

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Magnetic materials –

**Part 8-1: Specifications for individual materials – Permanent magnet
(magnetically hard) materials**

Matériaux magnétiques –

**Partie 8-1: Spécifications pour matériaux particuliers – Matériaux (magnétiques
durs) pour aimants permanents**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-8-1:2023



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2023 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

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

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Magnetic materials –

Part 8-1: Specifications for individual materials – Permanent magnet (magnetically hard) materials

Matériaux magnétiques –

Partie 8-1: Spécifications pour matériaux particuliers – Matériaux (magnétiques durs) pour aimants permanents

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20, 29.030

ISBN 978-2-8322-7503-0

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.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	8
4 Types of materials and their applications.....	9
5 Classification.....	9
5.1 General.....	9
5.2 Principal magnetic properties	10
5.3 Additional magnetic properties	10
6 Chemical composition.....	11
7 Densities	11
8 Designation	11
9 Mode of shipment and dimensions.....	11
10 Testing	12
10.1 Extent of testing.....	12
10.2 Testing methods	12
11 Grounds for rejection	12
12 Description of tables of standard properties.....	12
12.1 Magnetically hard alloys	12
12.1.1 Aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium alloys (AlNiCo).....	12
12.1.2 Chromium-iron-cobalt alloys (CrFeCo).....	13
12.1.3 Iron-cobalt-vanadium-chromium alloys (FeCoVCr)	14
12.1.4 Rare earth-cobalt alloys (RECo)	14
12.1.5 Rare earth-iron-boron sintered and hot deformed magnets (REFeB).....	15
12.2 Magnetically hard ceramics (magnetically hard ferrites)	16
12.2.1 Chemical composition.....	16
12.2.2 Manufacturing method	17
12.2.3 Sub-classification	17
12.2.4 Magnetic properties and densities.....	17
12.2.5 Dimensional tolerances	17
12.3 Bonded magnetically hard materials (Bonded magnets)	17
12.3.1 General	17
12.3.2 Magnet materials	17
12.3.3 Manufacturing method	18
12.3.4 Sub-classification	18
12.3.5 Magnetic properties and densities	20
12.3.6 Dimensional tolerances	20
13 Irreversible demagnetization behaviour	20
13.1 General.....	20
13.2 General definition of demagnetization field strength H_D	20
13.3 Simplified definition of demagnetization field strength H_D	21
14 Tables 10 to 25.....	23

Annex A (informative) Physical data and mechanical reference values of AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, hard ferrite and SmFeN bonded magnets	43
Annex B (informative) Grain boundary diffusion (GBD) process for REFeB sintered magnets	45
Annex C (informative) Cerium-iron-boron sintered magnets (CeFeB)	46
Bibliography	47
Figure 1 – Graphic representation of $B(H)$ and $J(H)$ demagnetization and recoil curves	21
Figure 2 – Simplified evaluation of $B(H)$ and $J(H)$ demagnetization and recoil curves	23
Figure B.1 – Example of coercivity gain of GBD processed sintered REFeB magnets in dependence of the distance to the magnet surface	45
Figure C.1 – Manufacturing flow chart of CeFeB sintered magnets	46
Table 1 – Classification of permanent magnet (magnetically hard) materials	9
Table 2 – Magnetic properties – Symbols and units	10
Table 3 – Additional magnetic properties – Symbols and units	10
Table 4 – Chemical compositions of AlNiCo alloys (% mass fraction) – for information purposes only	12
Table 5 – Chemical compositions of CrFeCo alloys (% mass fraction) – for information purposes only	13
Table 6 – Chemical compositions of FeCoVCr alloys (% mass fraction) – for information purposes only	14
Table 7 – Chemical compositions of RECo alloys (% mass fraction) – for information purposes only	15
Table 8 – Chemical compositions of REFeB sintered and hot deformed magnets (% mass fraction) – for information purposes only	16
Table 9 – Chemical compositions of REFeN alloys for bonded magnet (% mass fraction) – for information purposes only	18
Table 10 – Magnetic properties and densities of AlNiCo magnets	24
Table 11 – Magnetic properties and densities of CrFeCo and FeCoVCr magnets	25
Table 12 – Magnetic properties and densities of RECo sintered magnets	26
Table 13 – Magnetic properties and densities of REFeB sintered magnets	28
Table 14 – Magnetic properties and densities of REFeB hot deformed magnets	30
Table 15 – Magnetic properties and densities of hard ferrites	31
Table 16 – Magnetic properties and densities of isotropic AlNiCo bonded magnets	33
Table 17 – Magnetic properties and densities of isotropic and anisotropic RECo bonded magnets	34
Table 18 – Magnetic properties and densities of isotropic REFeB bonded magnets	35
Table 19 – Magnetic properties and densities of anisotropic REFeB bonded magnets	37
Table 20 – Magnetic properties and densities of isotropic and anisotropic hard ferrite bonded magnets	38
Table 21 – Magnetic properties and densities of isotropic and anisotropic REFeN bonded magnets	39
Table 22 – Dimensional tolerances (as cast or as sintered) of AlNiCo magnets	40
Table 23 – Dimensional tolerances of cold rolled strips of FeCoVCr and CrFeCo magnets with a maximum thickness of 6 mm and maximum width of 125 mm	40

Table 24 – Dimensional tolerances of the diameter of cold drawn wires and bars of FeCoVCr and CrFeCo magnets.....	41
Table 25 – Dimensional tolerances on hard ferrites.....	42
Table A.1 – Physical data and mechanical reference values of AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, hard ferrite and SmFeN bonded magnets	44
Table C.1 – Chemical compositions of CeFeB sintered magnets (% mass fraction).....	46

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-8-1:2023

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –

**Part 8-1: Specifications for individual materials –
Permanent magnet (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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

This fourth edition cancels and replaces the third edition published in 2015. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) recently developed anisotropic REFeB hot deformed magnets and anisotropic HDDR REFeB bonded magnets are included;
- b) high energy Ca-La-Co ferrites stabilized by La and Co substitution are included;
- c) new and high-performance grades of REFeB and RE₂Co₁₇ sintered magnets and isotropic REFeN bonded magnets are added.

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

Draft	Report on voting
68/732/CDV	68/742/RVC

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

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

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

A list of all parts in the IEC 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 document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-8-1:2023

INTRODUCTION

This document includes the recently developed REFeB hot deformed magnets, anisotropic HDDR REFeB bonded magnets and high energy Ca-La-Co ferrites which have become established in permanent magnet applications. New and high-performance materials of REFeB and $\text{RE}_2\text{Co}_{17}$ sintered magnets and isotropic and anisotropic REFeN bonded magnets are added to each table with new codes. Almost all materials added to this document have been used for various motors to save energy and contribute to the prevention of global warming.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-8-1:2023

MAGNETIC MATERIALS –

Part 8-1: Specifications for individual materials – Permanent magnet (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 permanent magnet (magnetically hard) materials.

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

IEC 60050-121, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 121: Electromagnetism*

IEC 60050-151, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 151: Electrical and magnetic devices*

IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 221: Magnetic materials and components*

IEC 60404-5:2015, *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, IEC 60050-151 and IEC 60050-221 apply.

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

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

4 Types of materials and their applications

Permanent magnet materials, also designated as magnetically hard materials, are classified in IEC 60404-1:2016 [1]¹ as Class R (magnetically hard alloys), Class S (magnetically hard ceramics) and Class U (bonded magnetically hard materials).

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

Permanent magnet 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 loudspeakers. Permanent magnet materials are indispensable in office equipment and computer hardware, automobiles including traction 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 magnet materials are described in more detail in 5.2 (Class R), 5.3 (Class S) and in 5.5 (Class U) of IEC 60404-1 [1].

5 Classification

5.1 General

The classification of permanent magnet materials for technical applications is given in Table 1. The materials are grouped according to their metallurgical relationships and their processes.

Table 1 – Classification of permanent magnet (magnetically hard) materials

Group	Principal constituents	Class
Magnetically hard alloys (R)	Aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium (AlNiCo) alloys	R1
	Chromium-iron-cobalt (CrFeCo) alloys	R6
	Iron-cobalt-vanadium-chromium (FeCoVCr) alloys	R3
	Rare earth-cobalt (RECo) alloys	R5
	Rare earth-iron-boron (REFeB) sintered magnets	R7
	Rare earth-iron-boron (REFeB) hot deformed magnets	R8
Magnetically hard ceramics (S)	Hard ferrites ($MO \cdot nFe_2O_3$; M = Ba, Sr and Ca, and $n = 4,5$ to $6,5$)	S1
Bonded magnetically hard materials (U)	Bonded aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium (AlNiCo) magnets	U1
	Bonded rare earth-cobalt (RECo) magnets	U2
	Bonded rare earth-iron-boron (REFeB) magnets	U3
	Bonded hard ferrite magnets	U4
	Bonded rare earth-iron-nitrogen (REFeN) magnets	U5

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

¹ Numbers in square brackets refer to the bibliography.

5.2 Principal magnetic properties

Symbols and units of magnetic properties of permanent magnet 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 of magnetic properties at ambient temperature of $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$, determined after magnetization to saturation, are given in Table 10, Table 11, Table 12, Table 13, Table 14, Table 15, Table 16, Table 17, Table 18, Table 19, Table 20 and Table 21.

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 at least $0,125 \text{ cm}^3$ 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 up to 160 kA/m of magnetic materials in an open magnetic circuit. The application of IEC 60404-7 [2] is indispensable.

The measurement of magnetic properties shall be made using the method specified in IEC 60404-5.

NOTE For measurement of $H_{cJ} \geq 1\,600 \text{ kA/m}$, saturation effects in the pole pieces can lead to significant measurement errors (see IEC 60404-5). In such case, the measurement can be carried out with open magnetic circuits using a superconducting magnet [3] or a pulsed field magnet (PFM) [4].

5.3 Additional magnetic properties

Symbols and units of additional magnetic properties of permanent magnet materials are given in Table 3.

Table 3 – Additional magnetic properties – Symbols and units

Magnetic properties	Symbol	Unit
Relative 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	$\alpha(H_{cJ})$	$\%/^\circ\text{C}$
Curie temperature	T_c	$^\circ\text{C}$

The values given in Table 10, Table 11, Table 12, Table 13, Table 14, Table 15, Table 16, Table 17, Table 18, Table 19, Table 20 and Table 21 are specified minimum values and some typical values. The typical values are mean values published in the literature and are given for information purposes 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 permanent magnet materials to magnetic saturation is defined in IEC 60404-5, IEC 60404-7 [2] and IEC TR 62517 [5]. The temperature stability of rare earth sintered magnets is described in more detail in IEC TR 62518 [6].

6 Chemical composition

The composition ranges for the different material groups are given for information purposes only 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 Table 10, Table 11, Table 12, Table 13, Table 14, Table 15, Table 16, Table 17, Table 18, Table 19, Table 20 and Table 21 for information purposes only. The density values can be used for mass and volume calculations.

8 Designation

Permanent magnet materials can be identified by brief designations and by alpha-numeric symbols (code numbers, see Table 10, Table 11, Table 12, Table 13, Table 14, Table 15, Table 16, Table 17, Table 18, Table 19, Table 20 and Table 21). 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 specified minimum value of the $(BH)_{\max}$ expressed in kilojoules per cubic metre (kJ/m^3) and the number after the oblique stroke denotes one tenth of the specified minimum value of the H_{cJ} expressed in kiloamperes per metre (kA/m). Permanent magnet materials with a binder (mostly organic, see 12.3.1) are denoted by a suffixed "p" to the brief designation.

EXAMPLE For the grade A₁NiCo 12/6 of Table 10, the integer 12 is obtained from its minimum value $(BH)_{\max}$ of 11,6 kJ/m^3 , and the integer 6 from one-tenth of its minimum value of H_{cJ} i.e. one-tenth of 55 kA/m = 5,5 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 [1]. The letter in the code number means the class of the permanent magnet material. The first number designates the kind of material in the respective class, see Table 10. 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 document 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 the supplier and the purchaser when ordering.

10 Testing

10.1 Extent of testing

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

10.2 Testing methods

The minimum values of the magnetic properties of permanent magnet 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.

The other testing methods may be agreed upon between the supplier and the purchaser.

11 Grounds for rejection

Grounds for rejection include inferior magnetic quality (Table 10, Table 11, Table 12, Table 13, Table 14, Table 15, Table 16, Table 17, Table 18, Table 19, Table 20 and Table 21 give specified minimum values of some magnetic properties), non-compliant physical dimensions and dimensional tolerances (Table 22, Table 23, Table 24 and Table 25).

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 magnet materials based on aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium alloys, 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) – for information purposes only

	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 AlNiCo cast or sintered magnets (R1-0- x)

where $x = 1, 2, 3$

Anisotropic AlNiCo cast magnets (R1-1- x)

where $x = 1, \dots, 7$

Anisotropic AlNiCo sintered magnets (R1-1- x)

where $x = 10, \dots, 13$

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 (as cast or as sintered) of AlNiCo magnets are given in Table 22.

