

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60404-8-1

Deuxième édition
Second edition
2001-04

Matériaux magnétiques –

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

Magnetic materials –

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60404-8-1:2001

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- Site web de la CEI (www.iec.ch)
- Catalogue des publications de la CEI

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/catlg-f.htm) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- IEC Just Published

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/JP.htm) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- Service clients

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- IEC Web Site (www.iec.ch)
- Catalogue of IEC publications

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/catlg-e.htm) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- IEC Just Published

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/JP.htm) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- Customer Service Centre

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60404-8-1

Deuxième édition
Second edition
2001-04

Matériaux magnétiques –

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

Magnetic materials –

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

© IEC 2001 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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'éditeur.

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 the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

V

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	6
1 Domaine d'application.....	10
2 Références normatives	10
3 Types de matériaux et leurs applications.....	10
4 Classification	12
4.1 Principales propriétés magnétiques.....	12
4.2 Autres propriétés magnétiques	14
5 Composition chimique.....	14
6 Masses volumiques	14
7 Désignation	14
8 État de livraison et dimensions.....	16
9 Essais	16
9.1 Etendue des essais	16
9.2 Méthodes d'essai.....	16
10 Motifs de refus.....	16
11 Description des tableaux des propriétés normales.....	16
11.1 Alliages magnétiquement durs	16
11.1.1 Alliages aluminium-nickel-cobalt-fer-titane (AlNiCo)	16
11.1.2 Alliages cobalt-fer-chrome (CrFeCo)	18
11.1.3 Alliages fer-cobalt-vanadium-chrome (FeCoVCr)	20
11.1.4 Alliages terres rares-cobalt (RECo)	22
11.1.5 Alliages néodyme-fer-bore (REFeB)	24
11.2 Céramiques magnétiquement dures (ferrites magnétiquement durs).....	24
11.2.1 Composition chimique.....	24
11.2.2 Méthode de fabrication.....	26
11.2.3 Sous-classification	26
11.2.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques	26
11.2.5 Tolérances sur les dimensions	26
11.3 Aimants liés.....	26
11.3.1 Composition chimique.....	26
11.3.2 Fabrication	26
11.3.3 Sous-classification	28
11.3.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques	30
11.3.5 Tolérances sur les dimensions	30
12 Phénomène de désaimantation irréversible	30
13 Tableaux 8 à 21	32
Annexe A (informative) Données physiques et valeurs mécaniques de référence des aimants AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB et ferrites durs	62
Figure 1 – Courbes de désaimantation et de recul $B-H$ et $J-H$ (schématiques).....	32

CONTENTS

FOREWORD	7
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 Types of materials and their applications	11
4 Classification	13
4.1 Principal magnetic properties	13
4.2 Additional magnetic properties	15
5 Chemical composition	15
6 Densities	15
7 Designation	15
8 Mode of shipment and dimensions	17
9 Testing	17
9.1 Extent of testing	17
9.2 Testing methods	17
10 Grounds for rejection	17
11 Description of tables of standard properties	17
11.1 Magnetically hard alloys	17
11.1.1 Aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium alloys (AlNiCo)	17
11.1.2 Chromium-iron-cobalt alloys (CrFeCo)	19
11.1.3 Iron-cobalt-vanadium-chromium alloys (FeCoVCr)	21
11.1.4 Rare earth-cobalt alloys (RECo)	23
11.1.5 Neodymium-iron-boron alloys (REFeB)	25
11.2 Magnetically hard ceramics (magnetically hard ferrites)	25
11.2.1 Chemical composition	25
11.2.2 Manufacturing method	27
11.2.3 Sub-classification	27
11.2.4 Magnetic properties and densities	27
11.2.5 Dimensional tolerances	27
11.3 Bonded magnets	27
11.3.1 Chemical composition	27
11.3.2 Manufacturing	27
11.3.3 Sub-classification	29
11.3.4 Magnetic properties and densities	31
11.3.5 Dimensional tolerances	31
12 Irreversible demagnetization behaviour	31
13 Tables 8 to 21	33
Annex A (informative) Physical data and mechanical reference values of AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB and hard ferrite magnets	63
Figure 1 – <i>B-H</i> and <i>J-H</i> demagnetization and recoil curves (schematic)	33

Tableau 1 – Propriétés magnétiques – Symboles et unités.....	12
Tableau 2 – Propriétés magnétiques additionnelles – Symboles et unités.....	14
Tableau 3 – Compositions chimiques des alliages AlNiCo (wt %).....	18
Tableau 4 – Compositions chimiques des alliages CrFeCo (wt %).....	18
Tableau 5 – Compositions chimiques des alliages FeCoVCr (wt %)	20
Tableau 6 – Compositions chimiques des alliages RECo (wt %).....	22
Tableau 7 – Compositions chimiques des alliages REFeB (wt %).....	24
Tableau 8 – Classification des matériaux magnétiques durs	34
Tableau 9 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des aimants AlNiCo.....	36
Tableau 10 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des aimants CrFeCo et FeCoVCr	38
Tableau 11 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des aimants RECo	40
Tableau 12 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des aimants REFeB	42
Tableau 13 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des ferrites durs.....	44
Tableau 14 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des alliages AlNiCo isotropes à liant organique.....	46
Tableau 15 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des alliages RECo à liant organique	48
Tableau 16 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des aimants isotropes REFeB à liant organique.....	50
Tableau 17 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des ferrites dures isotropes et anisotropes à liant organique.....	52
Tableau 18 – Tolérances sur les dimensions des aimants en alliages AlNiCo moulés ou frittés (valeurs en millimètres)	54
Tableau 19 – Tolérances sur les dimensions de feuillards laminés à froid, pour des alliages FeCoVCr et CrFeCo avec une épaisseur maximale de 6 mm et une largeur maximale de 125 mm (valeurs en millimètres)	56
Tableau 20 – Tolérances sur le diamètre des fils et des barres étirés à froid pour des alliages FeCoVCr et CrFeCo (valeurs en millimètres)	58
Tableau 21 – Tolérances sur les dimensions des aimants en ferrites durs (valeurs en millimètres)	60
Tableau A.1 – Données physiques et valeurs mécaniques de référence des aimants AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB et ferrites durs	64

Table 1 – Magnetic properties – Symbols and units.....	13
Table 2 – Additional magnetic properties – Symbols and units	15
Table 3 – Chemical compositions of AlNiCo alloys (wt %)	19
Table 4 – Chemical compositions of CrFeCo alloys (wt %).....	19
Table 5 – Chemical compositions of FeCoVCr alloys (wt %).....	21
Table 6 – Chemical compositions of RECo alloys (wt %).....	23
Table 7 – Chemical compositions of REFeB alloys (wt %).....	25
Table 8 – Classification of magnetically hard materials	35
Table 9 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of AlNiCo magnets.....	37
Table 10 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of CrFeCo and FeCoVCr magnets.....	39
Table 11 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of RECo magnets	41
Table 12 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of REFeB magnets	43
Table 13 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of hard ferrites.....	45
Table 14 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of isotropic AlNiCo alloys with organic binder	47
Table 15 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of RECo alloys with organic binder.....	49
Table 16 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of isotropic REFeB alloys with organic binder.....	51
Table 17 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of isotropic and anisotropic hard ferrites with organic binder.....	53
Table 18 – Dimensional tolerances (as cast or as sintered) of magnets made from AlNiCo alloys (values in millimetres).....	55
Table 19 – Dimensional tolerances of cold rolled strips of FeCoVCr and CrFeCo alloys with a maximum thickness of 6 mm and a maximum width of 125 mm (values in millimetres)	57
Table 20 – Dimensional tolerances of the diameter of cold drawn wires and bars of FeCoVCr and CrFeCo alloys (values in millimetres).....	59
Table 21 – Dimensional tolerances on magnets made from hard ferrites (values in millimetres).....	61
Table A.1 – Physical data and mechanical reference values of AlNiCo, CrFeCo, FeCoVCr, SmCo, NdFeB and hard ferrite magnets	65

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

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

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Électrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, spécifications techniques, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1986, l'amendement 1 (1991) et l'amendement 2 (1992). Elle constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
68/230/FDIS	68/232/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 3.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

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

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1986, amendment 1 (1991) and amendment 2 (1992), and constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
68/230/FDIS	68/232/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 3.

Annex A is for information only.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2005. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60404-8-1:2001

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2005. At this date, the publication will be

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

Withdrawn
IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60404-8-1:2001

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

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

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60404 spécifie les valeurs minimales des propriétés magnétiques principales et les tolérances dimensionnelles des matériaux magnétiques durs (aimants permanents).

La présente norme donne uniquement à titre indicatif des valeurs de masse volumique des matériaux et les domaines de leur composition chimique.

NOTE Dans un but d'information et de comparaison, quelques données physiques et mécaniques typiques des matériaux magnétiques sont aussi données au tableau A.1.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60404. Pour les références datées, les amendements ultérieurs ou les révisions de ces publications ne s'appliquent pas. Toutefois, les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60404 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Pour les références non datées, la dernière édition du document normatif en référence s'applique. Les membres de l'ISO et de la CEI possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60050-121:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 121: Electromagnétisme*

CEI 60050(221):1990, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 221: Matériaux et composants magnétiques*

CEI 60404-1:2000, *Matériaux magnétiques – Partie 1: Classification*

CEI 60404-5:1993, *Matériaux magnétiques – Partie 5: Aimants permanents (magnétiques durs) – Méthodes de mesure des propriétés magnétiques*

CEI 60404-7:1982, *Matériaux magnétiques – Septième partie: Méthode de mesure du champ coercitif des matériaux magnétiques en circuit magnétique ouvert*

3 Types de matériaux et leurs applications

Les matériaux pour aimants permanents, également appelés «matériaux magnétiquement durs», sont répertoriés dans la CEI 60404-1 sous forme de classification selon les articles R (alliages magnétiquement durs), S (céramiques magnétiquement dures) et U (aimants comportant un liant).

