

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60404-1

Deuxième édition
Second edition
2000-08

Matériaux magnétiques –

**Partie 1:
Classification**

Magnetic materials –

**Part 1:
Classification**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60404-1:2000

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications 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.

Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60404-1

Deuxième édition
Second edition
2000-08

Matériaux magnétiques –

**Partie 1:
Classification**

Magnetic materials –

**Part 1:
Classification**

© IEC 2000 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 Varembé 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 **XA**

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	8
Articles	
1 Généralités	10
1.1 Domaine d'application et objet	10
1.2 Références normatives	10
1.3 Définitions	12
2 Matériaux magnétiques doux (coercitivité ≤ 1 kA/m)	14
2.1 Classe A – Fers	14
2.1.1 Généralités	14
2.1.2 Caractéristiques physiques	14
2.1.3 Applications principales	16
2.2 Classe B – Aciers doux à faible teneur en carbone	16
2.2.1 Classe B.1 – Produits massifs	16
2.2.2 Classe B.2 – Produits plats	18
2.3 Classe C – Aciers au silicium	22
2.3.1 Classe C.1 – Produits massifs	22
2.3.2 Classe C.2 – Produits plats	24
2.4 Classe D – Autres types d'aciers	36
2.4.1 Classe D.1 – Produits massifs	36
2.4.2 Classe D.2 – Produits plats	42
2.4.3 Classe D.3 – Aciers inoxydables	44
2.5 Classe E – Alliages fer-nickel	48
2.5.1 Classe E.1 – Teneur en nickel comprise entre 72 % et 83 %	48
2.5.2 Classe E.2 – Teneur en nickel comprise entre 54 % et 68 %	52
2.5.3 Classe E.3 – Teneur en nickel comprise entre 45 % et 50 %	54
2.5.4 Classe E.4 – Teneur en nickel comprise entre 35 % et 40 %	58
2.5.5 Classe E.5 – Teneur en nickel comprise entre 29 % et 33 %	60
2.6 Classe F – Alliages fer-cobalt	62
2.6.1 Classe F.1 – Teneur en cobalt comprise entre 47 % et 50 %	62
2.6.2 Classe F.2 – Teneur en cobalt de 35 %	66
2.6.3 Classe F.3 – Teneur en cobalt entre 23 % et 27 %	68
2.7 Classe G – Autres alliages	70
2.7.1 Classe G.1 – Alliages fer-aluminium	70
2.7.2 Classe G.2 – Alliages fer-aluminium-silicium	72
2.8 Classe H – Matériaux magnétiques doux obtenus par les techniques de la métallurgie des poudres	74
2.8.1 Classe H.1 – Ferrites doux	74
2.8.2 Classe H.2 – Matériaux magnétiques doux frittés	78
2.8.3 Classe H.3 – Poudres composites	80
2.9 Classe I – Matériaux magnétiques doux amorphes	82
2.9.1 Classe I.1 – Alliages à base fer	82
2.9.2 Classe I.2 – Alliages à base cobalt	84
2.9.3 Classe I.3 – Alliages à base nickel	88

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
Clause	
1 General.....	11
1.1 Scope and object	11
1.2 Normative references	11
1.3 Definitions	13
2 Magnetically soft materials (coercivity ≤ 1 kA/m).....	15
2.1 Class A – Irons	15
2.1.1 General.....	15
2.1.2 Physical characteristics	15
2.1.3 Main applications	17
2.2 Class B – Low carbon mild steels	17
2.2.1 Class B.1 – Bulk material	17
2.2.2 Class B.2 – Flat material	19
2.3 Class C – Silicon steels.....	23
2.3.1 Class C.1 – Bulk material.....	23
2.3.2 Class C.2 – Flat material	25
2.4 Class D – Other steels	37
2.4.1 Class D.1 – Bulk material.....	37
2.4.2 Class D.2 – Flat material.....	43
2.4.3 Class D.3 – Stainless steels.....	45
2.5 Class E – Nickel-iron alloys.....	49
2.5.1 Class E.1 – Nickel content 72 % to 83 %	49
2.5.2 Class E.2 – Nickel content 54 % to 68 %	53
2.5.3 Class E.3 – Nickel content 45 % to 50 %	55
2.5.4 Class E.4 – Nickel content 35 % to 40 %	59
2.5.5 Class E.5 – Nickel content 29 % to 33 %	61
2.6 Class F – Iron-cobalt alloys	63
2.6.1 Class F.1 – Cobalt content 47 % to 50 %	63
2.6.2 Class F.2 – Cobalt content 35 %.....	67
2.6.3 Class F.3 – Cobalt content 23 % to 27 %	69
2.7 Class G – Other alloys	71
2.7.1 Class G.1 – Aluminium-iron alloys	71
2.7.2 Class G.2 – Aluminium-silicon-iron alloys	73
2.8 Class H – Magnetically soft materials made by powder metallurgical techniques	75
2.8.1 Class H.1 – Soft ferrites	75
2.8.2 Class H.2 – Magnetically soft sintered materials	79
2.8.3 Class H.3 – Powder composites	81
2.9 Class I – Amorphous soft magnetic materials	83
2.9.1 Class I.1 – Iron-based alloys	83
2.9.2 Class I.2 – Cobalt-based alloys	85
2.9.3 Class I.3 – Nickel-based alloys.....	89