12.1.2 Chromium-iron-cobalt alloys (CrFeCo)

12.1.2.1 Chemical composition

Permanent magnet materials 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) – for information purposes only

	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 or drawing to produce strips or wires, respectively. 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 magnet 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 CrFeCo cast or sintered magnets (R6-0- x)

where $x = 1, 2$

Anisotropic CrFeCo cast or sintered magnets (R6-1- x)

where $x = 1, \dots, 4$

12.1.2.4 Magnetic properties and densities

Magnetic properties and densities of isotropic and anisotropic CrFeCo magnets are given in Table 11 (see also 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 23 and 24, respectively. For sintered magnets, the tolerances shall be agreed upon between the supplier and the purchaser.

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

12.1.3.1 Chemical composition

Permanent magnet materials based on iron-cobalt-vanadium-chromium alloys, referred as FeCoVCr, have compositions of within the range given in Table 6 (values in percentage mass fraction).

Table 6 – Chemical compositions of FeCoVCr alloys (% mass fraction) – for information purposes only

	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, followed by 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 relating to the magnetic polarization H_{cJ} . At the present time there is only one classification of FeCoVCr: R3-1-1.

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 23 and 24, respectively.

12.1.4 Rare earth-cobalt alloys (RECo)

12.1.4.1 Chemical composition

Permanent magnet materials based on rare earth-cobalt alloys are referred as RECo. Of technical importance are the two types of alloys: $RECo_5$ and RE_2Co_{17} . The composition RE_2Co_{17} is used as the generic name for a series of 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 remanent flux density 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) – for information purposes only

	Sm	Fe	Cu	Other elements e.g. Zr, Hf, Ti	Co
RECo ₅	33 to 36	—	—	—	balance
RE ₂ Co ₁₇	24 to 26	10 to 30	4 to 12	0 to 3	balance

Samarium (Sm) is the main rare earth element in these alloys and leads to the best magnetic properties.

However, cerium (Ce), praseodymium (Pr) or gadolinium (Gd) may also be used as the rare earth element.

12.1.4.2 Manufacturing method

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

12.1.4.3 Sub-classification

Anisotropic RECo₅ sintered magnets (R5-1- x)

where $x = 1, \dots, 5$

Anisotropic RE₂Co₁₇ sintered magnets (R5-1- x)

where $x = 10, \dots, 22$

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

Dimensional tolerances shall be in accordance with those for AlNiCo sintered magnets having less than 1 % Ti as specified in Table 22.

12.1.5 Rare earth-iron-boron sintered and hot deformed magnets (REFeB)

12.1.5.1 Chemical composition

Permanent magnet materials based on rare earth-iron-boron alloys are referred as REFeB. The REFeB sintered and hot deformed magnets are based on the compound RE₂Fe₁₄B. The rare earth element is mainly neodymium (Nd), which may be partially substituted by dysprosium (Dy), praseodymium (Pr), cerium (Ce) or other rare earth elements. Iron may be partially substituted by cobalt (Co). The Nd₂Fe₁₄B alloy forms a tetragonal crystal structure and shows both a high saturation magnetization and a high uniaxial magnetocrystalline anisotropy.

The REFeB sintered magnets substituted by Ce may sometimes have high magnetic properties close to the non-Ce substituted REFeB sintered magnets.

NOTE For permanent magnet materials based on cerium-iron-boron sintered magnets (CeFeB), see Annex C (informative).

The composition ranges of the REFeB sintered and hot deformed magnets are given in Table 8 (values in percentage mass fraction).

**Table 8 – Chemical compositions of REFeB sintered and hot deformed magnets
(% mass fraction) – for information purposes only**

	Total RE containing Nd as main element	Co	B	Dy, Tb	Pr, Ce 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 11	0 to 15	0 to 1	balance

12.1.5.2 Manufacturing methods

There are two kinds of REFeB magnets.

The sintered magnets are produced by compacting the monocrystalline REFeB powders in a magnetic field, thus obtaining particle-oriented green compacts. The pressed bodies are sintered under vacuum or under a protective atmosphere followed by a heat treatment. After sintering, a grain boundary diffusion (GBD) process may be applied to enhance the coercivity with highly efficient Tb/Dy utilization (see Annex B.)

Hot deformed magnets are produced by compacting of the melt-spun REFeB powders with nanocrystalline grain, thus obtaining isotropic pressed bodies. The pressed bodies are consolidated and subsequently hot deformed at elevated temperatures. Alignment of grains is obtained along compression stress during die-upsetting or extrusion.

12.1.5.3 Sub-classification

Anisotropic REFeB sintered magnets (R7-1- x)

where $x = 6, \dots, 47$

Anisotropic REFeB hot deformed magnets (R8-1- x)

where $x = 1, \dots, 11$

12.1.5.4 Magnetic properties and densities

The specified minimum magnetic properties and density of anisotropic sintered and hot deformed magnets are given in Table 13 and Table 14, respectively. (See also 5.2, 5.3 and Clause 7.)

12.1.5.5 Dimensional tolerances

Dimensional tolerances shall be in accordance with those for AlNiCo sintered magnets having less than 1 % Ti as specified in Table 22.

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 $M = Ba, Sr$ and Ca). Ca is employed only for La and Co substituted ferrites. 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. There are $Sr-La-Co$ and $Ca-La-Co$ ferrites, which can increase the values of H_{cJ} and decrease the values of $\alpha(H_{cJ})$.

12.2.2 Manufacturing method

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

12.2.3 Sub-classification

Isotropic hard ferrites (S1-0- x)

where $x = 1, 2$

Anisotropic hard ferrites (S1-1- x)

where $x = 1, \dots, 21$

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 15. (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 25.

12.3 Bonded magnetically hard materials (Bonded magnets)

12.3.1 General

Bonded 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.

The main matrix materials are elastomers, thermoplastics or thermosets.

12.3.2 Magnet materials

The magnet materials for producing bonded magnets are powders of AlNiCo , RECo_5 , $\text{RE}_2\text{Co}_{17}$, REFeB , and hard ferrite described in 12.1.1.1, 12.1.4.1, 12.1.5.1 and 12.2.1, respectively and REFeN described below.

There are two kinds of REFeB powders for isotropic and anisotropic bonded magnets. The isotropic powders have submicron grain size and are produced by the melt-spinning method and subsequent heat treatment. The anisotropic powders are produced by the HDDR (Hydrogenation Disproportionation Desorption Recombination) process. The REFeB ingots are heated to absorb hydrogen in the hydrogen gas atmosphere (HD) and to desorb hydrogen in a vacuum (DR). The obtained anisotropic powders are around 100 micrometres diameter of which alignment is along a certain direction and the grain size is submicron size. Sometimes grain boundary diffusion (GBD) process is applied to improve coercivity. Another kind of anisotropic powders are prepared by pulverizing hot deformed REFeB magnets.

The magnetic material required for producing isotropic REFeN bonded magnets is based on a TbCu₇ type intermetallic compound and chemical composition ranges are given in Table 9. The REFeN powders are manufactured by melt spinning process followed by heat treatment and nitrogenation.

The magnetic material required for producing anisotropic 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 nitrogenation. When the size of the processed powders is coarse, a subsequent milling is required. Another technique for preparing anisotropic REFeN powders is by strip-casting REFe alloys, followed by nitrogenation and milling.

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

	Sm	N	Co	Other elements e.g. Zr, Hf, Nb	Fe
Isotropic REFeN	19 to 25	2,5 to 3,5	0 to 5	0 to 2	balance
Anisotropic REFeN	22 to 27	3,0 to 4,0	—	—	balance

12.3.3 Manufacturing method

The methods of manufacturing bonded 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 properties 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 AlNiCo bonded magnets (U1-0-*x*)

where

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

$n = 0, 1, 2$

Isotropic RECo bonded magnets (U2-0-*x*)

where

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

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

$n = 5$ for $\text{RE}_2\text{Co}_{17}$

Anisotropic RECo bonded magnets (U2-1- x)

where

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

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

$n = 0, 1$ for RECo_5

$n = 5, 6, 7$ for $\text{RE}_2\text{Co}_{17}$

Isotropic REFeB bonded magnets (U3-0- x)

where

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

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

$n = 0, \dots, 11$

Anisotropic REFeB bonded magnets (U3-1- x)

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

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

$n = 0, \dots, 4$

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

where

$x = [10 + n]$ for extrusion or calendering

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

$n = 0, 1, 2$

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

where

$x = [10 + n]$ for extrusion or calendering

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

$n = 0, \dots, 3$

Isotropic REFeN bonded magnets (U5-0- x)

where

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

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

$n = 0, \dots, 4$

Anisotropic REFeN bonded magnets (U5-1- x)

where

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

$n = 0, \dots, 3$

12.3.5 Magnetic properties and densities

Specified minimum magnetic properties and densities are given for:

- AlNiCo bonded magnets (AlNiCo p) in Table 16;
- RECo bonded magnets (RECo p) in Table 17;
- isotropic REFeB bonded magnets (REFeB p) in Table 18;
- anisotropic REFeB bonded magnets (REFeB p) in Table 19;
- hard ferrite bonded magnets (hard ferrite p) in Table 20;
- REFeN bonded magnets (REFeN p) in Table 21.

12.3.6 Dimensional tolerances

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

13 Irreversible demagnetization behaviour

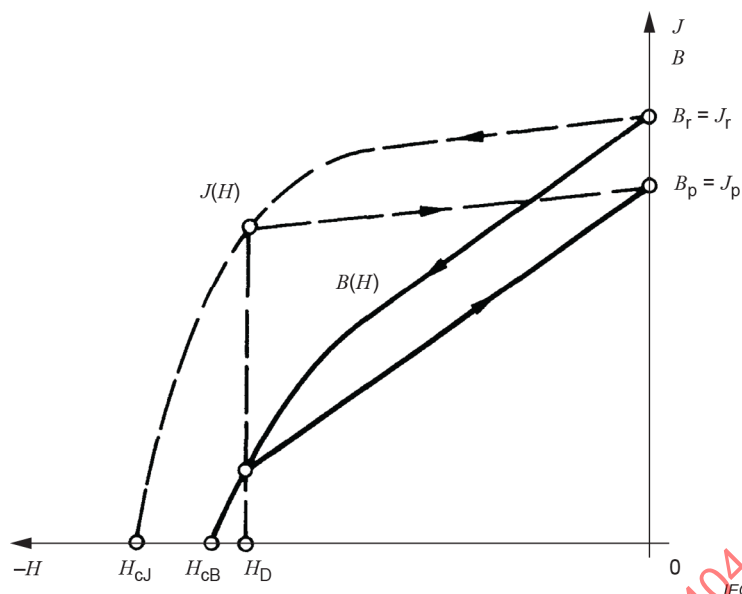
13.1 General

A permanent magnet 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 Table 10, Table 11, Table 12, Table 13, Table 14, Table 15, Table 16, Table 17, Table 18, Table 19, Table 20 and Table 21. 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 permanent magnet material, which has a remanent flux density $B_r = J_r$ after having been fully magnetized. Application of a certain demagnetization 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 permanent magnet 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. In the practical use, the tolerable maximum loss of magnetic flux density should be lower than 2 %. H_D should be below 1 300 kA/m to avoid saturation effects in the pole pieces.

**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, remanent recoil magnetic polarization

H_{cB} coercivity relating to the magnetic flux density

H_{cJ} coercivity relating to the magnetic polarization

H_D demagnetization field strength defined in 13.2

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

13.3 Simplified definition of demagnetization field strength H_D

For NdFeB sintered magnets, the recoil curves are almost parallel to the outer demagnetization curves. In this case, the identification of the demagnetization field strength H_D can 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

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

where

$f(i)$ is the linear regression line for the linear portion of the demagnetization curve, in T;

$B_{r,lin}$ is remanent flux density from linear interpolation, in T;

μ_0 is the magnetic constant, in H/m, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$;

$H(i)$ is discretized point of magnetic field on the linear portion of the demagnetization curve in A/m.