MAGNETIC MATERIALS –

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

1 Scope

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

For information purposes only, the standard provides values for the densities of the materials and the ranges of their chemical compositions.

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

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60404. For dated references, subsequent amendments to, or revisions of, any of these publications do not apply. However, parties to agreements based on this part of IEC 60404 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. For undated references, the latest edition of the normative document referred to applies. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60050-121:1998, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 121: Electromagnetism*

IEC 60050(221):1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 221: Magnetic materials and components*

IEC 60404-1:2000, *Magnetic materials – Part 1: Classification*

IEC 60404-5:1993, *Magnetic materials – Part 5: Permanent magnet (magnetically hard) materials – Methods of measurement of magnetic properties*

IEC 60404-7:1982, *Magnetic materials – Part 7: Method of measurement of the coercivity of magnetic materials in an open magnetic circuit*

3 Types of materials and their applications

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

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

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

Des applications typiques et d'autres possibilités pour les matériaux magnétiques permanents commercialement disponibles sont décrites en détails dans les articles R, S et U de la CEI 60404-1.

4 Classification

Comparée à l'édition précédente de la CEI 60404-8-1 (1986), cette édition révisée utilise une nouvelle classification des matériaux magnétiques permanents pour applications techniques. Cette classification est donnée dans le tableau 8. Les matériaux sont regroupés selon leurs caractéristiques métallurgiques.

Les matériaux magnétiques permanents sont identifiés par les propriétés magnétiques principales données ci-dessous:

4.1 Principales propriétés magnétiques

Tableau 1 – Propriétés magnétiques – Symboles et unités

Termes de la CEI 60050(121) et de la CEI 60050(221)		Propriétés magnétiques	Symbole	Unité
–	221-04-05	Valeur maximale du produit (BH)	$(BH)_{\max}$	kJ/m^3
121-12-67	221-02-38	Rémanence	B_r	mT
121-12-69	221-02-36	Coercitivité relative à l'induction magnétique	H_{cB}	kA/m
121-12-69	221-02-36	Coercitivité relative à la polarisation magnétique	H_{cJ}	kA/m

Les valeurs minimales des propriétés magnétiques à température ambiante, mesurées après aimantation à saturation, sont données dans les tableaux 9 à 17.

Les valeurs des propriétés magnétiques spécifiées sont valables seulement pour les aimants ayant une section constante le long de l'axe d'aimantation, un volume compris entre 1 cm^3 et 200 cm^3 , et dont les dimensions relatives aux trois axes de coordonnées sont d'au moins 8 mm.

Pour les matériaux anisotropes, elles sont valables seulement selon la direction axiale préférée.

NOTE 1 Pour plus de détails sur les tailles limites des pièces mesurées, voir la CEI 60404-5.

NOTE 2 Pour des raisons liées aux méthodes de production, de plus faibles valeurs des propriétés magnétiques peuvent être obtenues si les conditions dimensionnelles mentionnées ci-dessus ne sont pas satisfaites.

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

Permanent magnetic materials are used in nearly every area of daily life. They perform coupling, modulating, or regulating functions in equipment and devices based on electromagnetic principles, for example in measuring instruments, motors, generators and loudspeakers. Magnet materials are indispensable in office equipment and computer hardware, automobiles, entertainment electronics, telecommunications, household appliances and medical instruments, as well as in mechanical engineering as holding devices, clamping plates etc.

Further possible and typical applications for the commercially available permanent magnetic materials are described in more detail in clauses R, S and U of IEC 60404-1.

4 Classification

Compared to the preceding edition of IEC 60404-8-1 (1986), this revised edition uses a new classification of permanent magnetic materials for technical applications. This classification is given in table 8. The materials are regrouped according to their metallurgical relationships.

The permanent magnetic materials are identified by the following principal magnetic properties.

4.1 Principal magnetic properties

Table 1 – Magnetic properties – Symbols and units

Term number in IEC 60050(121) and/or IEC 60050(221)	Magnetic properties	Symbol	Unit
– 221-04-05	Maximum value of (BH) product	$(BH)_{\max}$	kJ/m^3
121-12-67 221-02-38	Remanence	B_r	mT
121-12-69 221-02-36	Coercivity relating to the magnetic flux density	H_{cB}	kA/m
121-12-69 221-02-36	Coercivity relating to the magnetic polarization	H_{cJ}	kA/m

Minimum values at room temperatures of magnetic properties, determined after magnetization to saturation, are given in tables 9 to 17.

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 from 1 cm^3 to 200 cm^3 and with dimensions in three directions of the coordinate axes of at least 8 mm.

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

NOTE 1 For more details on size limits for measurements, see IEC 60404-5.

NOTE 2 For reasons connected with the manufacturing methods, smaller values of the magnetic properties may be obtained if the dimensional conditions mentioned above are not satisfied.

4.2 Autres propriétés magnétiques

Tableau 2 – Propriétés magnétiques additionnelles – Symboles et unités

Termes de la CEI 60050(121) et de la CEI 60050(221)	Propriétés magnétiques	Symbole	Unité
221-03-16	Perméabilité de recul	μ_{rec}	–
	Coefficient de température de la rémanence (il est lié au coefficient de température de la saturation magnétique $\alpha(J_s)$)	$\alpha(B_r)$	%/°C
	Coefficient de température de la coercitivité de la polarisation magnétique	$\alpha(H_{cJ})$	%/°C
121-12-51	Température de Curie	T_C	°C

Les valeurs données dans les tableaux 9 à 17 sont des valeurs typiques. Ce sont les valeurs moyennes publiées dans les ouvrages spécialisés; elles sont seulement données à titre indicatif et ne sont pas garanties. Le domaine de température pour les coefficients de température figurant dans les tableaux s'étend de 20 °C à 100 °C, mais cela n'exclut pas l'utilisation de ces matériaux en dehors de ce domaine.

L'intensité du champ magnétique nécessaire pour aimanter les matériaux magnétiquement durs jusqu'à la saturation est définie dans la CEI 60404-5 ainsi que dans la CEI 60404-7.

5 Composition chimique

Le domaine de composition des divers groupes de matériaux est donné à titre indicatif en 11.1.1.1 et 11.2.1.

6 Masses volumiques

Les valeurs de la masse volumique reportées dans les tableaux 9 à 17 sont indicatives. Elles permettent d'estimer par le calcul les masses et les volumes utilisés.

7 Désignation

Les matériaux magnétiquement durs peuvent être identifiés par des abréviations et par des symboles alphanumériques (code chiffré) (voir les tableaux 9 à 17). Les symboles chimiques qui sont éventuellement utilisés dans les abréviations indiquent les principaux constituants. Le nombre situé devant la barre oblique, dans l'abréviation, indique la valeur maximale du produit BH en kilojoules par mètre cube (kJ/m^3), et le nombre situé après la barre indique un dixième de la coercitivité H_{cJ} en kiloampères par mètre (kA/m). Les matériaux magnétiquement durs avec liant organique (voir 11.3) sont repérés par un «p» ajouté comme suffixe à l'abréviation.

EXEMPLE Pour la qualité AlNiCo 12/6 du tableau 9, l'entier 12 est obtenu à partir de la valeur minimale du produit $(BH)_{\max}$ de 11,6 kJ/m^3 , et l'entier 6 à partir du dixième de la valeur minimale de la coercitivité H_{cJ} , soit 1/10 de 55 kA/m = 5,5 kA/m en arrondissant, au-dessous ou au-dessus, à l'entier le plus proche. Si l'arrondi au-dessous conduit à l'entier nul, le nombre comprenant le premier décimal arrondi non nul est retenu.

4.2 Additional magnetic properties

Table 2 – Additional magnetic properties – Symbols and units

Term number in IEC 60050(121) or IEC 60050(221)	Magnetic properties	Symbol	Unit
221-03-16	Recoil permeability	μ_{rec}	–
	Temperature coefficient of the remanence (it corresponds to the temperature coefficient of the magnetic saturation $\alpha(J_s)$)	$\alpha(B_r)$	%/°C
	Temperature coefficient of the coercivity of magnetic polarization	$\alpha(H_{cJ})$	%/°C
121-12-51	Curie temperature	T_C	°C

The values given in tables 9 to 17 are typical values. They are mean values published in the literature and are given as an indication only and are not guaranteed. The temperature range for the temperature coefficients in the tables is generally from 20 °C to 100 °C, but this does not preclude the use of these materials outside this temperature range.

The magnetic field strength necessary for magnetizing magnetically hard materials to magnetic saturation is defined in IEC 60404-5 and IEC 60404-7.

5 Chemical composition

The composition ranges for the different material groups are given for information purposes under 11.1.1.1 and 11.2.1.

6 Densities

Density values are given in tables 9 to 17 for information purposes only. The density values can be used for mass and volume calculations.

