA-12 (nylon-12, sorte de polyamide)										

Bibliographie

- [1] IEC 60050-121, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 121: Electromagnétisme*
 - [2] IEC 60050-151, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*
 - [3] IEC 60050-221, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 221: Matériaux et composants magnétiques*
 - [4] IEC 60404-1:2000, *Matériaux magnétiques – Partie 1: Classification*
 - [5] IEC 60404-7, *Matériaux magnétiques – Partie 7: Méthode de mesure du champ coercitif des matériaux magnétiques en circuit magnétique ouvert*
 - [6] IEC TR 62517, *Magnetizing behaviour of permanent magnets* (disponible en anglais seulement)
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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