Articles	Pages
3 Matériaux magnétiques durs (coercitivité >1 kA/m).....	88
3.1 Classe Q – Alliages magnétostrictifs – Alliages fer-terres rares (classe Q.1).....	88
3.1.1 Généralités	88
3.1.2 Caractéristiques physiques.....	90
3.1.3 Applications principales.....	92
3.2 Classe R – Alliages magnétiques durs.....	92
3.2.1 Classe R.1 – Alliages aluminium-nickel-cobalt-fer-titane	92
3.2.2 Classe R.3 – Alliages fer-cobalt-vanadium-chrome	94
3.2.3 Classe R.5 – Alliages de terres rares-cobalt (RE-Co).....	96
3.2.4 Classe R.6 – Alliages chrome-fer-cobalt	98
3.2.5 Classe R.7 – Alliages de terres rares-fer-bore	100
3.3 Classe S – Céramiques magnétiques dures – Ferrites durs (Classe S.1).....	102
3.3.1 Généralités	102
3.3.2 Caractéristiques physiques.....	104
3.3.3 Applications principales.....	104
3.4 Classe T – Autres matériaux magnétiques durs – Aciers martensitiques (Classe T.1).....	104
3.4.1 Généralités	104
3.4.2 Caractéristiques physiques.....	106
3.4.3 Applications principales.....	106
3.5 Classe U – Matériaux magnétiques durs agglomérés.....	106
3.5.1 Classe U.1 – Aimants agglomérés aluminium-nickel-cobalt-fer-titane	108
3.5.2 Classe U.2 – Aimants agglomérés terres rares-cobalt.....	108
3.5.3 Classe U.3 – Aimants agglomérés néodyme-fer-bore.....	110
3.5.4 Classe U.4 – Ferrites durs agglomérés	112
Tableau 1 – Gammes de composition chimique	14
Tableau 2 – Gammes des valeurs spécifiées des caractéristiques magnétiques.....	16
Tableau 3 – Gammes des valeurs types des caractéristiques mécaniques et magnétiques....	18
Tableau 4 – Gammes des valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques.....	20
Tableau 5 – Gammes des valeurs spécifiées des caractéristiques magnétiques et électriques.....	22
Tableau 6 – Gammes des valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques.....	26
Tableau 7 – Gammes des valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques maximales	28
Tableau 8 – Gammes des valeurs types des pertes totales spécifiques maximales.....	30
Tableau 9 – Valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques maximales	32
Tableau 10 – Valeurs types des caractéristiques mécaniques et magnétiques pour l'épaisseur de 0,50 mm.....	34
Tableau 11 – Valeurs types des caractéristiques magnétiques	36
Tableau 12 – Gammes types des caractéristiques mécaniques et magnétiques.....	38
Tableau 13 – Gammes types des caractéristiques mécaniques	40
Tableau 14 – Gammes des valeurs spécifiées des caractéristiques mécaniques et magnétiques des produits laminés à chaud.....	44
Tableau 15 – Gammes des valeurs spécifiées des caractéristiques mécaniques et magnétiques des produits laminés à froid	44
Tableau 16 – Gammes de la composition chimique.....	46