7 Designation

Magnetically hard materials can be identified by brief designations and by alpha-numeric symbols (code numbers) (see tables 9 to 17). In so far as chemical symbols are used in the brief designation, they indicate main constituents. The number before the oblique stroke in the brief designation denotes the maximum value of the (BH) product in kilojoules per cubic metre (kJ/m^3) and the number after the oblique stroke denotes one tenth of the coercivity H_{cJ} in kiloamperes per metre (kA/m). Magnetically hard materials with a binder (mostly organic, see 11.3) are denoted by a suffixed “p” to the brief designation.

EXAMPLE For the grade AlNiCo 12/6 of table 9, the integer 12 is obtained from its minimum value $(BH)_{\text{max}}$ of 11,6 kJ/m^3 , and the integer 6 from one-tenth of its minimum value of H_{cJ} , i.e. $1/10$ 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.

Le code chiffré provient du système de classification utilisé dans la CEI 60404-1. La lettre contenue dans le code chiffré désigne le groupe du matériau magnétiquement dur. Le premier chiffre désigne le type de matériau dans le groupe respectif (voir tableau 8). Un «0» à la seconde place signifie que le matériau est magnétiquement isotrope; un «1» signifie que, du point de vue magnétique, le matériau est anisotrope. Le troisième chiffre distingue les différentes qualités.

8 Etat de livraison et dimensions

Les matériaux mentionnés dans la présente norme peuvent être livrés aimantés ou non, et peuvent être montés dans des circuits magnétiques.

Un accord sur les dimensions des aimants est nécessaire lors de la passation de la commande.

9 Essais

9.1 Etendue des essais

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

9.2 Méthodes d'essai

Le fournisseur et le client doivent convenir des méthodes d'essai.

Les valeurs magnétiques minimales des aimants de forme convenable et de dimensions appropriées doivent être déterminées conformément à la CEI 60404-5.

Si la forme ou les dimensions ne correspondent pas aux exigences de 4.1, il convient que le fournisseur et le client s'entendent sur les détails de l'essai.

10 Motifs de refus

Une qualité magnétique inférieure (les tableaux 9 à 17 donnent les valeurs minimales spécifiées de quelques propriétés magnétiques), des dimensions physiques et des tolérances dimensionnelles (voir tableaux 18 à 21) constituent des motifs de refus.

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

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

11 Description des tableaux des propriétés normales

11.1 Alliages magnétiquement durs

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

11.1.1.1 Composition chimique

Les aimants permanents à base d'aluminium-nickel-cobalt-fer-titane, désignés par le terme AlNiCo, forment un large éventail d'alliages riches en composants situés dans le domaine de compositions suivant (valeurs en pourcentage pondéral):

The code numbers are derived from the classification system used in IEC 60404-1. The letter in the code number means the class of the magnetically hard material. The first number designates the kind of material in the respective class, see table 8. 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.

8 Mode of shipment and dimensions

The materials mentioned in this specification may be delivered either magnetized or not magnetized and may be mounted in magnetic circuits.

The dimensions of the magnets have to be agreed upon when ordering.

9 Testing

9.1 Extent of testing

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

9.2 Testing methods

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

The minimum magnetic values of magnets 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 4.1, the details of the test should be agreed upon between the supplier and the purchaser.

10 Grounds for rejection

Grounds for rejection include inferior magnetic quality (tables 9 to 17 give specified minimum values of some magnetic properties), physical dimensions and dimensional tolerances (tables 18 to 21).

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.

11 Description of tables of standard properties

11.1 Magnetically hard alloys

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

11.1.1.1 Chemical composition

Permanent magnets based on aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium, referred to as AlNiCo, form a broad spectrum of component-rich alloys in the following composition ranges (values in weight percentage):

Tableau 3 – Compositions chimiques des alliages AlNiCo (wt %)

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

11.1.1.2 Méthodes de fabrication

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

Les meilleures performances des aimants AlNiCo sont atteintes par les matériaux à structure colonnaire ou monocristalline. Le champ magnétique doit être appliqué parallèlement à l'axe colonnaire durant le traitement thermique.

11.1.1.3 Sous-classification

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

où x = 1, 2,.....

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

où x = 1, 2,.....

11.1.1.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et masses volumiques sont données au tableau 9 (voir aussi 4.1 et 4.2, ainsi que l'article 6).

11.1.1.5 Tolérances sur les dimensions

Les valeurs des tolérances sur les dimensions des alliages AlNiCo frittés et moulés sont données dans le tableau 18.

11.1.2 Alliages cobalt-fer-chrome (CrFeCo)

11.1.2.1 Composition chimique

Les aimants permanents de base cobalt-fer-chrome, désignés par CrFeCo, ont des compositions situées dans le domaine suivant (valeurs en pourcentage pondéral):

Tableau 4 – Compositions chimiques des alliages CrFeCo (wt %)

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

Table 3 – Chemical compositions of AlNiCo alloys (wt %)

	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

11.1.1.2 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 wt % 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.

11.1.1.3 Sub-classification

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

where x = 1, 2,

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

where x = 1, 2,

11.1.1.4 Magnetic properties and densities

The magnetic properties and densities are given in table 9. (See also 4.1 and 4.2, and clause 6.)

11.1.1.5 Dimensional tolerances

Values of the dimensional tolerances for sintered and cast AlNiCo magnets are given in table 18.

11.1.2 Chromium-iron-cobalt alloys (CrFeCo)**11.1.2.1 Chemical composition**

Permanent magnets based on chromium-iron-cobalt alloys, referred to as CrFeCo, have compositions within the following range (values in weight percentage):

Table 4 – Chemical compositions of CrFeCo alloys (wt %)

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

11.1.2.2 Méthode de fabrication

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

11.1.2.3 Sous-classification

Alliages magnétiques isotropes (R2-0-x)

où $x = 1, 2, \dots$

Alliages magnétiques anisotropes (R2-1-x)

où $x = 1, 2, \dots$

11.1.2.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et masses volumiques des aimants CrFeCo, isotropes et anisotropes, sont données au tableau 10 (voir aussi 4.1 et 4.2, ainsi que l'article 6).

11.1.2.5 Tolérances sur les dimensions

Les valeurs des tolérances sur les dimensions des feuillards roulés à froid et des fils et barres étirés à froid sont données respectivement dans les tableaux 19 et 20. Pour les aimants frittés, les tolérances doivent faire l'objet d'un agrément entre le fournisseur et le client.

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

11.1.3.1 Composition chimique

Le domaine de composition chimique est le suivant (valeurs en pourcentage pondéral):

Tableau 5 – Compositions chimiques des alliages FeCoVCr (wt %)

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

11.1.3.2 Méthode de fabrication

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

11.1.3.3 Sous-classification

La sous-classification recommandée est basée sur la coercitivité de la polarisation magnétique H_{cJ} .

11.1.2.2 Manufacturing method

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

11.1.2.3 Sub-classification

Isotropic magnetic alloys (R2-0-x)

where $x = 1, 2, \dots$

Anisotropic magnetic alloys (R2-1-x)

where $x = 1, 2, \dots$

11.1.2.4 Magnetic properties and densities

Magnetic properties and densities of isotropic and anisotropic CrFeCo magnets are given in table 10 (see also 4.1 and 4.2 and clause 6).

11.1.2.5 Dimensional tolerances

Values of dimensional tolerances of cold rolled strips and cold drawn wires and bars are given in tables 19 and 20, respectively. For sintered magnets, the tolerances shall be agreed upon between supplier and purchaser.

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

11.1.3.1 Chemical composition

The range of chemical composition is as follows (values in weight percentage):

Table 5 – Chemical compositions of FeCoVCr alloys (wt %)

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

11.1.3.2 Manufacturing method

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

11.1.3.3 Sub-classification

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

11.1.3.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et masses volumiques sont données au tableau 10 (voir aussi 4.1 et 4.2, ainsi que l'article 6).

11.1.3.5 Tolérances sur les dimensions

Les valeurs des tolérances sur les dimensions des feuillets roulés à froid et des fils étirés à froid sont données respectivement dans les tableaux 19 et 20.

11.1.4 Alliages terres rares-cobalt (RECo)

11.1.4.1 Composition chimique

Deux types d'alliages, RECo₅ et RE₂Co₁₇, sont techniquement importants. La composition RE₂Co₁₇ est employée comme nom générique de séries d'alliages binaires et multiphasés ayant un certain nombre d'éléments de transition remplaçant du cobalt. Ces alliages ont une forte anisotropie magnétique uniaxiale et une aimantation à saturation élevée, d'où résultent des aimants à grande coercitivité H_{CJ} et à forte rémanence B_r . Leurs constituants principaux sont donnés dans le tableau suivant (valeurs en pourcentage pondéral).

Tableau 6 – Compositions chimiques des alliages RECo (wt %)

	Sm	Co	Fe	Cu	Autres éléments ex. Zr, Hf, Ti
SmCo₅	33 à 35	65 à 67	—	—	—
Sm₂Co₁₇	24 à 26	48 à 52	13 à 18	4,5 à 12	0 à 3

Le samarium (Sm) est le principal métal des terres rares (RE) dans ces alliages et il amène les meilleures propriétés magnétiques. Cependant, le cérium (Ce) ou le praséodyme (Pr) peuvent aussi être utilisés comme composant.

11.1.4.2 Méthode de fabrication

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

11.1.4.3 Sous-classification

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

où x = 1, 2, ..., 9

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

où x = 10, 11, 12, ..., 19

11.1.4.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et masses volumiques sont données au tableau 11 (voir aussi 4.1 et 4.2, ainsi que l'article 6).