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

This simplification may be used only with following restrictions:

- The simplified method shall be used only for REFeB sintered and hot deformed magnets according to Table 13 and Table 14, respectively;
- It shall not be used for materials which recoil permeability is significantly smaller than the permeability of the outer demagnetization curve like many RECo sintered magnets;
- 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:

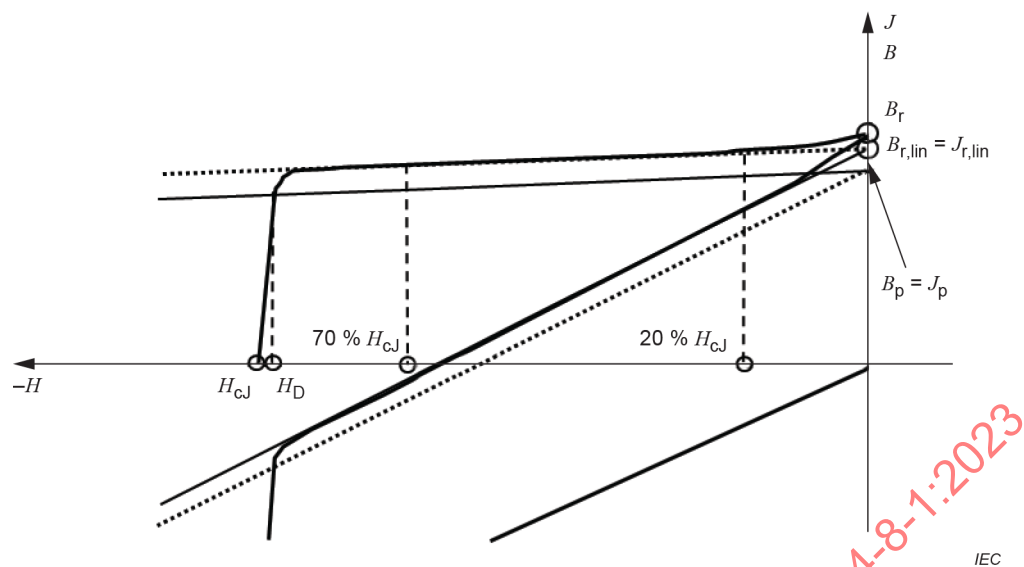
$$S_{tot} = \sum_i (B(i) - \bar{B})^2 \quad (3)$$

the residual sum of squares:

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

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
$B_{r,lin}, J_{r,lin}$	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	demagnetization field strength defined in 13.2

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

14 Tables 10 to 25

Table 10, Table 11, Table 12, Table 13, Table 14, Table 15, Table 16, Table 17, Table 18, Table 19, Table 20 and Table 21 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.

The typical values are mean values published in the literature and are given for information purpose only and are not guaranteed.

Table 22, Table 23, Table 24 and Table 25 give the dimensional tolerances of the various materials.

NOTE Physical data and mechanical references of AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, hard ferrite and SmFeN bonded magnets are given in Table A.1 of Annex A.

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density ρ Mg/m ³
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	Relative recoil permeability μ_{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 additional magnetic properties (information purposes only):									
Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r) = -0,02 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ for 20 °C to 100 °C									
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,03 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ to $\pm 0,03 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ for 20 °C to 100 °C									
Curie temperature: 750 °C for AlNiCo 9/5									
Curie temperature: 800 °C to 850 °C for other AlNiCo grades									
Continuous operating temperature: 550 °C									
a i = isotropic; a = anisotropic									

a i = isotropic; a = anisotropic

Table 12 – Magnetic properties and densities of RECo sintered magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density ρ Mg/m ³
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	Relative recoil permeability μ_{rec}	
RECo			Sintered	Specified minimum values			Typical values		
RECo ₅ 140/120	a	R5-1-1		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 8,5
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		
RE ₂ Co ₁₇ 230/80	a	R5-1-17		230	1 120	700	800		
RE ₂ Co ₁₇ 240/160	a	R5-1-18		240	1 150	840	1 600		
RE ₂ Co ₁₇ 190/200	a	R5-1-19		190	1 020	740	2 000		
RE ₂ Co ₁₇ 210/200	a	R5-1-20		210	1 050	750	2 000		
RE ₂ Co ₁₇ 220/200	a	R5-1-21		220	1 080	780	2 000		
RE ₂ Co ₁₇ 230/200	a	R5-1-22		230	1 110	810	2 000		

Table 13 – Magnetic properties and densities of REFeB sintered magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density ρ Mg/m ³
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product $(BH)_{max}$ kJ/ m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	Relative recoil permeability μ_{rec}	
REFeB			Sintered	Specified minimum values					Typical values
REFeB 240/180	a	R7-1-6		240	1 160	840	1 800	1.02 to 1.06	7.5 to 7.7
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		
REFeB 290/200	a	R7-1-17		290	1 220	920	2 000		
REFeB 310/170	a	R7-1-18		310	1 270	960	1 700		
REFeB 350/130	a	R7-1-19		350	1 350	1 000	1 300		
REFeB 290/240	a	R7-1-20		290	1 220	920	2 400		
REFeB 300/200	a	R7-1-21		300	1 260	950	2 000		
REFeB 340/160	a	R7-1-22		340	1 330	1 000	1 600		
REFeB 360/110	a	R7-1-23		360	1 370	1 020	1 100		
REFeB 410/96	a	R7-1-24		410	1 480	940	960		
REFeB 400/96	a	R7-1-25		400	1 460	940	960		
REFeB 390/96	a	R7-1-26		390	1 440	940	960		
REFeB 400/112	a	R7-1-27		400	1 460	1 060	1 120		
REFeB 390/112	a	R7-1-28		390	1 440	1 060	1 120		
REFeB 390/130	a	R7-1-29		390	1 440	1 090	1 300		
REFeB 380/130	a	R7-1-30		380	1 420	1 080	1 300		
REFeB 380/160	a	R7-1-31		380	1 420	1 080	1 600		

Material			Manufacturing	Magnetic properties				Density ρ Mg/m ³
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product (BH) _{max} kJ/ m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{dJ} kA/m	
REFeB								
REFeB 370/160	a	R7-1-32	Sintered	370	1 390	1 050	1 600	Typical values 1,02 to 1,06 7,5 to 7,7
REFeB 360/160	a	R7-1-33		360	1 370	1 040	1 600	
REFeB 360/180	a	R7-1-34		360	1 370	1 040	1 800	
REFeB 340/180	a	R7-1-35		340	1 330	1 010	1 800	
REFeB 320/180	a	R7-1-36		320	1 290	980	1 800	
REFeB 340/200	a	R7-1-37		340	1 330	1 010	2 000	
REFeB 320/200	a	R7-1-38		320	1 290	980	2 000	
REFeB 320/220	a	R7-1-39		320	1 290	980	2 200	
REFeB 300/220	a	R7-1-40		300	1 260	960	2 200	
REFeB 320/240	a	R7-1-41		320	1 290	980	2 400	
REFeB 300/240	a	R7-1-42		300	1 260	960	2 400	
REFeB 290/260	a	R7-1-43		290	1 230	932	2 600	
REFeB 260/260	a	R7-1-44		260	1 170	980	2 600	
REFeB 240/260	a	R7-1-45		240	1 130	860	2 600	
REFeB 240/280	a	R7-1-46		240	1 130	860	2 800	
REFeB 220/280	a	R7-1-47	220	1 070	820	2 800		
Typical values of the additional magnetic properties (information purposes only):								
Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r) = -0,12\text{ }\%/\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-0,09\text{ }\%/\text{ }^{\circ}\text{C}$ for $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $100\text{ }^{\circ}\text{C}$								
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,70\text{ }\%/\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $-0,45\text{ }\%/\text{ }^{\circ}\text{C}$ for $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $100\text{ }^{\circ}\text{C}$								
Curie temperature: $310\text{ }^{\circ}\text{C}$								
Maximum operating temperature: $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.								
Grain Boundary Diffusion process is not applied for the materials in Table 13.								
^a a = anisotropic								

a = anisotropic

Table 14 – Magnetic properties and densities of REFeB hot deformed magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density ρ Mg/m ³
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product (BH) _{max} kJ/ m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	Relative recoil permeability μ_{rec}	
REFeB				Specified minimum values			Typical values		
REFeB 240/111h	a-r	R8-1-1	240	1 140	830	1 110	1,05	7,5 to 7,7	
REFeB 230/159h	a-r	R8-1-2	230	1 080	810	1 590			
REFeB 270/111h	a-r	R8-1-3	270	1 220	870	1 110			
REFeB 270/143h	a-r	R8-1-4	270	1 220	880	1 430			
REFeB 300/111h	a-r	R8-1-5	300	1 280	920	1 110			
REFeB 320/90h	a-r	R8-1-6	320	1 300	840	900			
REFeB 290/143h	a-r	R8-1-7	290	1 270	920	1 430			
REFeB 310/135h	a-r	R8-1-8	310	1 290	970	1 350			
REFeB 250/180h	a-r	R8-1-9	250	1 170	900	1 800			
REFeB 330/159h	a-a	R8-1-10	330	1 320	1 000	1 590			
REFeB 360/157h	a-a	R8-1-11	360	1 370	1 050	1 570			
Typical values of the additional magnetic properties (information purposes only):									
Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r)$ = −0,12 %/°C to −0,10 %/°C for 20 °C to 100 °C									
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ})$ = −0,7 %/°C to −0,45 %/°C for 20 °C to 100 °C									
Curie temperature: 310 °C									
Maximum operating temperature: 200 °C.									
Grain Boundary Infiltration process is not applied for the materials in Table 14.									
^a a-r = anisotropic (radially oriented ring magnet), a-a = anisotropic (axially oriented magnet)									

Table 15 – Magnetic properties and densities of hard ferrites

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density ρ Mg/m ³
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	Relative recoil permeability μ_{rec}	
Hard ferrite			Sintered	Specified minimum values				Typical values	
Hard ferrite 7/21	i	S1-0-1		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 ^c	a	S1-1-18		41	470	320	340	1,1	5,1
Hard ferrite 39/39 ^c	a	S1-1-19		39	460	340	390	1,1	5,1
Hard ferrite 41/38 ^c	a	S1-1-20		41	470	340	380	1,1	5,1
Hard ferrite 40/44 ^c	a	S1-1-21		40	460	340	440	1,1	5,1

Material			Manufacturing	Magnetic properties				Density ρ Mg/m ³
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	
Hard ferrite				Specified minimum values				Typical values
Typical values of the additional magnetic properties (information purposes only):								
Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r) = -0,2 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ for 20 °C to 100 °C								
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = 0,25 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ to 0,4 %/ $^{\circ}\text{C}$ for 20 °C to 100 °C								
The Sr-La-Co grades (see ^{b)}) have $\alpha(H_{cJ}) = 0,11 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ to 0,24 %/ $^{\circ}\text{C}$ for 20 °C to 100 °C								
The Ca-La-Co grades (see ^{c)}) have $\alpha(H_{cJ}) = 0,06 \text{ } \%/^{\circ}\text{C}$ to 0,15 %/ $^{\circ}\text{C}$ for 20 °C to 100 °C								
Curie temperature: 450 °C								
Maximum operating temperature: 250 °C								
a i = isotropic, a = anisotropic								
b These grades are Sr-La-Co ferrites.								
c These grades are Ca-La-Co ferrites.								

Table 16 – Magnetic properties and densities of isotropic AlNiCo bonded magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product $(BH)_{max}$ kJ/m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	Relative recoil permeability μ_{rec}	
AINiCo p				Specified minimum values					Typical values
AINiCo 3/5p	i	U1-0-30	Compression moulding	3,1	280	37	46	2,5	5,3
AINiCo 5/6p	i	U1-0-31		5,2	320	46	56	2,5	5,4
AINiCo 7/8p	i	U1-0-32		7,0	340	72	84	2,5	5,5
Typical values of the additional magnetic properties (information purposes only):									
Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r) = -0,02\text{ }^\circ\text{C}$ for 20 °C to 100 °C									
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{c,J}) = -0,07\text{ }^\circ\text{C}$ to $-0,03\text{ }^\circ\text{C}$ for 20 °C to 100 °C									
Curie temperature: 750 °C to 850 °C									
Continuous operating temperature: depending on binder									
^a i = isotropic									

Material			Manufacturing	Magnetic properties					
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product $(BH)_{max}$ kJ/m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	Relative recoil permeability μ_{rec}	Density ρ 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 additional magnetic properties (information purposes only):									
RECo ₅									
Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r) = -0,04 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ for 20 °C to 100 °C									
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,3 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ for 20 °C to 100 °C									
Curie temperature: 720 °C									
Continuous operating temperature: depending on binder									
RE ₂ Co ₁₇									
Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r) = -0,03 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ for 20 °C to 100 °C									
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,25 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ for 20 °C to 100 °C									
Curie temperature: 820 °C									
Continuous operating temperature: depending on binder									
a i = isotropic; a = anisotropic									

Table 18 – Magnetic properties and densities of isotropic REFeB bonded magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density ρ Mg/m ³
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product $(BH)_{\max}$ kJ/m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	Relative recoil permeability μ_{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		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	
REFeB 16/48p	i	U3-0-33	Compression moulding	16	300	220	480	1,2	4,8
REFeB 32/56p	i	U3-0-34		32	400	260	560	1,2	5,2
REFeB 48/56p	i	U3-0-35		48	500	300	560	1,2	5,8
REFeB 60/64p	i	U3-0-36		60	600	360	640	1,2	6,0
REFeB 64/88p	i	U3-0-37		64	620	400	880	1,2	6,0
REFeB 72/64p	i	U3-0-38		72	680	400	640	1,2	6,1
REFeB 88/48p	i	U3-0-39		88	740	390	480	1,2	6,2
REFeB 88/64p	i	U3-0-40		88	720	420	640	1,2	6,2
REFeB 88/76p	i	U3-0-41		88	740	440	760	1,2	6,3