Clause	Page
3 Magnetically hard materials (coercivity >1 kA/m)	89
3.1 Class Q – Magnetostrictive alloys – Rare earth iron alloys (Class Q.1).....	89
3.1.1 General.....	89
3.1.2 Physical characteristics	91
3.1.3 Main applications	93
3.2 Class R – Magnetically hard alloys	93
3.2.1 Class R.1 – Alloys of aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium.....	93
3.2.2 Class R.3 – Iron-cobalt-vanadium-chromium alloys.....	95
3.2.3 Class R.5 – Rare earth cobalt (RE-Co) alloys	97
3.2.4 Class R.6 – Chromium-iron-cobalt alloys	99
3.2.5 Class R.7 – Rare earth iron boron alloys.....	101
3.3 Class S – Magnetically hard ceramics – Hard ferrites (Class S.1)	103
3.3.1 General.....	103
3.3.2 Physical characteristics	105
3.3.3 Main applications	105
3.4 Class T – Other magnetically hard materials – Martensitic steels (Class T.1)	105
3.4.1 General.....	105
3.4.2 Physical characteristics	107
3.4.3 Main applications	107
3.5 Class U – Bonded magnetically hard materials	107
3.5.1 Class U.1 – Bonded aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium magnets	109
3.5.2 Class U.2 – Bonded rare earth cobalt magnets	109
3.5.3 Class U.3 – Bonded neodymium-iron-boron magnets	111
3.5.4 Class U.4 – Bonded hard ferrites.....	113
Table 1 – Ranges of chemical composition.....	15
Table 2 – Ranges of specified values for magnetic properties	17
Table 3 – Ranges of typical values of magnetic and mechanical properties	19
Table 4 – Ranges of specified values of maximum specific total loss	21
Table 5 – Ranges of specified values for magnetic and electric properties.....	23
Table 6 – Ranges of specified values of maximum specific total loss	27
Table 7 – Ranges of specified values of maximum specific total loss	29
Table 8 – Ranges of typical values of maximum specific loss	31
Table 9 – Specified values of maximum specific total loss.....	33
Table 10 – Typical values of mechanical and magnetic properties for the thickness of 0,50 mm.....	35
Table 11 – Typical values of magnetic properties	37
Table 12 – Typical ranges of magnetic and mechanical properties	39
Table 13 – Typical ranges of mechanical properties	41
Table 14 – Ranges of specified values of mechanical and magnetic characteristics of hot-rolled products.....	45
Table 15 – Ranges of specified values of mechanical and magnetic characteristics of cold-rolled products	45
Table 16 – Ranges of chemical composition	47

Tableau 17 – Caractéristiques magnétiques types des matériaux à l'état fini	48
Tableau 18 – Caractéristiques magnétiques spécifiées des matériaux à cycle d'hystérésis rond	50
Tableau 19 – Caractéristiques magnétiques types des matériaux à cycle d'hystérésis plat.....	50
Tableau 20 – Caractéristiques magnétiques types des matériaux à cycle d'hystérésis rectangulaire	52
Tableau 21 – Caractéristiques magnétiques types des matériaux à cycle d'hystérésis rond ...	54
Tableau 22 – Caractéristiques magnétiques types des matériaux à cycle d'hystérésis plat.....	54
Tableau 23 – Caractéristiques magnétiques spécifiées du matériau à cycle d'hystérésis rond.....	56
Tableau 24 – Caractéristiques magnétiques types des matériaux à cycle d'hystérésis plat.....	58
Tableau 25 – Caractéristiques magnétiques types des matériaux à cycle d'hystérésis rectangulaire	58
Tableau 26 – Caractéristiques magnétiques spécifiées à l'état fini	60
Tableau 27 – Caractéristiques magnétiques typiques	62
Tableau 28 – Gammes des caractéristiques magnétiques spécifiées des matériaux à cycle d'hystérésis rond.....	64
Tableau 29 – Caractéristiques magnétiques types des matériaux à cycle d'hystérésis rectangulaire	66
Tableau 30 – Caractéristiques magnétiques spécifiées	68
Tableau 31 – Caractéristiques magnétiques spécifiées	70
Tableau 32 – Caractéristiques types des ferrites Mn-Zn.....	76
Tableau 33 – Caractéristiques types des ferrites Ni-Zn	76
Tableau 34 – Gammes des caractéristiques spécifiées	78
Tableau 35 – Caractéristiques physiques et magnétiques types	80
Tableau 36 – Caractéristiques physiques et magnétiques types	82
Tableau 37 – Caractéristiques physiques et magnétiques types	84
Tableau 38 – Caractéristiques physiques types.....	90
Tableau 39 – Gammes des caractéristiques magnétiques spécifiées.....	94
Tableau 40 – Valeurs spécifiées des caractéristiques magnétiques.....	96
Tableau 41 – Gammes des caractéristiques magnétiques et de la masse volumique des matériaux frittés.....	98
Tableau 42 – Gammes des caractéristiques magnétiques spécifiées.....	100
Tableau 43 – Gammes des caractéristiques magnétiques spécifiées et de la masse volumique des alliages anisotropes RE-FeB	102
Tableau 44 – Gammes des caractéristiques magnétiques spécifiées.....	104
Tableau 45 – Caractéristiques magnétiques types	106
Tableau 46 – Valeurs spécifiées des caractéristiques magnétiques.....	108
Tableau 47 – Valeurs spécifiées des caractéristiques magnétiques.....	110
Tableau 48 – Gammes de caractéristiques physiques et magnétiques types	112
Tableau 49 – Gammes des caractéristiques magnétiques spécifiées.....	114