11.1.4.5 Tolérances sur les dimensions

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

11.1.3.4 Magnetic properties and densities

Magnetic properties and densities are given in table 10 (see also 4.1 and 4.2 and clause 6).

11.1.3.5 Dimensional tolerances

Values of the dimensional tolerances of cold rolled strips and cold drawn wires are given in tables 19 and 20, respectively.

11.1.4 Rare earth-cobalt alloys (RECo)

11.1.4.1 Chemical composition

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

Table 6 – Chemical compositions of RECo alloys (wt %)

	Sm	Co	Fe	Cu	Other elements e.g. Zr, Hf, Ti
SmCo₅	33 to 35	65 to 67	–	–	–
Sm₂Co₁₇	24 to 26	48 to 52	13 to 18	4,5 to 12	0 to 3

Samarium (Sm) is the main RE metal in these alloys and leads to the best magnetic properties. However cerium (Ce) or praseodymium (Pr) may also be used as the RE component.

11.1.4.2 Manufacturing method

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

11.1.4.3 Sub-classification

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

where x = 1, 2, 9

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

where x = 10, 11, 12,19

11.1.4.4 Magnetic properties and densities

The magnetic properties and densities are given in table 11 (see also 4.1 and 4.2 and clause 6).

11.1.4.5 Dimensional tolerances

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

11.1.5 Alliages néodyme-fer-bore (REFeB)

11.1.5.1 Composition chimique

Les alliages à aimants REFeB ont pour composition de base $RE_2Fe_{14}B$. L'élément des terres rares est principalement le néodyme (Nd), auquel on peut partiellement substituer du dysprosium (Dy), du praséodyme (Pr) ou d'autres éléments des terres rares. Au fer on peut partiellement substituer du cobalt (Co). L'alliage $Nd_2Fe_{14}B$ a une structure cristalline tétragonale et présente à la fois une grande aimantation à saturation et une anisotropie magnétocristalline uniaxiale élevée.

Le domaine des compositions des alliages REFeB est donné par le tableau 7 suivant (valeurs en pourcentage pondéral):

Tableau 7 – Compositions chimiques des alliages REFeB (wt %)

	Nd	Co	B	Dy, Pr	Autres éléments Ex: V, Nb, Al, Ga	Fe
REFeB	28 à 35	0 à 15	1 à 2	0 à 10	0 à 1	solde

11.1.5.2 Méthode de fabrication

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

11.1.5.3 Sous-classification

Alliages anisotropes de type NdFeB (R7-1-x)

où $x = 1, 2, \dots, 9$

11.1.5.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques minimales spécifiées et les masses volumiques des matériaux anisotropes sont données au tableau 12 (voir aussi 4.1 et 4.2, ainsi que l'article 6).

11.1.5.5 Tolérances sur les dimensions

Les tolérances sur les dimensions doivent être en accord avec celles des AlNiCo frittés contenant moins de 1 % de Ti, comme spécifié au tableau 18.

11.2 Céramiques magnétiquement dures (ferrites magnétiquement dures)

11.2.1 Composition chimique

La composition chimique des ferrites magnétiquement dures peut être caractérisée par la formule $MO \cdot nFe_2O_3$ (où $M = Ba$ et Sr). Le facteur « n » peut varier de 4,5 à 6,5.

Les propriétés magnétiques peuvent être améliorées par des additions spéciales. Les ferrites magnétiquement dures ont une structure hexagonale, une anisotropie magnétocristalline uniaxiale élevée, mais une aimantation à saturation relativement faible.

11.1.5 Neodymium-iron-boron alloys (REFeB)

11.1.5.1 Chemical composition

The REFeB magnet alloys are based on the compound $\text{RE}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$. The RE element is mainly neodymium (Nd), which may be partially substituted by dysprosium (Dy), praseodymium (Pr) or other rare earth elements. Iron may be partially substituted by cobalt (Co). The $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ alloy forms a tetragonal crystal structure and shows both a high saturation magnetization and a high uniaxial magnetic crystal anisotropy.

The composition ranges of the REFeB alloys are given in table 7 (values in weight percentage).

Table 7 – Chemical compositions of REFeB alloys (wt %)

	Nd	Co	B	Dy, Pr	Other elements e.g. V, Nb, Al, Ga	Fe
REFeB	28 to 35	0 to 15	1 to 2	0 to 10	0 to 1	balance

11.1.5.2 Manufacturing methods

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

11.1.5.3 Sub-classification

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

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

11.1.5.4 Magnetic properties and densities

The specified minimum magnetic properties and density of anisotropic materials are given in table 12. (See also 4.1 and 4.2 and clause 6.)

11.1.5.5 Dimensional tolerances

Dimensional tolerances shall be in accordance with those for sintered AlNiCo magnets having less than 1 % Ti as specified in table 18.

11.2 Magnetically hard ceramics (magnetically hard ferrites)

11.2.1 Chemical composition

The chemical composition of the magnetically hard ferrites can be described by the formula $\text{MO} \cdot n\text{Fe}_2\text{O}_3$ (where M = Ba and Sr). The ratio n can vary from 4,5 to 6,5.

The magnetic properties can be improved by special additives. The magnetically hard ferrites have a hexagonal structure with a high uniaxial magnetic crystal anisotropy, but a relatively low magnetic saturation.

11.2.2 Méthode de fabrication

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

11.2.3 Sous-classification

Ferrites magnétiquement durs isotropes (S1-0-x)

où $x = 1, 2, \dots$

Ferrites magnétiquement durs anisotropes (S1-1-x)

où $x = 1, 2, \dots$

11.2.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

Les propriétés magnétiques et les masses volumiques des ferrites magnétiquement durs isotropes et anisotropes sont données au tableau 13 (voir aussi 4.1 et 4.2, ainsi que l'article 6).

11.2.5 Tolérances sur les dimensions

Les tolérances sur les dimensions des ferrites magnétiquement durs isotropes et anisotropes sont données au tableau 21.

11.3 Aimants liés

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

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

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

11.3.1 Composition chimique

Les matériaux magnétiques utilisés pour la production d'aimants permanents liés sont des poudres d'AlNiCo, SmCo_5 et $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, NdFeB et ferrites durs (voir 11.1.1.1, 11.1.4.1, 11.1.5.1 et 11.2.1). Les matériaux de matrice principaux sont des élastomères et des résines thermostables ou thermodurcissables.

11.3.2 Fabrication

Les méthodes de fabrication des aimants permanents liés, fréquemment appelés «aimants P», sont très similaires et ne dépendent pas du matériau à aimant utilisé. Les matériaux flexibles sont produits par laminage, extrusion ou calandrage, tandis que les aimants rigides sont faits par moulage à injection, compression en presse, ou extrusion.

11.2.2 Manufacturing method

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

11.2.3 Sub-classification

Isotropic magnetically hard ferrites (S1-0-x)

where $x = 1, 2, \dots$

Anisotropic magnetically hard ferrites (S1-1-x)

where $x = 1, 2, \dots$

11.2.4 Magnetic properties and densities

The magnetic properties and the density of the isotropic and anisotropic magnetically hard ferrites are given in table 13 (see also 4.1 and 4.2 and clause 6).

11.2.5 Dimensional tolerances

Values of the dimensional tolerances for isotropic and anisotropic magnetically hard ferrites are given in table 21.

11.3 Bonded magnets

Plastic bonded permanent magnets are composite materials. They consist of permanent magnet powders embedded in a plastic matrix. This binder phase determines to a large extent the mechanical properties of the composite, while the magnet powder determines its magnetic values. 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 values 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.

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

11.3.1 Chemical composition

The magnet materials for producing bonded permanent magnets are powders of AlNiCo , SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, NdFeB and hard ferrite (see 11.1.1.1, 11.1.4.1, 11.1.5.1 and 11.2.1). The main matrix materials are elastomers, thermoplastics or thermosets.

11.3.2 Manufacturing

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

Dans la technique de moulage par injection, le mélange de poudre magnétique et de liant est conduit, à froid ou à chaud, dans des mélangeurs, des mélangeurs-extrudeurs ou des malaxeurs.

Les matériaux liants employés pour le moulage par injection les plus importants sont les polyamides thermoplastiques et le polyéthylène. Le mélange composite est mis en oeuvre par des machines de moulage par injection. Des matrices à une ou plusieurs empreintes sont utilisées selon la forme de l'aimant, sa taille et le volume de sa production.

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

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

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

11.3.3 Sous-classification

Aimants AlNiCo isotropes liés

(U1-0-x)

où $x = 0, 1, 2, \dots$

Aimants RECo isotropes liés

(U2-0-x)

où

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

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

$x = [30 + n]$ pour compression en presse

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

Aimants RECo anisotropes liés

(U2-1-x)

où

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

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

$x = [30 + n]$ pour compression en presse

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

Aimants REFeB isotropes liés

(U3-0-x)

où

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

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

$x = [30 + n]$ pour compression en presse

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

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 and polyethylene. The compound mass is processed in injection moulding machines. Single or multi-cavity dies are used depending on magnet shape, size and production volume.