Table 19 – Magnetic properties and densities of anisotropic REFeB bonded magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density ρ Mg/m ³
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	Relative recoil permeability μ_{rec}	
REFeB p			Injection moulding	Specified minimum values					Typical values
REFeB 75/116p	a	U3-1-20		75	665	425	1 160	1, 1 to 1, 2	
REFeB 85/111p	a	U3-1-21		85	680	445	1 110		
REFeB 115/103p	a	U3-1-22		115	790	490	1 030		
REFeB 120/96p	a	U3-1-23		120	845	510	960		
REFeB 139/95p	a	U3-1-24	139	890	550	950			
REFeB 135/131p	a	U3-1-30	Compression moulding	135	850	590	1 310	5, 0 to 5, 2	
REFeB 143/119p	a	U3-1-31		143	850	550	1 190		
REFeB 151/103p	a	U3-1-32		151	900	550	1 030		
Typical values of the additional magnetic properties (information purposes only):									
Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r) = -0,14\%/^{\circ}\text{C}$ to $-0,11\ \%/^{\circ}\text{C}$ for $20\ ^{\circ}\text{C}$ to $100\ ^{\circ}\text{C}$									
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,56\ \%/^{\circ}\text{C}$ to $-0,465\ \%/^{\circ}\text{C}$ for $20\ ^{\circ}\text{C}$ to $100\ ^{\circ}\text{C}$									
Curie temperature of the REFeB alloy: $310\ ^{\circ}\text{C}$									
Maximum operating temperature: depending on binder									
^a a = anisotropic									

Table 20 – Magnetic properties and densities of isotropic and anisotropic hard ferrite bonded magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density ρ Mg/m ³	
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	Relative recoil permeability μ_{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 calendaring	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 additional magnetic properties (information purposes only):										
Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r) = -0,2 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ 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: 450 °C										
Continuous operating temperature: depending on binder										
^a i = isotropic; a = anisotropic										

Typical values of the additional magnetic properties (information purposes only):

Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r) = -0,2 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ for 20°C to 100°C

Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{C,i}) = 0,25\%/^{\circ}\text{C}$ to $0,4\%/^{\circ}\text{C}$ for 20°C to 100°C

Curie temperature: 450 °C

Continuous operating temperature: depending on binder

a i = isotropic; a = anisotropic

Table 21 – Magnetic properties and densities of isotropic and anisotropic REFeN bonded magnets

Material			Manufacturing	Magnetic properties					Density ρ Mg/m ³
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number		Maximum BH product $(BH)_{max}$ kJ/m ³	Remanent flux density B_r mT	Coercivity H_{cB} kA/m	Coercivity H_{cJ} kA/m	Relative recoil permeability μ_{rec}	
REFeN			Specified minimum values					Typical values	
REFeN 75/66p	i	U5-0-20	Injection moulding	75	680	420	660	1,1	5,6
REFeN 75/72p	i	U5-0-30		75	680	430	720		6,0
REFeN 80/72p	i	U5-0-31	80	700	470	720	6,0		
REFeN 100/72p	i	U5-0-32	100	740	490	720	6,0		
REFeN 100/96p	i	U5-0-33	100	740	530	960	6,0		
REFeN 110/72p	i	U5-0-34	Injection moulding	110	780	490	720	6,0	
REFeN 75/70p	a	U5-1-20		75	640	430	700	4,2	
REFeN 91/63p	a	U5-1-21		91	690	450	630	4,4	
REFeN 100/66p	a	U5-1-22		100	760	470	660	4,7	
REFeN 91/86p	a	U5-1-23		91	690	480	860	4,6	
Typical values of the additional magnetic properties (information purposes only):									
Isotropic REFeN									
Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r) = -0,08 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ for 20 °C to 100 °C									
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,40 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ for 20 °C to 100 °C									
Curie temperature: 500 °C									
Anisotropic REFeN									
Temperature coefficient of remanent flux density $\alpha(B_r) = -0,07 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ for 20 °C to 100 °C									
Temperature coefficient of coercivity $\alpha(H_{cJ}) = -0,50 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ for 20 °C to 100 °C									
Curie temperature: 476 °C									
Continuous operating temperature: depending on binder									
a i = isotropic; a = anisotropic									

**Table 22 – Dimensional tolerances (as cast or as sintered)
of AlNiCo magnets**

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
	4	$\pm 0,15$	$\pm 0,20$	$\pm 0,20$	$\pm 0,25$	$\pm 0,40$	$\pm 0,25$
4	6	$\pm 0,20$	$\pm 0,25$	$\pm 0,25$	$\pm 0,30$	$\pm 0,40$	$\pm 0,25$
6	8	$\pm 0,20$	$\pm 0,25$	$\pm 0,25$	$\pm 0,30$	$\pm 0,40$	$\pm 0,25$
8	10	$\pm 0,20$	$\pm 0,30$	$\pm 0,30$	$\pm 0,35$	$\pm 0,45$	$\pm 0,25$
10	13	$\pm 0,25$	$\pm 0,30$	$\pm 0,30$	$\pm 0,35$	$\pm 0,50$	$\pm 0,30$
13	16	$\pm 0,25$	$\pm 0,35$	$\pm 0,35$	$\pm 0,45$	$\pm 0,50$	$\pm 0,30$
16	20	$\pm 0,30$	$\pm 0,35$	$\pm 0,40$	$\pm 0,45$	$\pm 0,55$	$\pm 0,40$
20	25	$\pm 0,30$	$\pm 0,40$	$\pm 0,45$	$\pm 0,55$	$\pm 0,60$	$\pm 0,50$
25	30	$\pm 0,35$	$\pm 0,40$	$\pm 0,50$	$\pm 0,60$	$\pm 0,65$	$\pm 0,50$
30	35	$\pm 0,40$	$\pm 0,50$	$\pm 0,55$	$\pm 0,70$	$\pm 0,70$	$\pm 0,60$
35	40	$\pm 0,45$	$\pm 0,55$	$\pm 0,65$	$\pm 0,75$	$\pm 0,75$	$\pm 0,60$
40	45	$\pm 0,50$	$\pm 0,60$	$\pm 0,70$	$\pm 0,80$	$\pm 0,80$	$\pm 0,70$
45	50	$\pm 0,50$	$\pm 0,65$	$\pm 0,75$	$\pm 0,90$	$\pm 0,80$	$\pm 0,70$
50	55	$\pm 0,55$	$\pm 0,70$	$\pm 0,80$	$\pm 1,00$	$\pm 1,00$	$\pm 0,80$
55	60	$\pm 0,60$	$\pm 0,80$	$\pm 0,90$	$\pm 1,10$	$\pm 1,00$	$\pm 0,80$
60	70	–	–	–	–	$\pm 1,00$	$\pm 0,80$
70	80	–	–	–	–	$\pm 1,00$	$\pm 0,80$
80	90	–	–	–	–	$\pm 1,10$	$\pm 0,80$
90	100	–	–	–	–	$\pm 1,20$	$\pm 0,80$

Table 23 – Dimensional tolerances of cold rolled strips of FeCoVCr and CrFeCo magnets 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	$\pm 0,01$	Cut	0,1	0,4	$+0,3$
0,15	0,40	$\pm 0,02$	Cut	0,4	1,5	$+0,4$
0,40	1,00	$\pm 0,03$	Cut	1,5	2,5	$+0,6$
1,00	1,50	$\pm 0,04$	Cut	2,5	6,0a	$+0,8$
1,50	2,50	$\pm 0,05$	— — —	— — —	— — —	— — —
2,50	4,00	$\pm 0,06$	Natural (as rolled)	0,3	6,0 ^a	$+3,0$
4,00	6,00 ^a	$\pm 0,08$				

^a Value included 6,00 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 measurement shall be performed in the middle of the strip

Table 24 – Dimensional tolerances of the diameter of cold drawn wires and bars of FeCoVCr and CrFeCo magnets

Values in millimetres

Range of diameter		Dimensional tolerance on diameter
from	to less than	
	0,25	$\pm 0,01$
0,25	0,40	$\pm 0,015$
0,40	0,63	$\pm 0,02$
0,63	1,00	$\pm 0,03$
1,00	1,60	$\pm 0,04$
1,60	2,50	$\pm 0,06$
2,50	4,00	$\pm 0,08$
4,00	6,30	$\pm 0,10$
6,30	10,00	$\pm 0,15$
10,00	16,00	$\pm 0,20$
16,00	20,00 (value included)	$\pm 0,25$

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-8-1:2023

Table 25 – Dimensional tolerances on 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	4	±0,25	±0,40	±0,25	±0,40	±0,15	±0,10
	6	±0,25	±0,40	±0,25	±0,40	±0,15	±0,10
	8	±0,25	±0,40	±0,25	±0,40	±0,15	±0,10
	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
	16	±0,30	±0,40	±0,35	±0,45	±0,20	±0,15
	20	±0,35	±0,45	±0,45	±0,55	±0,25	±0,15
	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
	35	±0,65	±0,85	±0,80	±1,00	±0,40	±0,20
	40	±0,75	±1,00	±0,95	±1,20	±0,45	±0,25
	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
	55	±1,05	±1,65	±1,30	–	±0,55	±0,30
	60	±1,15	±1,80	±1,45	–	±0,60	±0,30
	70	±1,30	±2,10	±1,65	–	±0,70	±0,35
70	80	±1,50	±2,40	±1,90	–	–	–
	90	±1,70	±2,70	±2,15	–	–	–
	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 SmFeN bonded 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 SmFeN bonded magnets.

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-8-1:2023

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

Material/manufacturing				Physical properties			Mechanical reference properties			
Brief designation	Magnetic anisotropy ^a	Code number	Manufac- turing	Thermal expansion coefficient 10 ⁻⁶ %/°C	Thermal conductivity W/m·K	Resistivity μΩ·m	Tensile strength MPa	Compressive strength MPa	Young's modulus GPa	Vickers 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	R3-1-1	Cast	11 to 12		0,55 to 0,65 ^b 2 500 to 3 500 ^c	2 000 to 2 500 ^b 2 500 to 3 500 ^c			
SmCo ₅	a	R5-1-x x=1, ..., 5	Sintered	// 6 to 7 ⊥ 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, ..., 22		// 8 to 10 ⊥ 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 x=6, ..., 47	Sintered	// 4 to 8 ⊥ -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
NdFeB	a	R8-1-x x=1, ..., 11	Hot deformed	// 0 to 4 ⊥ -3 to 0	4 to 8	1,4 to 1,6	140 to 150	1 000 to 1 100	130 to 180	700 to 800
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		// 12 to 13 ⊥ 10 to 11	4	> 10 ⁴	50 to 60	600 to 700	15 to 200	500 to 600
SmFeN bonded ^d	a	U5-1-x	Bonded	60 to 80	1 to 2		30 to 40		6 to 9	

// parallel
⊥ perpendicular
^a i = isotropic; a = anisotropic
^b Cold-worked
^c Tempered
^d Data for anisotropic Sm₂Fe₁₇N₃ bonded magnets with 7 % to 13 % mass fraction of PA-12 (nylon-12, a kind of polyamide)

Annex B (informative)

Grain boundary diffusion (GBD) process for REFeB sintered magnets

This Annex B describes the Grain Boundary Diffusion (GBD) process for REFeB sintered magnets. The GBD process is applied to machined magnet surfaces to enhance the coercivity using the smaller amount of Dy or Tb (Heavy Rare Earth: HRE) compared with HRE contained in homogenous materials.

The GBD process starts usually with sintered magnets which were already machined to or close to their final shape. After a cleaning step the magnets are coated with a HRE-containing source in the form of pure metals, oxides, fluorides, hydrides and alloys (HRE-Cu, Nd-HRE-Cu etc.). The HRE source may be applied to the surface by dipping into HRE powders suspension, by sputtering the HRE elements in a vacuum chamber or by other suitable coating techniques. After coating, the magnets are heat treated at temperatures lower than the sintering temperature to allow the HRE source to diffuse into the magnet. After the heat treatment the magnets may be machined to the final shape.

During the GBD process, the HRE elements diffuse along the grain boundaries into the magnet and form HRE-enriched shells at the surface of each grain of the $\text{RE}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ main phase. These HRE-enriched shells lead to an increase of the coercivity H_{CJ} of up to about 600 kA/m to 800 kA/m. However, the gain in coercivity decreases rapidly with increasing distance from the magnet surface, see Figure B.1. Since the thickness of the HRE-enriched layers is very small, the remanent flux density of the magnets decreases only slightly. To realize high performance REFeB magnets, the GBD process is applied industrially due to the small decrease of remanent flux density and the low HRE amount used.