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

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

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

11.3.3 Sub-classification

Isotropic bonded AlNiCo magnets

(U1-0-x)

where $x = 0, 1, 2, \dots$

Isotropic bonded RECo magnets

(U2-0-x)

where

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

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

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

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

Anisotropic bonded RECo magnets

(U2-1-x)

where

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

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

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

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

Isotropic bonded REFeB magnets

(U3-0-x)

where

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

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

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

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

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

où

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

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

$x = [30 + n]$ pour compression en presse

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

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

où

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

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

$x = [30 + n]$ pour compression en presse

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

11.3.4 Propriétés magnétiques et masses volumiques

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

- AlNiCo p au tableau 14;
- RECo p au tableau 15;
- REFeB p au tableau 16;
- ferrites durs p au tableau 17.

11.3.5 Tolérances sur les dimensions

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

12 Phénomène de désaimantation irréversible

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

Pour le calcul, il est de première importance de connaître le domaine des champs démagnétisants ne produisant que des pertes réversibles. Plus précisément, on doit connaître l'intensité du champ démagnétisant causant une variation irréversible de flux (perte de flux) acceptable. Cela est expliqué en détails à la figure 1.

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

where

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

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

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

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

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

where

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

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

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

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

11.3.4 Magnetic properties and densities

Specified minimum magnetic properties and densities are given for

- AlNiCo p in table 14;
- RECo p in table 15;
- REFeB p in table 16;
- hard ferrite p in table 17.

11.3.5 Dimensional tolerances

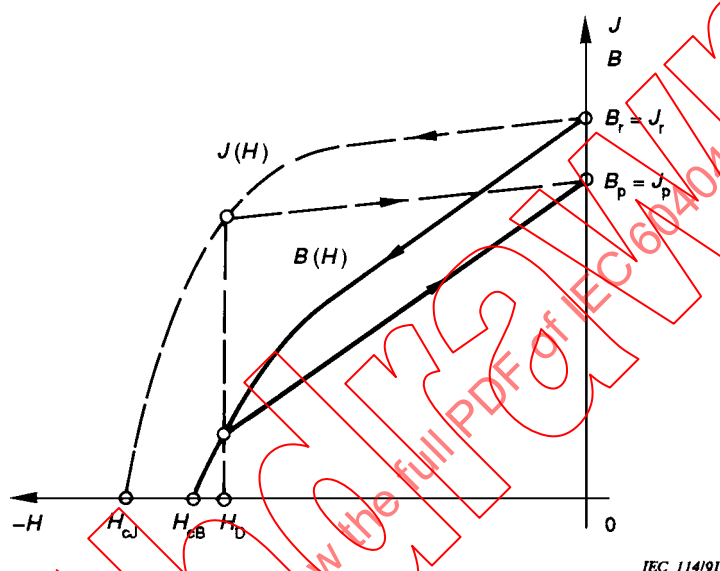
The dimensional tolerances shall be agreed upon between supplier and purchaser.

12 Irreversible demagnetization behaviour

A permanent magnet, being originally in a remanent state, will eventually lose a certain amount of flux when exposed to a demagnetizing (counteracting) magnetic field. After removing the demagnetizing field, the original magnetic flux of the remanent state may be totally or partly restored. In the former case, the magnetic change is completely reversible, while in the latter one it is partly reversible and partly irreversible. The reversible change of magnetic flux corresponding to the change of magnetic field is quantitatively described by the relative recoil permeability μ_{rec} as given in the relevant tables of the material standards. Therefore, this reversible change can be taken into consideration for the layout of permanent magnet systems.

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

La figure 1 montre la désaimantation et les courbes de recul pour un matériau magnétiquement dur dont la rémanence, après que le matériau a été totalement aimanté, est $B_r = J_r$. 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 densité de flux rémanent dans le matériau de $B_p = J_p$, qui est appelée «densité de flux rémanent de recul». Pour $B_p < B_r$, une perte irréversible relative de flux magnétique est apparue. La perte augmente avec l'accroissement de H_D . Par conséquent, la valeur de H_D qui conduit à une perte maximale pré-déterminée encore tolérable est une mesure quantitative de la résistance d'un matériau magnétique dur à un champ démagnétisant. Si, par exemple, la perte maximale tolérable est de 5 %, le champ coercitif correspondant est appelé H_{D5} . H_D peut être déterminé expérimentalement comme cela est indiqué à l'article 9 de la CEI 60404-5.



Légende

- B densité de flux magnétique ou induction magnétique
- J polarisation magnétique
- H intensité du champ magnétique
- B_r, J_r rémanence
- B_p, J_p densité du flux rémanent de recul
- H_{cB} coercitivité d'induction
- H_{cJ} coercitivité de polarisation magnétique
- H_D intensité du champ démagnétisant qui, après avoir été transitoirement appliqué à l'état rémanent, conduit à un état de densité de flux rémanent de recul

Figure 1 – Courbes de désaimantation et de recul $B-H$ et $J-H$ (schématisques)

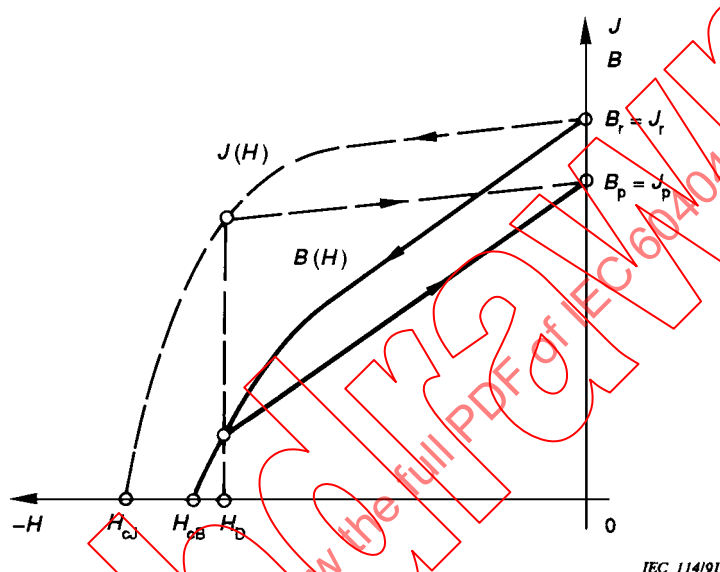
13 Tableaux 8 à 21

Le tableau 8 donne la classification des matériaux magnétiques durs (aimants permanents).

Les tableaux 9 à 17 donnent les propriétés minimales pour les divers matériaux. Les valeurs typiques de la perméabilité relative de recul, les coefficients de température, la température de Curie, les valeurs de la température en service continu et les masses volumiques sont également donnés.

Les tableaux 18 à 21 donnent les tolérances dimensionnelles des divers matériaux.

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



Key

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

Figure 1 – B - H and J - H demagnetization and recoil curves (schematic)

13 Tables 8 to 21

Table 8 gives the classification of magnetically hard materials (permanent magnets).

Tables 9 to 17 give the specified minimum properties for the various materials. Typical values of the relative recoil permeability, temperature coefficients, Curie temperature, values of the continuous operating temperature and density are also given.

Tables 18 to 21 give the dimensional tolerances of the various materials.

Tableau 8 – Classification des matériaux magnétiques durs

Groupe	Constituants principaux	Début du code chiffré (CEI 60404-8-1, présente édition)	Ancien code chiffré (CEI 60404-8-1, édition 1986)
Alliages magnétiquement durs (R)	Alliages aluminium-nickel-cobalt-fer-titane	R1	R1
	Alliages chrome-fer-cobalt	R6	R6
	Alliages fer-cobalt-vanadium-chrome	R3	R3
	Alliages terres rares-cobalt	R5	R5
	Alliages terres rares-fer-bore	R7	R7
	Alliages platine-cobalt	supprimé	R2
	Alliages cuivre-nickel-fer	supprimé	R4
Céramiques magnétiquement dures (S)	Ferrites magnétiquement durs ($MO \cdot nFe_2O_3$; M = Ba, Sr, et/ou Pb, et n = 4,5 à 6,5)	S1	S1
Matériaux magnétiques liés (U)	Aimants liés aluminium-nickel-cobalt-fer-titane	U1	R1-2 R1-3
	Aimants liés terres rares-cobalt	U2	R5-3
	Aimants liés néodyme-fer-bore	U3	–
	Ferrites durs liés	U4	S1-2 S1-3

Table 8 – Classification of magnetically hard materials

Group	Principal constituents	First part of code number (IEC 60404-8-1 present edition)	Previous code numbers (IEC 60404-8-1 1986 edition)
Magnetically hard alloys (R)	Aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium alloys	R1	R1
	Chromium-iron-cobalt alloys	R6	R6
	Iron-cobalt-vanadium-chromium alloys	R3	R3
	Rare earth-cobalt alloys	R5	R5
	Rare earth-iron-boron alloys	R7	R7
	Platinum-cobalt alloys	deleted	R2
	Copper-nickel-iron alloys	deleted	R4
Magnetically hard ceramics (S)	Magnetically hard ferrites ($MO \cdot n Fe_2O_3$; M = Ba, Sr, and/or Pb, and $n = 4,5$ to $6,5$)	S1	S1
Bonded hard magnetic materials (U)	Bonded aluminum-nickel-cobalt-iron-titanium magnets	U1	R1-2 R1-3
	Bonded rare earth-cobalt magnets	U2	R5-3
	Bonded neodymium-iron-boron magnets	U3	–
	Bonded hard ferrites	U4	S1-2 S1-3

Tableau 9 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des aimants AlNiCo

Matériau		Mode de fabrication	Propriétés magnétiques							Température en service continu °C	Masse volumique ρ kg/dm ³											
Désignation abrégée	*)		Code chiffré	Produit BH maximal (BH) _{max} kJ/m ³	Rémanence B_r mT	Coercitivité H_{CB} kA/m	Coercitivité H_{cJ} kA/m	Perméabilité relative de recul μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ **) %/°C			$\alpha(H_{cJ})$ **) %/°C	Température de Curie °C									
AlNiCo			Valeurs minimales spécifiées											Valeurs typiques								
AlNiCo 9/5	i	R1-0-1	Moulé ou fritté	9	550	44	47	7			750	6,8										
AlNiCo 12/6	i	R1-0-2		11,6	630	52	55	7,5				7,0										
AlNiCo 17/9	i	R1-0-3		17	580	80	86	7,5				7,1										
AlNiCo 37/5	a	R1-1-1	Moulé	37	1 180	48	49	4		-0,03	800	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	-0,02		à	550	7,3									
AlNiCo 36/15	a	R1-1-5		36	700	140	148	2				7,3										
AlNiCo 58/5	a	R1-1-6	Fritté	58	1 300	52	53	3				7,3										
AlNiCo 72/12	a	R1-1-7		72	1 050	118	120	2		-0,07	850	7,3										
AlNiCo 34/5	a	R1-1-10		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										

*) i = isotrope; a = anisotrope

**) pour 20 °C à 100 °C

*) i = isotrope; a = anisotrope

**) pour 20 °C à 100 °C

Table 9 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of AlNiCo magnets

Material		Manu- factur- ing	Code number	Magnetic properties						Continuous operational temperature °C	Density ρ kg/dm ³			
Brief designation	*)			Maxi- mum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Rema- nence B_r mT	Coerci- vity H_{cB} kA/m	Coerci- vity H_{cJ} kA/m	Rela- tive recoil perme- ability μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ **)			$\alpha(H_{cJ})$ **)	Curie temper- ature °C	
AlNiCo				Specified minimum values				Typical values						
AlNiCo 9/5	i	R1-0-1	Cast or sinter- ed	9	550	44	47	7			750	6,8		
AlNiCo 12/6	i	R1-0-2		11,6	630	52	55	7,5			800	550		
AlNiCo 17/9	i	R1-0-3		17	580	80	86	7,5						
AlNiCo 37/5	a	R1-1-1	37	1 180	48	49	4	-0,03						
AlNiCo 38/11	a	R1-1-2	38	800	110	112	2				-0,02			
AlNiCo 44/5	a	R1-1-3	44	1 200	52	53	3							850
AlNiCo 60/11	a	R1-1-4	60	900	110	112	2	550						
AlNiCo 36/15	a	R1-1-5	36	700	140	148	2							
AlNiCo 58/5	a	R1-1-6	58	1 300	52	53	3							
AlNiCo 72/12	a	R1-1-7	72	1 050	118	120	2	-0,07						
AlNiCo 34/5	a	R1-1-10	Sin- tered	34	1 120	47	48				4			
AlNiCo 26/6	a	R1-1-11		26	900	56	58				4,5			7,3
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						

*) i = isotropic; a = anisotropic

**) for 20 °C to 100 °C

*) i = isotropic; a = anisotropic

**) for 20 °C to 100 °C

Tableau 10 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des aimants CrFeCo et FeCoVCr

Matériau			Propriétés magnétiques								Température en service continu °C	Masse volumique ρ kg/dm ³
Désignation abrégée	*)	Code chiffré	Mode de fabrication	Produit BH maximal (BH) _{max} kJ/m ³	Rémanence B_r mT	Coercitivité H_{cB} kA/m	Coercitivité H_{cJ} kA/m	Perméabilité relative de recul μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ **) %/°C	$\alpha(H_{cJ})$ **) %/°C		
CrFeCo/FeCoCr												
				Valeurs minimales spécifiées				Valeurs typiques				
CrFeCo 12/4	i	R6-0-1	Moulé ou fritté	12	800	40	42	6	-0,05	-0,03	620 à 640	7,6
CrFeCo 10/3	i	R6-0-2		10	850	27	29	6	-0,04			7,6
CrFeCo 28/5	a	R6-1-1		28	1 000	45	46	3,5				7,6
CrFeCo 30/4	a	R6-1-2		30	1 150	40	41	3,5				7,6
CrFeCo 35/5	a	R6-1-3		35	1 050	50	51	3,5				7,6
CrFeCo 44/5	a	R6-1-4		44	1 300	44	45	2,5			7,7	
FeCoCr 11/2	a	R3-1-1	Moulé	11	800	24	24	5	-0,01	-0	720	8,1

*) i = isotrope; a = anisotrope

**) pour 20 °C à 100 °C

*) i = isotrope; a = anisotrope

**) pour 20 °C à 100 °C

Table 10 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of CrFeCo and FeCoVCr magnets

Material			Manu- factur- ing	Magnetic properties							Continuous operational temperature	Density		
Brief designation	*)	Code number		Maxi- mum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Rema- nence B _r mT	Coerci- vity H _{cB} kA/m	Coerci- vity H _{cJ} kA/m	Rela- tive recoil perme- ability μ _{rec}	α(B _r) **)	α(H _{cJ}) **)			Curie temper- ature °C	
CrFeCo/FeCoVcr														
				Specified minimum values				Typical values						
CrFeCo 12/4	i	R6-0-1	Cast or sin- tered	12	800	40	42	6	-0,05	-0,03	620 to 640 -0,04	500	7,6	
CrFeCo 10/3	i	R6-0-2		10	850	27	29	6	-0,01				720	7,6
CrFeCo 28/5	a	R6-1-1		28	1 000	45	46	3,5						7,6
CrFeCo 30/4	a	R6-1-2		30	1 150	40	41	3,5						7,6
CrFeCo 35/5	a	R6-1-3		35	1 050	50	51	3,5						7,6
CrFeCo 44/5	a	R6-1-4	Cast	44	1 300	44	45	2,5	-0,01	720	500	7,7		
FeCoVcr 11/2	a	R3-1-1		11	800	24	24	5				8,1		

*) i = isotropic; a = anisotropic

**) for 20 °C to 100 °C

*) i = isotropic; a = anisotropic

**) for 20 °C to 100 °C

Tableau 11 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des aimants RECo

Matériau			Propriétés magnétiques								Tempé- rature en service continu	Masse volu- mique ρ		
Désignation abrégée	*)	Code chiffré	Mode de fabri- cation	Produit BH maximal (BH) _{max} kJ/m ³	Réma- nence B _r mT	Coerci- tivité H _{cB} kA/m	Coerci- tivité H _{cJ} kA/m	Permé- abilité relative de recul μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ **)	$\alpha(H_{cJ})$ **)	Tempé- rature de Curie °C	°C	kg/dm ³	
RECo														
Valeurs minimales spécifiées														
RECo ₅ 140/120	a	R5-1-1	Fritté	140	860	600	1 200	1,05	-0,04	-0,3	720	250	8,3	
RECo ₅ 160/120	a	R5-1-2		160	920	660	1 200	1,05					à	
RECo ₅ 150/70	a	R5-1-3		150	900	600	700	1,05					8,5	
RECo ₅ 170/70	a	R5-1-4		170	930	600	700	1,05						
RE ₂ Co ₁₇ 140/100	a	R5-1-10		140	900	620	1 000	1,1						
RE ₂ Co ₁₇ 160/70	a	R5-1-11		160	940	600	700	1,1						
RE ₂ Co ₁₇ 180/100	a	R5-1-12		180	1 000	680	1 000	1,1						
RE ₂ Co ₁₇ 200/70	a	R5-1-13		200	1 050	600	700	1,1						
RE ₂ Co ₁₇ 220/70	a	R5-1-14		220	1 100	600	700	1,1						
RE ₂ Co ₁₇ 180/150	a	R5-1-15		180	1 000	660	1 500	1,1						
RE ₂ Co ₁₇ 200/150	a	R5-1-16		200	1 050	700	1 500	1,1						
*) a = anisotrope														
**) de 20 °C à 100 °C; R4-1-x: x = 1 à 9 RECo ₅ ; R4-1-x: x = 10 à 19 RE ₂ Co ₁₇														

Table 11 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of RECo magnets

Material			Magnetic properties							Continuous operational temperature °C	Density ρ kg/dm ³		
Brief designation	*)	Code number	Manu- factur- ing	Maxi- mum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Rema- nence B _r mT	Coerci- vity H _{cB} kA/m	Coerci- vity H _{cJ} kA/m	Relative recoil perme- ability	$\alpha(B_r)$ **) %/°C			$\alpha(H_{cJ})$ **) %/°C	Curie temper- ature °C
RECo													
Specified minimum values													
RECo ₅ 140/120	a	R5-1-1	Sin- tered	140	860	600	1 200	1,05	-0,04	-0,3	720	8,3 to 8,5	
RECo ₅ 160/120	a	R5-1-2		160	920	660	1 200	1,05					
RECo ₅ 150/70	a	R5-1-3		150	900	600	700	1,05					
RECo ₅ 170/70	a	R5-1-4		170	930	600	700	1,05					
RE ₂ Co ₁₇ 140/100	a	R5-1-10		140	900	620	1 000	1,1					
RE ₂ Co ₁₇ 160/70	a	R5-1-11		160	940	600	700	1,1					
RE ₂ Co ₁₇ 180/100	a	R5-1-12		180	1 000	680	1 000	1,1					
RE ₂ Co ₁₇ 200/70	a	R5-1-13		200	1 050	600	700	1,1		-0,03	-0,25	820	8,3 to 8,4
RE ₂ Co ₁₇ 220/70	a	R5-1-14		220	1 100	600	700	1,1					Less than 350
RE ₂ Co ₁₇ 180/150	a	R5-1-15	180	1 000	660	1 500	1,1						
RE ₂ Co ₁₇ 200/150	a	R5-1-16	200	1 050	700	1 500	1,1						