The GBD process has also been applied to REFeB hot deformed magnets where it is sometimes called the Grain Boundary Infiltration Process. Process parameters for REFeB hot deformed magnets are different from ones for REFeB sintered magnets.

Since the GBD magnets are composition graded materials, care should be taken for the measurement of their magnetic properties. IEC 60404-5 is only applicable for permanent magnet materials which are presumed homogenous throughout their volume. The GBD magnets are designed for individual applications with their individual shapes. There is a certain composition gradient inside the magnets depending on their individual shape. As a result the magnetic properties must be specified and controlled based on individual agreements.

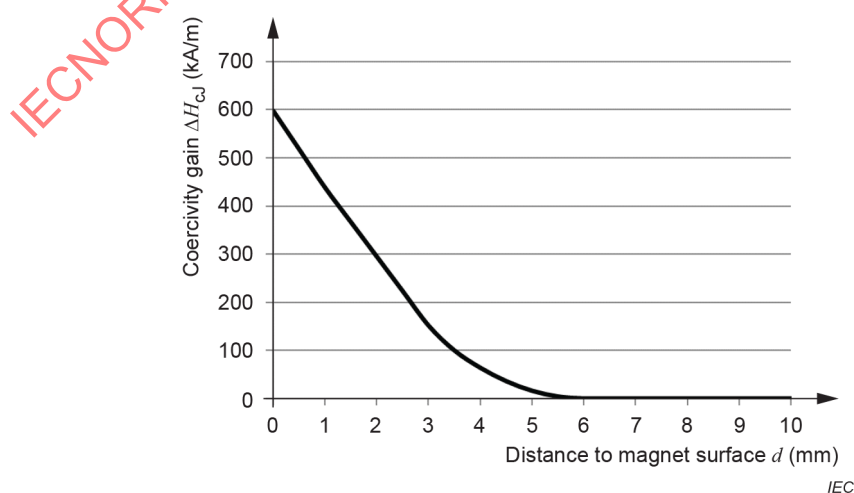


Figure B.1 – Example of coercivity gain of GBD processed sintered REFeB magnets in dependence of the distance to the magnet surface

Annex C (informative)

Cerium-iron-boron sintered magnets (CeFeB)

This Annex C describes permanent magnet materials based on cerium-iron-boron sintered magnets referred to as CeFeB.

The magnetic properties of CeFeB sintered magnets can be low as with B_r of 790 mT, $(BH)_{\max}$ of 64 kJ/m³ and H_{cJ} of 400 kA/m.

The composition ranges of CeFeB sintered magnets are given in Table C.1 (values percentage mass fraction).

Table C.1 – Chemical compositions of CeFeB sintered magnets (% mass fraction)

	Ce	Co	B	Nd, Pr, La, Dy, Tb, Gd, Ho, Er, Y, etc.	Other elements e.g. Cu, Al, Nb, Ga, etc.	Fe
CeFeB	10 to 36	0 to 15	0,9 to 2	0 to 20	0 to 2	balance

Using more cerium (Ce) and less neodymium (Nd), praseodymium (Pr) and other rare earth elements allows the CeFeB sintered magnets to be made more economically while maintaining a relatively constant remanent flux density. Increasing cerium (Ce) content helps to balance the use of rare earth elements.

CeFeB sintered magnets are manufactured through powder metallurgy process. The manufacturing flow chart is given in Figure C.1.

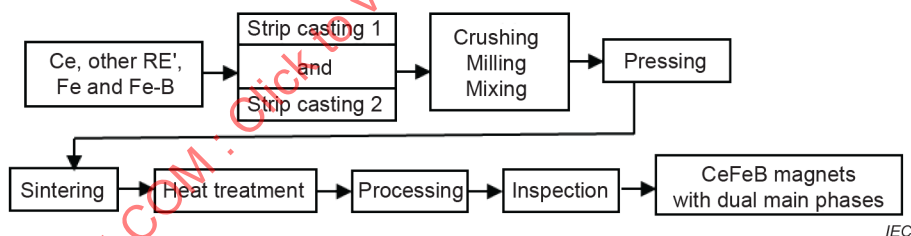


Figure C.1 – Manufacturing flow chart of CeFeB sintered magnets

Bibliography

- [1] IEC 60404-1:2016, *Magnetic materials - Part 1: Classification*
 - [2] IEC 60404-7:2019, *Magnetic materials - Part 7: Method of measurement of the coercivity (up to 160 kA/m) of magnetic materials in an open magnetic circuit*
 - [3] IEC TR 63304:2021, *Methods of measurement of the magnetic properties of permanent magnet (magnetically hard) materials in an open magnetic circuit using a superconducting magnet*
 - [4] IEC TR 62331:2005, *Pulsed field magnetometry*
 - [5] IEC TR 62517:2009, *Magnetizing behaviour of permanent magnets*
 - [6] IEC TR 62518:2009, *Rare earth sintered magnets - Stability of the magnetic properties at elevated temperatures*
-

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-8-1:2023

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	51
INTRODUCTION.....	53
1 Domaine d'application	54
2 Références normatives	54
3 Termes et définitions	54
4 Types de matériaux et leurs applications	55
5 Classification	55
5.1 Généralités	55
5.2 Principales propriétés magnétiques	56
5.3 Autres propriétés magnétiques.....	57
6 Composition chimique	57
7 Masses volumiques	57
8 Désignation	58
9 État de livraison et dimensions	58
10 Essais	58
10.1 Étendue des essais.....	58
10.2 Méthodes d'essai	58
11 Motifs de refus.....	58
12 Description des tableaux des propriétés normales	59
12.1 Alliages magnétiques durs	59
12.1.1 Alliages aluminium-nickel-cobalt-fer-titane (AlNiCo)	59
12.1.2 Alliages chrome-fer-cobalt (CrFeCo).....	60
12.1.3 Alliages fer-cobalt-vanadium-chrome (FeCoVCr)	60
12.1.4 Alliages terres rares-cobalt (RECo)	61
12.1.5 Aimants frittés et déformés à chaud terres rares-fer-bore (REFeB)	62
12.2 Céramiques magnétiques dures (ferrites magnétiques durs)	63
12.2.1 Composition chimique.....	63
12.2.2 Procédé de fabrication.....	63
12.2.3 Sous-classification.....	64
12.2.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques.....	64
12.2.5 Tolérances sur les dimensions.....	64
12.3 Matériaux magnétiques durs agglomérés (aimants agglomérés).....	64
12.3.1 Généralités	64
12.3.2 Matériaux pour aimants	64
12.3.3 Procédé de fabrication.....	65
12.3.4 Sous-classification.....	65
12.3.5 Propriétés magnétiques et masses volumiques.....	67
12.3.6 Tolérances sur les dimensions.....	67
13 Phénomène de désaimantation irréversible	67
13.1 Généralités	67
13.2 Définition générale de l'intensité du champ de désaimantation H_D	67
13.3 Définition simplifiée de l'intensité du champ de désaimantation H_D	68
14 Tableaux 10 à 25.....	70

Annexe A (informative) Données physiques et valeurs mécaniques de référence des aimants AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, ferrites durs et SmFeN agglomérés	90
Annexe B (informative) Procédé de diffusion aux joints de grains (GBD) pour aimants frittés REFeB	92
Annexe C (informative) Aimants frittés cérium-fer-bore (CeFeB)	94
Bibliographie	95
Figure 1 – Représentation graphique des courbes de désaimantation et de recul $B(H)$ et $J(H)$	68
Figure 2 – Évaluation simplifiée des courbes de désaimantation et de recul $B(H)$ et $J(H)$	70
Figure B.1 – Exemple de gain de coercitivité des aimants frittés REFeB soumis à un procédé GBD en fonction de la distance à la surface de l'aimant	93
Figure C.1 – Organigramme de fabrication des aimants frittés CeFeB	94
Tableau 1 – Classification des matériaux (magnétiques durs) pour aimants permanents	56
Tableau 2 – Propriétés magnétiques – Symboles et unités	56
Tableau 3 – Autres propriétés magnétiques – Symboles et unités	57
Tableau 4 – Compositions chimiques des alliages AlNiCo (% massique) – Valeurs indicatives uniquement	59
Tableau 5 – Compositions chimiques des alliages CrFeCo (% massique) – Valeurs indicatives uniquement	60
Tableau 6 – Compositions chimiques des alliages FeCoVCr (% massique) – Valeurs indicatives uniquement	61
Tableau 7 – Compositions chimiques des alliages RECo (% massique) – Valeurs indicatives uniquement	61
Tableau 8 – Compositions chimiques des aimants frittés et déformés à chaud REFeB (% massique) – Valeurs indicatives uniquement	62
Tableau 9 – Compositions chimiques des alliages REFeN pour aimants agglomérés (% massique) – Valeurs indicatives uniquement	65
Tableau 10 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants AlNiCo	71
Tableau 11 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants CrFeCo et FeCoVCr	72
Tableau 12 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants frittés RECo	73
Tableau 13 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants frittés REFeB	75
Tableau 14 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants déformés à chaud REFeB	77
Tableau 15 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des ferrites durs	78
Tableau 16 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants agglomérés AlNiCo isotropes	80
Tableau 17 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants agglomérés RECo isotropes et anisotropes	81
Tableau 18 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants agglomérés REFeB isotropes	82
Tableau 19 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants agglomérés REFeB anisotropes	84

Tableau 20 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants agglomérés ferrites durs isotropes et anisotropes	85
Tableau 21 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants agglomérés REFeN isotropes et anisotropes	86
Tableau 22 – Tolérances sur les dimensions des aimants AlNiCo (coulés ou frittés)	87
Tableau 23 – Tolérances sur les dimensions des feuillards laminés à froid pour les aimants FeCoVCr et CrFeCo avec une épaisseur maximale de 6 mm et une largeur maximale de 125 mm	87
Tableau 24 – Tolérances sur les dimensions concernant le diamètre des fils et des barres étirés à froid pour les aimants FeCoVCr et CrFeCo.....	88
Tableau 25 – Tolérances sur les dimensions des ferrites durs	89
Tableau A.1 – Données physiques et valeurs mécaniques de référence des aimants agglomérés AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, ferrites durs et SmFeN.....	91
Tableau C.1 – Compositions chimiques des aimants frittés CeFeB (% massique)	94

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-8-1:2023

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

**Partie 8-1: Spécifications pour matériaux particuliers –
Matériaux (magnétiques durs) pour aimants permanents**

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

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

Cette quatrième édition annule et remplace la troisième édition parue en 2015. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) ajout des aimants déformés à chaud REFeB anisotropes et des aimants agglomérés REFeB HDDR anisotropes récemment développés;

- b) ajout des ferrites Ca-La-Co à haute énergie stabilisés par substitution de La et de Co;
- c) ajout de nouvelles qualités et de qualités hautes performances pour les aimants frittés REFeB et RE₂Co₁₇ et les aimants agglomérés REFeN isotropes.

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

Projet	Rapport de vote
68/732/CDV	68/742/RVC

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

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

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

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

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

INTRODUCTION

Le présent document traite des aimants déformés à chaud REFeB, des aimants agglomérés REFeB HDDR anisotropes et des ferrites Ca-La-Co à haute énergie récemment développés, qui se sont répandus dans les applications d'aimants permanents. Les nouveaux matériaux et les matériaux hautes performances utilisés pour les aimants frittés REFeB et $\text{RE}_2\text{Co}_{17}$ et les aimants agglomérés REFeN isotropes ont été ajoutés dans chaque tableau, avec de nouveaux codes. Presque tous les matériaux ajoutés au présent document sont utilisés dans différents moteurs afin d'économiser de l'énergie et de contribuer à la prévention du réchauffement climatique mondial.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-8-1:2023

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 8-1: Spécifications pour matériaux particuliers – Matériaux (magnétiques durs) pour aimants permanents

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60404 spécifie les valeurs minimales des principales propriétés magnétiques et les tolérances sur les dimensions pour les matériaux (magnétiques durs) pour aimants permanents qui présentent un intérêt technique important.

Le présent document fournit uniquement des valeurs indicatives pour les masses volumiques des matériaux et leurs plages de compositions chimiques.

NOTE Le Tableau A.1 fournit des données physiques et des valeurs mécaniques de référence supplémentaires concernant les matériaux magnétiques, à des fins d'information et de comparaison.

2 Références normatives

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

IEC 60050-121, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 121: Électromagnétisme*

IEC 60050-151, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

IEC 60050-221, *Vocabulaire électrotechnique international – Chapitre 221: Matériaux et composants magnétiques*

IEC 60404-5:2015, *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 de l'IEC 60050-121, de l'IEC 60050-151 et de l'IEC 60050-221 s'appliquent.