*) a = anisotropic

**)) 20 °C to 100 °C; R4-1-x: x = 1 to 9 RECo₅; R4-1-x: x = 10 to 19 RE₂Co₁₇

Tableau 12 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des aimants REFeB

Matériau			Propriétés magnétiques							Tempé- rature en service continu	Masse volu- mique ρ		
Désignation abrégée	*)	Code chiffré	Mode de fabri- cation	Produit BH maximal (BH) _{max} kJ/m ³	Réma- nence B _r mT	Coerci- tivité H _{cB} kA/m	Coerci- tivité H _{cJ} kA/m	Permé- abilité relative de recul μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ **)	$\alpha(H_{cJ})$ **)	Tempé- rature de Curie °C	°C	kg/dm ³
REFeB				Valeurs minimales spécifiées							Valeurs typiques		
REFeB 170/190	a	R7-1-1	Fritté	170	980	700	1 900	1,05	-0,1 à -0,12	-0,45 à -0,6	310	Moins de 200	7,4 à 7,5
REFeB 210/130	a	R7-1-2		210	1 060	790	1 300						
REFeB 250/120	a	R7-1-3		250	1 130	840	1 200						
REFeB 290/80	a	R7-1-4		290	1 230	700	800						
REFeB 200/190	a	R7-1-5		200	1 060	760	1 900						
REFeB 240/180	a	R7-1-6		240	1 160	840	1 800						
REFeB 280/120	a	R7-1-7		280	1 240	900	1 200						
REFeB 320/88	a	R7-1-8		320	1 310	800	880						
REFeB 210/240	a	R7-1-9		210	1 060	760	2 400						
REFeB 240/200	a	R7-1-10		240	1 160	840	2 000						
REFeB 310/130	a	R7-1-11		310	1 300	900	1 300						
REFeB 250/240	a	R7-1-12		250	1 200	830	2 400						
REFeB 260/200	a	R7-1-13		260	1 210	840	2 000						
REFeB 340/130	a	R7-1-14		340	1 330	920	1 300						
REFeB 360/90	a	R7-1-15		360	1 350	800	900						

*) a = anisotrope

**) de 20 °C à 100 °C

Table 12 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of REFeB magnets

Material			Magnetic properties							Continuous operational temperature °C	Density ρ kg/dm ³		
Brief designation	*)	Code number	Manu- factur- ing	Maxi- mum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Rema- nence B _r mT	Coerci- vity H _{cB} kA/m	Coerci- vity H _{cJ} kA/m	Relative recoil perme- ability μ _{rec}	α(B _r) **)			α(H _{cJ}) **)	Curie temper- ature °C
REFeB				Specified minimum values							Typical values		
REFeB 170/190	a	R7-1-1	Sin- tered	170	980	700	1 900	1,05	-0,1 to -0,12	-0,45 to -0,6	310	Less than 200	7,4 to 7,5
REFeB 210/130	a	R7-1-2		210	1 060	790	1 300						
REFeB 250/120	a	R7-1-3		250	1 130	840	1 200						
REFeB 290/80	a	R7-1-4		290	1 230	700	800						
REFeB 200/190	a	R7-1-5		200	1 060	760	1 900						
REFeB 240/180	a	R7-1-6		240	1 160	840	1 800						
REFeB 280/120	a	R7-1-7		280	1 240	900	1 200						
REFeB 320/88	a	R7-1-8		320	1 310	800	880						
REFeB 210/240	a	R7-1-9		210	1 060	760	2 400						
REFeB 240/200	a	R7-1-10		240	1 160	840	2 000						
REFeB 310/130	a	R7-1-11		310	1 300	900	1 300						
REFeB 250/240	a	R7-1-12		250	1 200	830	2 400						
REFeB 260/200	a	R7-1-13		260	1 210	840	2 000						
REFeB 340/130	a	R7-1-14		340	1 330	920	1 300						
REFeB 360/90	a	R7-1-15		360	1 350	800	900						

*) a = anisotropic

**) from 20 °C to 100 °C

*) a = anisotropic

**) from 20 °C to 100 °C

Tableau 13 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des ferrites durs

Matériau			Propriétés magnétiques								Tempé- rature en service continu °C	Masse volu- mique ρ kg/dm ³
Désignation abrégée	*)	Code chiffré	Mode de fabri- cation	Produit BH maximal (BH) _{max} kJ/m ³	Réma- nence B _r mT	Coerci- tivité H _{cB} kA/m	Coerci- tivité H _{cJ} kA/m	Permé- abilité relative de recul μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ **)	$\alpha(H_{cJ})$ **)		
Ferrite dur				Valeurs minimales spécifiées					Valeurs typiques			
Ferrite dur 7/21	i	S1-0-1	Fritté	6,5	190	125	210	1,2	-0,2	0,25 à 0,4	450	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				

*) i = isotrope; a = anisotrope

**) de 20 °C à 100 °C

*) i = isotrope; a = anisotrope

**) de 20 °C à 100 °C

Table 13 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of hard ferrites

Material			Manu- factu- ring	Magnetic properties							Continuous operational temperature °C	Density ρ kg/dm ³
Brief designation	*)	Code number		Maxi- mum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Rema- nence B_r mT	Coerci- vity H_{cB} kA/m	Coerci- vity H_{cJ} kA/m	Relative recoil perme- ability μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ **)	$\alpha(H_{cJ})$ **)		
Hard ferrite				Specified minimum values				Typical values				
Hard ferrite 7/21	i	S1-0-1	6,5	190	125	210	1,2	-0,2	0,25 to 0,4	250	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	

*) i = isotropic; a = anisotropic

**) for 20 °C to 100 °C

*) i = isotropic; a = anisotropic

**) for 20 °C to 100 °C

Matériau		Propriétés magnétiques							Température en service continu °C	Masse volumique ρ kg/dm ³
Désignation abrégée	*) Code chiffré	Mode de fabrication	Produit BH maximal (BH) _{max} kJ/m ³	Rémanence B_r mT	Coercitivité H_{cB} kA/m	Coercitivité H_{cJ} kA/m	Perméabilité relative de recul μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ %/°C		
Valeurs minimales spécifiées										
AINiCo 3/5p	i	U1-0-1	3,1	280	37	46	2,5	Voir tableau 9	750 à 800	Dépend du liant
AINiCo 5/6p	i	U1-0-2	5,2	320	46	56	2,5			
AINiCo 7/8p	i	U1-0-3	7,0	340	72	84	2,5			

*) i = isotrope

*) i = isotrope

Material		Manufacturing	Magnetic properties						Continuous operational temperature	Density		
Brief designation	*) Code number		Maximum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Remanence B _r mT	Coercivity H _{CB} kA/m	Coercivity H _{CJ} kA/m	Relative recoil permeability μ _{rec}	α(B _r)			α(H _{CJ})	Curie temperature
AINiCo p												
Compressed moulded			Specified minimum values									
			Typical values									
AINiCo 3/5p	i	U1-0-1	3,1	280	37	46	2,5	See table 9	See table 9	750	Depending on binder	5,3
AINiCo 5/6p	i	U1-0-2	5,2	320	46	56	2,5	See table 9	See table 9	800		5,4
AINiCo 7/8p	i	U1-0-3	7,0	340	72	84	2,5					5,5

*) i = isotropic

*) i = isotropic

Tableau 15 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des alliages RECo à liant organique

Matériau			Propriétés magnétiques								Tempé- rature en service continu	Massé volu- mique ρ		
Désignation abrégée	*)	Code chiffré 1)	Mode de fabri- cation	Produit BH maximal (BH) _{max} kJ/m ³	Réma- nence B _r mT	Coerci- tivité H _{cB} kA/m	Coerci- tivité H _{cJ} kA/m	Permé- abilité relative de recul μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ %/°C	Tempé- rature de Curie °C	Dépend du liant	kg/dm ³		
Valeurs minimales spécifiées														
Valeurs typiques														
RECo 20/60p	i	U2-0-20	Moulage par injection	20	350	200	600	1,15	Voir tableau 11				5,6	
RECo 30/80p	i	U2-0-30	Moulage par com- pression	30	430	300	800	1,15					6,8	
RECo 40/60p	a	U2-1-20	Moulage par injection	40	480	300	600	1,05				5,3		
RECo 65/70p	a	U2-1-21		65	610	360	700	1,05				5,5		
RECo 75/55p	a	U2-1-22		75	650	440	550	1,05				5,7		
RECo 110/75p	a	U2-1-30	Moulage par com- pression	110	780	480	750	1,05				6,8		
*) i = isotrope; a = anisotrope.														
1) x = [10+n] pour calendrage ou extrusion, x = [20 + n] pour moulage par injection, x = [30 + n] pour moulage par compression, n = 0, 1, 2, 9														

*) i = isotrope; a = anisotrope.