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

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

4 Types de matériaux et leurs applications

Les matériaux pour aimants permanents, également désignés par "matériaux magnétiques durs", sont classés par l'IEC 60404-1:2016 [1]¹ selon différentes classes: Classe R (alliages magnétiques durs), Classe S (céramiques magnétiques dures) et Classe U (matériaux magnétiques durs agglomérés).

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

Les matériaux pour aimants permanents sont utilisés dans quasiment tous les domaines de la vie quotidienne. Ils assurent ainsi différentes fonctions de couplage, de modulation ou de régulation dans des équipements ou dispositifs en utilisant les principes de l'électromagnétisme, par exemple dans les appareils de mesure, les moteurs, les alternateurs et les haut-parleurs. Les matériaux pour aimants permanents sont indispensables dans les équipements de bureau et les matériels informatiques, les automobiles, y compris les moteurs de traction destinés aux véhicules électriques hybrides (VEH) et aux véhicules électriques (VE), l'électronique de loisir, les télécommunications, les appareils électroménagers et les instruments médicaux, mais également dans l'ingénierie mécanique, comme les dispositifs de fixation, les plaques de serrage, etc.

Des applications types et d'autres possibilités pour les matériaux pour aimants permanents commercialement disponibles sont décrites plus en détail en 5.2 (Classe R), en 5.3 (Classe S) et en 5.5 (Classe U) de l'IEC 60404-1 [1].

5 Classification

5.1 Généralités

Le Tableau 1 donne la classification des matériaux pour aimants permanents destinés aux applications techniques. Les matériaux sont regroupés en fonction de leurs relations métallurgiques et de leurs procédés de fabrication.

¹ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

Tableau 1 – Classification des matériaux (magnétiques durs) pour aimants permanents

Groupe	Principaux constituants	Classe
Alliages magnétiques durs (R)	Alliages aluminium-nickel-cobalt-fer-titane (AlNiCo)	R1
	Alliages chrome-fer-cobalt (CrFeCo)	R6
	Alliages fer-cobalt-vanadium-chrome (FeCoVCr)	R3
	Alliages terres rares-cobalt (RECo)	R5
	Aimants frittés terres rares-fer-bore (REFeB)	R7
	Aimants déformés à chaud terres rares-fer-bore (REFeB)	R8
Céramiques magnétiques dures (S)	Ferrites durs ($MO \cdot nFe_2O_3$; M = Ba, Sr et Ca, et n = 4,5 à 6,5)	S1
Matériaux magnétiques durs agglomérés (U)	Aimants agglomérés aluminium-nickel-cobalt-fer-titane (AlNiCo)	U1
	Aimants agglomérés terres rares-cobalt (RECo)	U2
	Aimants agglomérés terres rares-fer-bore (REFeB)	U3
	Aimants agglomérés ferrites durs	U4
	Aimants agglomérés terres rares-fer-azote (REFeN)	U5

Les matériaux pour aimants permanents sont identifiés selon leurs principales propriétés magnétiques données en 5.2.

5.2 Principales propriétés magnétiques

Les symboles et unités des propriétés magnétiques des matériaux pour aimants permanents sont indiqués dans le 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 une température ambiante de $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$, mesurées après aimantation à saturation, sont indiquées dans les Tableaux 10 à 21.

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

Pour les matériaux anisotropes, ces valeurs sont valables uniquement dans la direction préférentielle.

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

Selon les procédés de fabrication utilisés, les valeurs des propriétés magnétiques obtenues peuvent être inférieures si les conditions de dimensions susmentionnées ne sont pas remplies.

Pour la méthode de mesure de la coercitivité jusqu'à 160 kA/m des matériaux magnétiques en circuit magnétique ouvert, l'application de l'IEC 60404-7 [2] est indispensable.

Les propriétés magnétiques doivent être mesurées selon la méthode spécifiée dans l'IEC 60404-5.

NOTE Pour le mesurage de $H_{cJ} \geq 1\,600$ kA/m, les effets de saturation dans les pièces polaires peuvent entraîner des erreurs de mesure significatives (voir l'IEC 60404-5). Dans ce cas, le mesurage peut être réalisé avec des circuits magnétiques ouverts, à l'aide d'un aimant supraconducteur [3] ou d'un aimant à champ pulsé (PFM, *Pulsed Field Magnet*) [4].

5.3 Autres propriétés magnétiques

Les symboles et unités des autres propriétés magnétiques des matériaux pour aimants permanents sont indiqués dans le Tableau 3.

Tableau 3 – Autres propriétés magnétiques – Symboles et unités

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

Le Tableau 10, Tableau 11, Tableau 12, Tableau 13, Tableau 14, Tableau 15, Tableau 16, Tableau 17, Tableau 18, Tableau 19, Tableau 20 et Tableau 21 indiquent les valeurs minimales spécifiées et quelques valeurs types. Les valeurs types sont les valeurs moyennes publiées dans les ouvrages de référence; elles constituent des valeurs indicatives uniquement et ne sont donc pas garanties. La plage de températures pour les coefficients de température indiqués dans les tableaux est généralement comprise entre 20 °C et 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 pour aimants permanents jusqu'à saturation magnétique est définie dans l'IEC 60404-5, l'IEC 60404-7 [2] et l'IEC TR 62517 [5]. La stabilité en température des aimants frittés terres rares est décrite en détail dans l'IEC TR 62518 [6].

6 Composition chimique

Les plages de compositions des différents groupes de matériaux sont des valeurs indicatives fournies 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 données de masse volumique indiquées dans le Tableau 10, Tableau 11, Tableau 12, Tableau 13, Tableau 14, Tableau 15, Tableau 16, Tableau 17, Tableau 18, Tableau 19, Tableau 20 et Tableau 21 sont des valeurs indicatives uniquement. Les valeurs de masse volumique peuvent être utilisées pour calculer les masses et les volumes.

8 Désignation

Les matériaux pour aimants permanents peuvent être identifiés par des désignations simplifiées et par des symboles alphanumériques (numéros de code, voir le Tableau 10, Tableau 11, Tableau 12, Tableau 13, Tableau 14, Tableau 15, Tableau 16, Tableau 17, Tableau 18, Tableau 19, Tableau 20 et Tableau 21). Les symboles chimiques qui sont éventuellement utilisés dans les désignations simplifiées indiquent les principaux constituants. Le nombre situé avant la barre oblique dans la désignation simplifiée indique la valeur minimale spécifiée de $(BH)_{\max}$, exprimée en kilojoules par mètre cube (kJ/m^3) et le nombre situé après la barre oblique indique un dixième de la valeur minimale spécifiée de H_{cJ} , exprimée en kiloampères par mètre (kA/m). Les matériaux pour aimants permanents avec liant (principalement organique, voir 12.3.1) sont identifiés par le suffixe "p" dans la désignation simplifiée.

EXEMPLE Pour la qualité AlNiCo 12/6 du Tableau 10, le nombre entier 12 est obtenu à partir de la valeur minimale du produit $(BH)_{\max}$ de $11,6 \text{ kJ/m}^3$ et le nombre entier 6 est obtenu 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, au nombre entier le plus proche. Si l'arrondi au-dessous conduit au nombre entier zéro, le nombre comprenant le premier décimal non nul arrondi est retenu.

Les numéros de code sont issus du système de classification utilisé dans l'IEC 60404-1[1]. La lettre dans le numéro de code indique la classe de matériau de l'aimant permanent. Le premier chiffre indique le type de matériau dans la classe correspondante (voir le Tableau 10). Un "0" en deuxième position signifie que le matériau est un matériau magnétique isotrope; un "1" indique que le matériau est un matériau magnétique anisotrope. Le troisième chiffre distingue les différentes qualités.

9 État de livraison et dimensions

Les matériaux décrits dans le présent document peuvent être livrés aimantés ou non aimantés, et peuvent être montés dans des circuits magnétiques.

Les dimensions des aimants doivent être fixées par accord entre le fournisseur et l'acheteur lors de la commande.

10 Essais

10.1 Étendue des essais

L'étendue des essais doit être fixée par accord entre le fournisseur et l'acheteur.

10.2 Méthodes d'essai

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

Si la forme ou les dimensions ne respectent pas les exigences du 5.2, il convient de fixer les détails de l'essai dans le cadre d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

Les autres méthodes d'essai peuvent faire l'objet d'un accord entre le fournisseur et l'acheteur.

11 Motifs de refus

Une qualité magnétique inférieure (le Tableau 10, Tableau 11, Tableau 12, Tableau 13, Tableau 14, Tableau 15, Tableau 16, Tableau 17, Tableau 18, Tableau 19, Tableau 20 et Tableau 21 indiquent les valeurs minimales spécifiées de certaines propriétés magnétiques),

des dimensions physiques et des tolérances sur les dimensions non conformes (voir les Tableaux 22 à 25) constituent des motifs de refus.

Des imperfections mécaniques extérieures et intérieures peuvent être considérées comme des motifs de refus si celles-ci compromettent la manipulation et le fonctionnement du produit.

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

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

	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	balance

12.1.1.2 Procédés de fabrication

Les aimants AlNiCo sont fabriqués par fonderie ou par un procédé de métallurgie des poudres. Les caractéristiques magnétiques des alliages contenant plus de 20 % (pourcentage massique) de Co peuvent être augmentées dans 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. Le champ magnétique appliqué durant le traitement thermique doit être parallèle à l'axe colonnaire.

12.1.1.3 Sous-classification

Aimants coulés ou frittés AlNiCo isotropes (R1-0- x)

où $x = 1, 2, 3$

Aimants coulés AlNiCo anisotropes (R1-1- x)

où $x = 1, \dots, 7$

Aimants frittés AlNiCo anisotropes (R1-1- x)

où $x = 10, \dots, 13$

12.1.1.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et les masses volumiques sont indiquées dans le Tableau 10 (voir également le 5.2, le 5.3 et l'Article 7).

12.1.1.5 Tolérances sur les dimensions

Les valeurs des tolérances sur les dimensions des alliages AlNiCo (coulés ou frittés) sont indiquées dans le Tableau 22.

12.1.2 Alliages chrome-fer-cobalt (CrFeCo)

12.1.2.1 Composition chimique

Les matériaux pour aimants permanents à base d'alliages chrome-fer-cobalt, désignés par CrFeCo, ont des compositions situées dans les plages indiquées dans le Tableau 5 (valeurs en pourcentage massique).

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

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

12.1.2.2 Procédé de fabrication

Les alliages CrFeCo peuvent être produits par coulée, suivie d'un laminage ou d'un étirage à chaud et à froid afin d'obtenir des feuillards ou des fils, respectivement. Des pièces sont réalisées à partir de ces matériaux par estampage, par tournage ou par perçage. Après la mise en forme, un traitement thermique doit être effectué pour obtenir les propriétés de l'aimant permanent. Les aimants peuvent aussi être produits par un procédé de métallurgie des poudres. Les caractéristiques magnétiques des matériaux coulés et frittés peuvent être augmentées dans une direction préférentielle par l'application d'un champ magnétique pendant le traitement thermique.

12.1.2.3 Sous-classification

Aimants coulés ou frittés CrFeCo isotropes (R6-0- x)

où $x = 1, 2$

Aimants coulés ou frittés CrFeCo anisotropes (R6-1- x)

où $x = 1, \dots, 4$

12.1.2.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et les masses volumiques des aimants CrFeCo isotropes et anisotropes sont indiquées dans le Tableau 11 (voir également le 5.2, le 5.3 et 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 indiquées respectivement dans les Tableaux 23 et 24. 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 matériaux pour aimants permanents à base d'alliages fer-cobalt-vanadium-chrome, désignés par FeCoVCr, ont des compositions situées dans les plages indiquées dans le Tableau 6 (valeurs en pourcentage massique):

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

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

12.1.3.2 Procédé de fabrication

Les alliages FeCoVCr sont produits par coulée, suivie d'un laminage ou d'un étirage à chaud et à froid afin d'obtenir des feuillards ou des fils, respectivement. La déformation à froid (de 80 % à 95 %), suivie d'un traitement thermique dans une plage comprise entre 500 °C et 650 °C, est essentielle pour obtenir les propriétés de l'aimant permanent.

12.1.3.3 Sous-classification

La sous-classification recommandée repose sur la coercitivité relative à la polarisation magnétique H_{cJ} . Il n'existe actuellement qu'une seule classification de FeCoVCr: R3-1-1.

12.1.3.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et les masses volumiques sont indiquées dans le Tableau 11 (voir également le 5.2, le 5.3 et 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 indiquées respectivement dans les Tableaux 23 et 24.