1) x = [10+n] pour calendrage ou extrusion, x = [20 + n] pour moulage par injection, x = [30 + n] pour moulage par compression, n = 0, 1, 2,, 9

Table 15 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of RECo alloys with organic binder

Material			Magnetic properties							Continuous operational temperature	Density	
Brief designation	*)	Code number 1)	Manufacturing	Specified minimum values					Typical values			
				Maximum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Remanence B _r mT	Coercivity H _{cB} kA/m	Coercivity H _{cJ} kA/m	Relative recoil permeability	α(B _r)	α(H _{cJ})	Curie temperature	
RECo 20/60p	i	U2-0-20	Injection moulding	20	350	200	600	1,15	See table 11	Depending on binder	°C	kg/dm ³
RECo 30/80p	i	U2-0-30	Compression moulding	30	430	300	800	1,15				
RECo 40/60p	a	U2-1-20	Injection	40	480	300	600	1,05				
RECo 65/70p	a	U2-1-21	moulding	65	610	360	700	1,05				
RECo 75/55p	a	U2-1-22		75	650	440	550	1,05				
RECo 110/75p	a	U2-1-30	Compression moulding	110	780	480	750	1,05				
*) i = isotropic; a = anisotropic;												
1) x = [10 + n] for calendaring or extrusion, x = [20 + n] for injection moulding, x = [30 + n] for compression moulding, n = 0, 1, 2,, 9.												

Tableau 16 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des aimants isotropes REFeB à liant organique

Matériau			Propriétés magnétiques										Masse volumique ρ
Désignation abrégée	*)	Code chiffré 1)	Mode de fabrication	Produit BH maximal $(BH)_{max}$ kJ/m ³	Rémanence B_r mT	Coercitivité H_{cB} kA/m	Coercitivité H_{cJ} kA/m	Perméabilité relative de recul μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ %/°C	$\alpha(H_{cJ})$ %/°C	Température de Curie en service continu °C	kg/dm ³	
Valeurs minimales spécifiées													Valeurs typiques
REFeB 28/56p	i	U3-0-20	Moulage par injection	28	430	270	560	1,25	Voir tableau 12	-0,4	Voir tableau 12	Dépend du liant	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	Moulage par compression	45	510	350	700	1,25	Voir tableau 12	-0,4	Voir tableau 12	Dépend du liant	5,7
REFeB 50/70p	i	U3-0-26		50	550	380	700	1,25					5,7
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	Voir tableau 12	-0,4	Voir tableau 12	Dépend du liant	5,8
REFeB 82/68p	i	U3-0-32		82	700	500	680	1,25					6,2

*) i = isotrope

1) x = [10 + n] pour calendrage ou extrusion, x = [20 + n] pour moulage par injection, x = [30 + n] pour moulage par compression, n = 0, 1, 2, ..., 9

*) i = isotrope

1) x = [10 + n] pour calendrage ou extrusion, x = [20 + n] pour moulage par injection, x = [30 + n] pour moulage par compression, n = 0, 1, 2,, 9

Table 16 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of isotropic REFeB alloys with organic binder

Material			Magnetic properties							Continuous operational temperature °C	Density ρ kg/dm ³		
Brief designation	*)	Code number 1)	Manu- facturing	Maxi- mum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Rema- nence B_r mT	Coerci- vity H_{cB} kA/m	Coer- civity H_{cJ} kA/m	Relative recoil perme- ability μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ %/°C			$\alpha(H_{cJ})$ %/°C	Curie temper- ature °C
REFeB p													
Specified minimum values													
REFeB 28/56p	i	U3-0-20	Injection moulding	28	430	270	560	1,25	See table 12	-0,4	See table 12	Depending on binder	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 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					

*) i = isotropic

1) x = [10 + n] for calendaring or extrusion, x = [20 + n] for injection moulding, x = [30 + n] for compression moulding, n = 0, 1, 2,, 9.

*) i = isotropic

1) x = [10 + n] for calendaring or extrusion, x = [20 + n] for injection moulding, x = [30 + n] for compression moulding, n = 0, 1, 2, ..., 9.

Tableau 17 – Propriétés magnétiques, températures de Curie, température d'utilisation et masses volumiques des ferrites durs isotropes et anisotropes à liant organique

Matériau			Propriétés magnétiques								Température en service continu °C	Masse volumique ρ kg/dm ³		
Désignation abrégée	*)	Code chiffré 1)	Mode de fabrication	Produit BH maximal (BH) _{max} kJ/m ³	Rémanence B _r mT	Coercitivité H _{cB} kA/m	Coercitivité H _{cJ} kA/m	Perméabilité relative de recul μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ %/°C	$\alpha(H_{cJ})$ %/°C			Température de Curie °C	
Valeurs minimales spécifiées													Valeurs typiques	
Ferrite dur 3/16p	i	U4-0-10	Extrusion	3,2	130	85	160	1,15	Voir tableau 13					3,8
Ferrite dur 1/18p	i	U4-0-20	Moulage par injection	0,8	70	50	175	1,1						2,3
Ferrite dur 3/18p	i	U4-0-21		3,2	135	85	175	1,1						3,8
Ferrite dur 4/22p	i	U4-0-22		3,5	145	110	215	1,1						3,8
Ferrite dur 7/18p	a	U4-1-10	Extrusion ou calendrage	6,5	185	110	175	1,1						3,6
Ferrite dur 9/17p	a	U4-1-11		9	215	145	170	1,1						3,6
Ferrite dur 11/24p	a	U4-1-12		11	240	170	240	1,1						3,7
Ferrite dur 15/24p	a	U4-1-13	14,5	275	190	240	1,1	3,8						
Ferrite dur 8/19p	a	U4-1-20	Moulage par injection	7,5	210	120	185	1,1						3,2
Ferrite dur 12/23p	a	U4-1-21		12	250	170	230	1,1						3,5
Ferrite dur 15/21p	a	U4-1-22		15	280	180	210	1,1						3,7

*) i = isotrope; a = anisotrope;

1) x = [10 + n] pour calendrage ou extrusion, x = [20 + n] pour moulage par injection, x = [30 + n] pour moulage par compression; n = 0, 1, 2 9

*) i = isotrope; a = anisotrope;

1) x = [10 + n] pour calendrage ou extrusion, x = [20 + n] pour moulage par injection, x = [30 + n] pour moulage par compression, n = 0, 1, 2,, 9

Table 17 – Magnetic properties, Curie temperatures, operational temperature and densities of isotropic and anisotropic hard ferrites with organic binder

Material		Manu- factur- ing	Magnetic properties							Continuous operational temperature °C	Density ρ kg/dm ³		
Brief designation	*)		Code number 1)	Maximum BH product (BH) _{max} kJ/m ³	Rema- nence B _r mT	Coerci- vity H _{cB} kA/m	Coerci- vity H _{cJ} kA/m	Relative recoil permea- bility μ_{rec}	$\alpha(B_r)$ %/°C			$\alpha(H_{cJ})$ %/°C	Curie temper- ature °C
Hard ferrite p			Specified minimum values					Typical values					
Hard ferrite 3/16p	i	U4-0-10	Extru- sion	3,2	130	85	160	1,15	See table 13	Depending on binder	3,8		
Hard ferrite 1/18p	i	U4-0-20	Injection moulded	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	Extru- sion or calende- ring	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	Injection moulded	14,5	275	190	240	1,1			3,8		
Hard ferrite 8/19p	a	U4-1-20		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			

*) i = isotropic; a = anisotropic

1) x = [10 + n] for calendring or extrusion, x = [20 + n] for injection moulding, x = [30 + n] for compression moulding, n = 0, 1, 2, ..., 9

*) i = isotropic; a = anisotropic

1) x = [10 + n] for calendering or extrusion, x = [20 + n] for injection moulding, x = [30 + n] for compression moulding, n = 0, 1, 2, ..., 9

Tableau 18 – Tolérances sur les dimensions des aimants en alliages AlNiCo moulés ou frittés (valeurs en millimètres)

Valeur nominale		Alliages frittés avec $\leq 1\%$ Ti		Alliages frittés avec $> 1\%$ Ti		Alliages moulés	
Plus de	Jusqu'à	Perpendiculaire- ment à la direction de compactage $\pm$	Dans la direction de compactage $\pm$	Perpendiculaire- ment à la direction de compactage $\pm$	Dans la direction de compactage $\pm$	Moulage au sable $\pm$	Moulage en coquille $\pm$
4	4	0,15	0,20	0,20	0,25	0,40	0,25
6	6	0,20	0,25	0,25	0,30	0,40	0,25
8	8	0,20	0,25	0,25	0,30	0,40	0,25
	10	0,20	0,30	0,30	0,35	0,45	0,25
10	13	0,25	0,30	0,30	0,35	0,50	0,30
13	16	0,25	0,35	0,35	0,45	0,50	0,30
16	20	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55	0,40
20	25	0,30	0,40	0,45	0,55	0,60	0,50
25	30	0,35	0,45	0,50	0,60	0,65	0,50
30	35	0,40	0,50	0,55	0,70	0,70	0,60
35	40	0,45	0,55	0,65	0,75	0,75	0,60
40	45	0,50	0,60	0,70	0,85	0,80	0,70
45	50	0,50	0,65	0,75	0,90	0,80	0,70
50	55	0,55	0,70	0,80	1,00	1,00	0,80
55	60	0,60	0,80	0,90	1,10	1,00	0,80
60	70	–	–	–	–	1,00	0,80
70	80	–	–	–	–	1,00	0,80
80	90	–	–	–	–	1,10	0,80
90	100	–	–	–	–	1,20	0,80