12.1.4 Alliages terres rares-cobalt (RECo)

12.1.4.1 Composition chimique

Les matériaux pour aimants permanents à base d'alliages terres rares-cobalt sont désignés par RECo. Les deux types d'alliages suivants ont une importance technique: RECo₅ et RE₂Co₁₇. La composition RE₂Co₁₇ est employée comme nom générique d'une série d'alliages multiphasés dont un certain nombre d'éléments de transition remplacent en partie le cobalt. Ces alliages présentent une forte anisotropie magnétique uniaxiale et une saturation magnétique élevée, ce qui permet d'obtenir des aimants avec une coercitivité H_{cJ} et une induction magnétique rémanente B_r élevées. Leurs principaux constituants sont indiqués dans le Tableau 7 (valeurs en pourcentage massique):

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

	Sm	Fe	Cu	Autres éléments par exemple, Zr, Hf, Ti	Co
RECo ₅	33 à 36	—	—	—	balance
RE ₂ Co ₁₇	24 à 26	10 à 30	4 à 12	0 à 3	balance

Le samarium (Sm) est le principal élément de terres rares dans ces alliages; il procure les meilleures propriétés magnétiques.

Cependant, le cérium (Ce), le praséodyme (Pr) ou le gadolinium (Gd) peut aussi être utilisé comme élément de terres rares.

12.1.4.2 Procédé de fabrication

Le compactage de la poudre monocristalline RECo est réalisé dans un champ magnétique, ce qui permet d'obtenir des comprimés 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

Aimants frittés RECo₅ anisotropes (R5-1-*x*)

où *x* = 1, ..., 5

Aimants frittés RE₂Co₁₇ anisotropes (R5-1-*x*)

où *x* = 10, ..., 22

12.1.4.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et les masses volumiques sont indiquées dans le Tableau 12 (voir également le 5.2, le 5.3 et l'Article 7).

12.1.4.5 Tolérances sur les dimensions

Les tolérances sur les dimensions doivent être alignées sur celles des aimants frittés AlNiCo qui contiennent moins de 1 % de Ti, comme cela est spécifié dans le Tableau 22.

12.1.5 Aimants frittés et déformés à chaud terres rares-fer-bore (REFeB)

12.1.5.1 Composition chimique

Les matériaux pour aimants permanents à base d'alliages terres rares-fer-bore sont désignés par REFeB. Les aimants frittés et déformés à chaud REFeB ont pour composition de base RE₂Fe₁₄B. L'élément de terres rares est principalement le néodyme (Nd), qui peut partiellement être remplacé par du dysprosium (Dy), du praséodyme (Pr), du cérium (Ce) ou d'autres éléments de terres rares. Le fer peut partiellement être remplacé par du cobalt (Co). L'alliage Nd₂Fe₁₄B a une structure cristalline tétragonale et présente une aimantation à saturation et une anisotropie magnétocristalline uniaxiale élevées.

Les aimants frittés REFeB dans lesquels on substitue du Ce peuvent parfois avoir des propriétés magnétiques élevées proches des aimants frittés REFeB sans substitution de Ce.

NOTE Pour les matériaux d'aimants permanents à base d'aimants frittés cérium-fer-bore (CeFeB), voir l'Annexe C (Informatif).

Les plages des compositions des aimants frittés et déformés à chaud REFeB sont indiquées dans le Tableau 8 (valeurs en pourcentage massique).

Tableau 8 – Compositions chimiques des aimants frittés et déformés à chaud REFeB (% massique) – Valeurs indicatives uniquement

	RE total contenant du Nd comme principal élément	Co	B	Dy, Tb	Pr, Ce 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 11	0 à 15	0 à 1	balance

12.1.5.2 Procédés de fabrication

Il existe deux types d'aimants REFeB.

Les aimants frittés sont produits par compactage des poudres monocristallines REFeB dans un champ magnétique, ce qui permet d'obtenir des comprimés de particules orientées. Ces pièces compactées sont frittées sous vide ou sous atmosphère protectrice, procédure qui est suivie par un traitement thermique. Après le frittage, un procédé de diffusion aux joints de grains (GBD, *Grain Boundary Diffusion*) peut être appliqué pour améliorer la coercitivité avec une utilisation de Tb/Dy hautes performances. (Voir l'Annexe B.)

Les aimants déformés à chaud sont produits par le compactage des poudres en grains monocristallins REFeB filées, ce qui permet d'obtenir des pièces compactées isotropes. Les pièces compactées sont consolidées et ensuite déformées à chaud à des températures élevées. L'alignement des grains est obtenu le long de la contrainte de compression pendant l'application à chaud d'une forte contrainte ou pendant l'extrusion.

12.1.5.3 Sous-classification

Aimants frittés REFeB anisotropes (R7-1- x)

où $x = 6, \dots, 47$

Aimants déformés à chaud REFeB anisotropes (R8-1- x)

où $x = 1, \dots, 11$

12.1.5.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques minimales spécifiées et les masses volumiques des aimants frittés et déformés à chaud anisotropes sont indiquées respectivement dans les Tableaux 13 et 14 (voir également le 5.2, le 5.3 et l'Article 7).

12.1.5.5 Tolérances sur les dimensions

Les tolérances sur les dimensions doivent être alignées sur celles des aimants frittés AlNiCo qui contiennent moins de 1 % de Ti, comme cela est spécifié dans le Tableau 22.

12.2 Céramiques magnétiques dures (ferrites magnétiques durs)

12.2.1 Composition chimique

La composition chimique des ferrites magnétiques durs peut être décrite par la formule $MO \cdot nFe_2O_3$ (où $M = Ba, Sr$ et Ca). Ca est utilisé uniquement pour les ferrites avec substitution de La et de Co . Le rapport n peut varier de 4,5 à 6,5. Les ferrites magnétiques durs ont une structure hexagonale avec une anisotropie magnétocristalline uniaxiale élevée, mais une saturation magnétique relativement basse.

Les propriétés magnétiques peuvent être améliorées par des substitutions spéciales. Il existe des ferrites $Sr-La-Co$ et $Ca-La-Co$, qui peuvent augmenter les valeurs de H_{cJ} et diminuer les valeurs de $\alpha(H_{cJ})$.

12.2.2 Procédé de fabrication

Le compactage de la poudre monocristalline de ferrite dur est réalisé dans un champ magnétique, ce qui permet d'obtenir des comprimés de particules orientées. Ces pièces compactées sont frittées dans l'air.

12.2.3 Sous-classification

Ferrites durs isotropes (S1-0- x)

où $x = 1, 2$

Ferrites durs anisotropes (S1-1- x)

où $x = 1, \dots, 21$

12.2.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et les masses volumiques des ferrites magnétiques durs isotropes et anisotropes sont indiquées dans le Tableau 15 (voir également le 5.2, le 5.3 et l'Article 7).

12.2.5 Tolérances sur les dimensions

Les valeurs des tolérances sur les dimensions des ferrites magnétiques durs isotropes et anisotropes sont indiquées dans le Tableau 25.

12.3 Matériaux magnétiques durs agglomérés (aimants agglomérés)

12.3.1 Généralités

Les aimants agglomérés sont des matériaux composites. Ils sont composés de poudres pour aimants permanents enrobées dans une matrice de plastique. Ce liant détermine en grande partie les propriétés mécaniques du composite, tandis que la poudre pour aimant détermine les propriétés magnétiques du composite. Les propriétés du composite sont déterminées par le type de matériau de l'aimant permanent, le matériau de la matrice, le taux de remplissage et le degré d'alignement, dans le cas d'un matériau anisotrope, ce qui entraîne une grande variété de qualités.

Malgré leurs faibles propriétés magnétiques par rapport à celles des matériaux frittés, les aimants agglomérés offrent des avantages économiques et techniques dans de nombreuses applications en raison de leur faible coût de fabrication et permettent une large variété de formes et de bonnes propriétés mécaniques.

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

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

12.3.2 Matériaux pour aimants

Les matériaux magnétiques utilisés pour la production d'aimants agglomérés sont des poudres AlNiCo , RECo_5 , $\text{RE}_2\text{Co}_{17}$, REFeB et ferrites durs décrites respectivement en 12.1.1.1, 12.1.4.1, 12.1.5.1 et 12.2.1, et REFeN décrites ci-dessous.

Il existe deux types de poudres REFeB pour les aimants agglomérés isotropes et anisotropes. Les poudres isotropes ont une granulométrie submicronique et sont produites selon la méthode de filage par fusion suivie d'un traitement thermique ultérieur. Les poudres anisotropes sont produites selon le procédé HDDR (hydrogénation, dismutation, désorption, recombinaison). Les lingots REFeB sont chauffés pour absorber l'hydrogène dans l'atmosphère de gaz d'hydrogène (HD) et pour désorber l'hydrogène dans une atmosphère de vide (DR). Les poudres anisotropes obtenues ont un diamètre d'environ 100 μm , dont l'alignement suit une certaine direction et dont la granulométrie est submicronique. Parfois, le procédé de diffusion aux joints de grains (GBD) est appliqué pour améliorer la coercitivité. D'autres types de poudres anisotropes sont préparés par pulvérisation d'aimants déformés à chaud REFeB .

Le matériau magnétique exigé pour la production d'aimants agglomérés REFeN isotropes repose sur un composé intermétallique de type TbCu_7 , et les plages de compositions chimiques sont indiquées dans le Tableau 9. Les poudres REFeN sont produites par un procédé de filage par fusion, suivi d'un traitement thermique et d'une nitrogénéation.

Le matériau magnétique exigé pour la production d'aimants agglomérés REFeN anisotropes repose sur un composé intermétallique $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$, et les plages de compositions chimiques sont indiquées dans le Tableau 9. Les poudres REFeN sont fabriquées par un procédé de diffusion par réduction qui utilise des poudres Sm_2O_3 et Fe avec du Ca comme agent de réduction, suivi d'une nitrogénéation. Lorsque les poudres traitées sont de grandes tailles, un broyage ultérieur est exigé. Une autre technique de préparation des poudres REFeN anisotropes consiste en une coulée en feuillards d'alliages REFe, suivie d'une nitrogénéation et d'un broyage.

Tableau 9 – Compositions chimiques des alliages REFeN pour aimants agglomérés (% massique) – Valeurs indicatives uniquement

	Sm	N	Co	Autres éléments par exemple, Zr, Hf, Nb	Fe
REFeN isotrope	19 à 25	2,5 à 3,5	0 à 5	0 à 2	balance
REFeN anisotrope	22 à 27	3,0 à 4,0	—	—	balance

12.3.3 Procédé de fabrication

Les procédés de fabrication des aimants agglomérés, fréquemment désignés par "aimants P", sont très similaires, quel que soit le matériau d'aimant utilisé. Les matériaux souples sont produits par laminage, par extrusion ou par calandrage, tandis que les aimants rigides sont produits par moulage par injection, par compression sous presse ou par 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 de matrice les plus importants pour les aimants moulés par injection sont les thermoplastiques polyamide, polyéthylène et sulfure de polyphénylène (PPS, *Polyphenylene Sulfide*). Le mélange composite est traité par des machines de moulage par injection. Des matrices à une ou plusieurs empreintes sont utilisées selon la forme, la taille et le volume de production de l'aimant.

Dans la fabrication des qualités anisotropes, les propriétés magnétiques dépendent essentiellement 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 sous 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 mélanges de composites sont introduits dans les moules et comprimés à des pressions comprises entre 0,6 GPa et 1 GPa. Les pièces sont ensuite soumises à un traitement thermique pour durcir le liant. Des aimants anisotropes peuvent aussi être obtenus par compression sous presse 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 le moulage par compression

$n = 0, 1, 2$

Aimants agglomérés RECo isotropes (U2-0- x)

où

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

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

$n = 5$ pour $\text{RE}_2\text{Co}_{17}$

Aimants agglomérés RECo anisotropes (U2-1- x)

où

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

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

$n = 0, 1$ pour RECo_5

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

Aimants agglomérés REFeB isotropes (U3-0- x)

où

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

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

$n = 0, \dots, 11$

Aimants agglomérés REFeB anisotropes (U3-1- x)

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

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

$n = 0, \dots, 4$

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

où

$x = [10 + n]$ pour l'extrusion ou le calandrage

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

$n = 0, 1, 2$

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

où

$x = [10 + n]$ pour l'extrusion ou le calandrage

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

$n = 0, \dots, 3$

Aimants agglomérés REFeN isotropes (U5-0- x)

où

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

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

$n = 0, \dots, 4$

Aimants agglomérés REFeN anisotropes (U5-1- x)

où

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

$n = 0, \dots, 3$

12.3.5 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les valeurs minimales spécifiées pour les propriétés magnétiques et les masses volumiques sont indiquées pour les:

- aimants agglomérés AlNiCo (AlNiCo p) dans le Tableau 16;
- aimants agglomérés RECo (RECo p) dans le Tableau 17;
- aimants agglomérés REFeB (REFeB p) isotropes dans le Tableau 18;
- aimants agglomérés REFeB (REFeB p) anisotropes dans le Tableau 19;
- aimants agglomérés ferrites durs (ferrites durs p) dans le Tableau 20;
- aimants agglomérés REFeN (REFeN p) dans le Tableau 21.

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

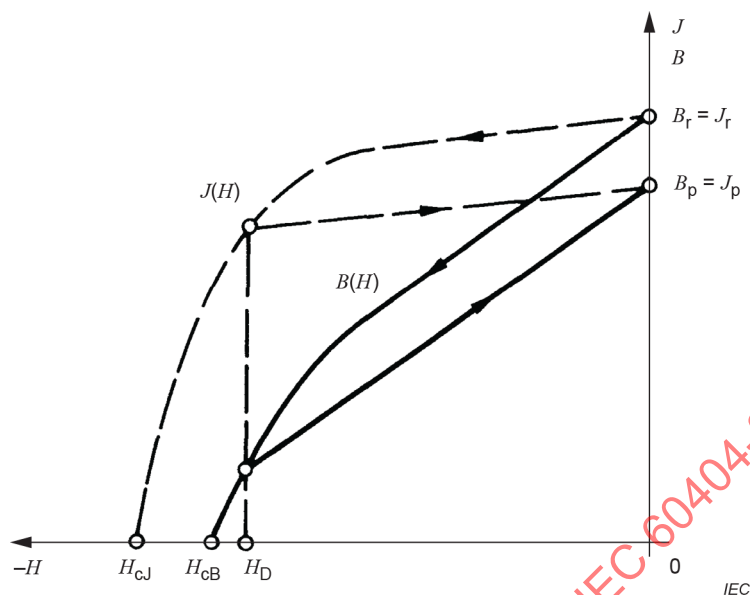
Un matériau pour aimant permanent, avec une rémanence donnée à l'état initial, perdra éventuellement un certain taux de flux si celui-ci est soumis à un champ magnétique de désaimantation (champ inverse). Après suppression du champ de désaimantation, le flux magnétique de l'état initial peut être rétabli en totalité ou en partie. La perte d'aimantation est complètement réversible dans le premier cas, tandis qu'elle est partiellement réversible et partiellement irréversible dans le second cas. La variation réversible de flux magnétique correspondant à la variation du champ magnétique est décrite quantitativement par la perméabilité relative de recul μ_{rec} , comme cela est indiqué dans les Tableaux 10 à 21. Par conséquent, cette variation réversible peut être prise en compte lors de la conception de systèmes à aimants permanents.

Lors de la conception, il est primordial de connaître la plage des champs de désaimantation qui ne produisent que des variations réversibles. Plus précisément, l'intensité du champ de désaimantation qui cause une variation irréversible du flux (perte de flux) acceptable doit être connue. 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 représente les courbes de désaimantation et de recul pour un matériau pour aimant permanent 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 $B_p = J_p$, désignée par "induction magnétique rémanente de recul". Pour $B_p < B_r$, une perte irréversible relative d'induction magnétique est observée. 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 pour aimant permanent à un champ de désaimantation. Si, par exemple, la perte maximale tolérable de l'induction magnétique est de 5 %, le champ correspondant est désigné par H_{D5} . H_D peut être déterminé expérimentalement selon la méthode indiquée à l'Article 9 de l'IEC 60404-5:2015. Dans la pratique, il convient que

la perte maximale tolérable de l'induction magnétique soit inférieure à 2 %. Il convient que H_D soit inférieur à 1 300 kA/m afin d'éviter les effets de saturation dans les pièces polaires.



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, polarisation 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 de désaimantation définie en 13.2

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

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

Pour les aimants frittés NdFeB, 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 la Figure 2).

La méthode est la suivante:

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

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

où

$f(i)$ est la droite de régression linéaire pour la portion linéaire de la courbe de désaimantation, en T;

$B_{r,lin}$ est l'induction magnétique rémanente par interpolation linéaire, en T;

μ_0 est la constante magnétique, en H/m, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$;

$H(i)$ est un point discrétisé du champ magnétique sur la portion linéaire de la courbe de désaimantation, en A/m.

Cette droite coupe l'axe B au point $B_{r,lin}$. Pour une perte de désaimantation de 5 %, par exemple, 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 coupe la courbe de désaimantation d'origine à la valeur de champ de H_{D5} .

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

- la méthode simplifiée ne doit être utilisée que pour les aimants frittés et déformés à chaud REFeB conformément au Tableau 13 et au Tableau 14, respectivement;
- elle ne doit pas être utilisée pour des matériaux dont la perméabilité de recul est sensiblement inférieure à la perméabilité de la courbe de désaimantation extérieure, comme de nombreux aimants frittés RECo;
- la coercitivité H_{cJ} doit être supérieure à 400 kA/m;
- la pente μ_{fit} de la droite ajustée doit être comprise dans la plage $1,0 \leq \mu_{fit} \leq 1,15$ (en prenant pour hypothèse 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:

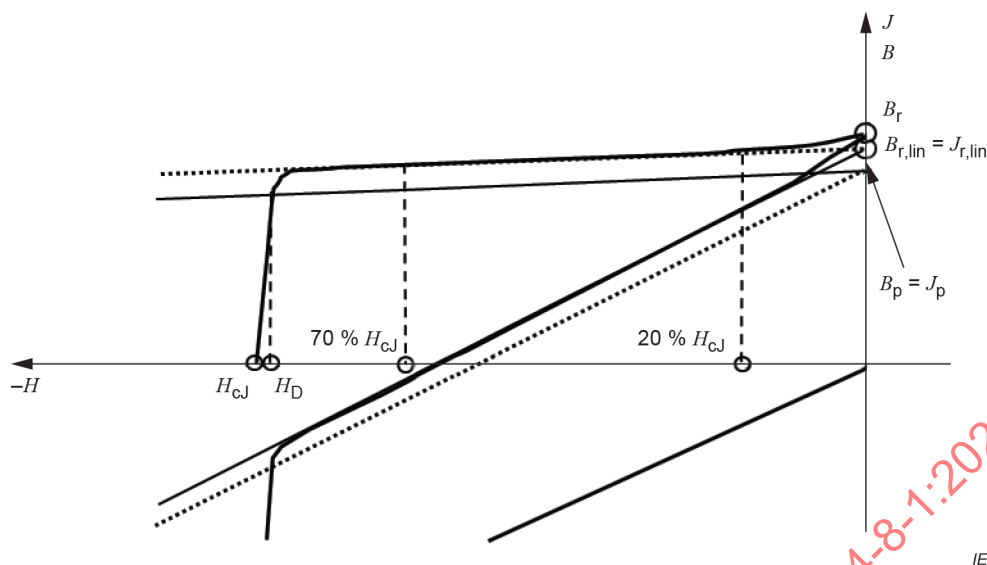
$$S_{tot} = \sum_i (B(i) - \bar{B})^2 \quad (3)$$

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 déterminées par interpolation linéaire
B_p, J_p	induction magnétique rémanente de recul, polarisation magnétique rémanente de recul
H_{cJ}	coercitivité relative à la polarisation magnétique
H_D	intensité du champ de désaimantation définie en 13.2

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

14 Tableaux 10 à 25

Les Tableaux 10 à 21 indiquent les valeurs minimales spécifiées pour les propriétés des différents matériaux. Les valeurs types de la perméabilité relative de recul, des coefficients de température, de la température de Curie, des valeurs de la température de fonctionnement continue et des masses volumiques sont également indiquées.

Les valeurs types sont les valeurs moyennes publiées dans les ouvrages de référence; elles constituent des valeurs indicatives uniquement et ne sont donc pas garanties.

Les Tableaux 22 à 25 indiquent les tolérances sur les dimensions pour les différents matériaux.

NOTE Les données physiques et les valeurs mécaniques de référence des aimants agglomérés AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB, ferrites durs et SmFeN sont données au Tableau A.1 de l'Annexe A.

Tableau 12 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants frittés RECo

Matériau			Procédé de fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique ρ Mg/m ³
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique a	Numéro de code		Produit BH maximal $(BH)_{\max}$ 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}	
RECO				Valeurs minimales spécifiées			Valeurs types		
RECo ₅ 140/120	a	R5-1-1	Frittage	140	860	600	1 200	1,05	8,3 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 à 8,5
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		
RE ₂ Co ₁₇ 230/80	a	R5-1-17		230	1 120	700	800		
RE ₂ Co ₁₇ 240/160	a	R5-1-18		240	1 150	840	1 600		
RE ₂ Co ₁₇ 190/200	a	R5-1-19		190	1 020	740	2 000		
RE ₂ Co ₁₇ 210/200	a	R5-1-20		210	1 050	750	2 000		
RE ₂ Co ₁₇ 220/200	a	R5-1-21		220	1 080	780	2 000		
RE ₂ Co ₁₇ 230/200	a	R5-1-22		230	1 110	810	2 000		

Tableau 13 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants frittés REFeB

Matériau			Procédé de fabrication	Propriétés magnétiques					Masse volumique ρ Mg/m ³	
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Produit BH maximal $(BH)_{\max}$ 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}		
REFeB						Valeurs minimales spécifiées				Valeurs types 1,02 à 1,06 7,5 à 7,7
REFeB 240/180	a	R7-1-6	Frittage	240	1 160	840	1 800	1 006		
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			
REFeB 290/200	a	R7-1-17		290	1 220	920	2 000			
REFeB 310/170	a	R7-1-18		310	1 270	960	1 700			
REFeB 350/130	a	R7-1-19		350	1 350	1 000	1 300			
REFeB 290/240	a	R7-1-20		290	1 220	920	2 400			
REFeB 300/200	a	R7-1-21		300	1 260	950	2 000			
REFeB 340/160	a	R7-1-22		340	1 330	1 000	1 600			
REFeB 360/110	a	R7-1-23		360	1 370	1 020	1 100			
REFeB 410/96	a	R7-1-24		410	1 480	940	960			
REFeB 400/96	a	R7-1-25		400	1 460	940	960			
REFeB 390/96	a	R7-1-26		390	1 440	940	960			
REFeB 400/112	a	R7-1-27		400	1 460	1 060	1 120			
REFeB 390/112	a	R7-1-28		390	1 440	1 060	1 120			
REFeB 390/130	a	R7-1-29		390	1 440	1 090	1 300			
REFeB 380/130	a	R7-1-30		380	1 420	1 080	1 300			
REFeB 380/160	a	R7-1-31		380	1 420	1 080	1 600			

Tableau 15 – Propriétés magnétiques et masses volumiques des ferrites durs

Matériau			Procédé de fabrication	Propriétés magnétiques						Masse volumique ρ Mg/m ³
Désignation simplifiée	Anisotropie magnétique ^a	Numéro de code		Produit BH maximal (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}		
Ferrites durs			Valeurs minimales spécifiées						Valeurs types	
Ferrite dur 7/21	i	S1-0-1	6,5	190	125	210	1,2	4,9		
Ferrite dur 7/25	i	S1-0-2	6,5	190	120	250	1,2	4,9		
Ferrite dur 20/19	a	S1-1-1	20	320	170	190	1,1	4,8		
Ferrite dur 24/23	a	S1-1-2	24	350	215	230	1,1	4,8		
Ferrite dur 25/14	a	S1-1-3	25	380	130	135	1,1	5,0		
Ferrite dur 26/18	a	S1-1-4	26	370	175	180	1,1	5,0		
Ferrite dur 22/30	a	S1-1-5	22	350	255	295	1,1	4,6		
Ferrite dur 26/26	a	S1-1-6	26	370	230	260	1,1	4,7		
Ferrite dur 29/22	a	S1-1-7	29	390	210	220	1,1	4,8		
Ferrite dur 32/17	a	S1-1-8	32	410	160	165	1,1	4,9		
Ferrite dur 32/25	a	S1-1-9	32	410	240	250	1,1	4,9		
Ferrite dur 24/35	a	S1-1-10	24	360	260	350	1,1	4,8		
Ferrite dur 29/15	a	S1-1-11	29	400	145	150	1,1	5,0		
Ferrite dur 25/38	a	S1-1-12	25	380	275	380	1,1	4,95		
Ferrite dur 31/30	a	S1-1-13	31	410	295	300	1,1	4,95		
Ferrite dur 35/25	a	S1-1-14	35	430	245	250	1,1	4,95		
Ferrite dur 38/27 ^b	a	S1-1-15	38	450	260	270	1,1	5,0		
Ferrite dur 36/34 ^b	a	S1-1-16	36	440	320	340	1,1	5,0		
Ferrite dur 33/38 ^b	a	S1-1-17	33	420	300	380	1,1	5,0		
Ferrite dur 41/34 ^c	a	S1-1-18	41	470	320	340	1,1	5,1		
Ferrite dur 39/39 ^c	a	S1-1-19	39	460	340	390	1,1	5,1		
Ferrite dur 41/38 ^c	a	S1-1-20	41	470	340	380	1,1	5,1		
Ferrite dur 40/44 ^c	a	S1-1-21	40	460	340	440	1,1	5,1		

Frittage