Table 17 – Typical magnetic properties of materials in the fully processed state	49
Table 18 – Specified magnetic properties of material with a round hysteresis loop.....	51
Table 19 – Typical magnetic properties of material with a flat hysteresis loop	51
Table 20 – Typical magnetic properties of material with a rectangular hysteresis loop	53
Table 21 – Typical magnetic properties of material with a round hysteresis loop	55
Table 22 – Typical magnetic properties of material with a flat hysteresis loop	55
Table 23 – Specified magnetic properties of material with a round hysteresis loop.....	57
Table 24 – Typical magnetic properties of material with a flat hysteresis loop	59
Table 25 – Typical magnetic properties of material with a rectangular hysteresis loop	59
Table 26 – Specified magnetic properties of materials in the fully processed state.....	61
Table 27 – Typical magnetic properties	63
Table 28 – Ranges of specified magnetic properties of material with a round hysteresis loop.....	65
Table 29 – Typical magnetic properties of material with a rectangular hysteresis loop	67
Table 30 – Specified magnetic properties	69
Table 31 – Specified magnetic properties	71
Table 32 – Typical properties for Mn-Zn ferrites	77
Table 33 – Typical properties for Ni-Zn ferrites	77
Table 34 – Ranges of specified properties	79
Table 35 – Typical physical and magnetic properties.....	81
Table 36 – Typical physical and magnetic properties.....	83
Table 37 – Typical physical and magnetic properties.....	85
Table 38 – Typical physical properties	91
Table 39 – Ranges of specified magnetic properties	95
Table 40 – Specified values of magnetic properties.....	97
Table 41 – Ranges of specified magnetic properties and density of sintered material	99
Table 42 – Ranges of specified magnetic properties	101
Table 43 – Ranges of specified magnetic properties and density for anisotropic RE-FeB alloys.....	103
Table 44 – Ranges of specified values of magnetic properties.....	105
Table 45 – Typical magnetic properties.....	107
Table 46 – Specified values of magnetic properties.....	109
Table 47 – Specified values of magnetic properties.....	111
Table 48 – Ranges of typical physical and magnetic properties	113
Table 49 – Ranges of specified magnetic properties	115

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 1: Classification

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

Cette édition annule et remplace la première édition parue en 1979, dont elle constitue une révision technique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
68/214/FDIS	68/216/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.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant 2009. A cette date, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –**Part 1: Classification****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 60404-1 has been prepared by IEC technical committee 68: Magnetic alloys and steels.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1979 and constitutes a technical revision.

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

FDIS	Report on voting
68/214/FDIS	68/216/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.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until 2009. At this date, the publication will be

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

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 1: Classification

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

La présente norme a pour objet la classification des matériaux magnétiques disponibles commercialement.

Le terme «matériaux magnétiques» décrit les substances dont l'application exige l'existence de caractéristiques ferromagnétiques ou ferrimagnétiques.

Dans la présente norme, la classification des matériaux magnétiques est basée sur l'existence généralement reconnue de deux groupes principaux de produits:

- les matériaux magnétiques doux (coercitivité $\leq 1\,000$ A/m);
- les matériaux magnétiques durs (coercitivité $> 1\,000$ A/m).

A l'intérieur de ces groupes principaux, la classification reconnaît lorsque cela est approprié les caractéristiques suivantes:

- l'élément principal d'alliage et l'état métallurgique et les caractéristiques physiques du matériau;
- lorsque cela est possible et réalisable pratiquement, la relation entre ces caractéristiques est identifiée.

Une classification selon les domaines spécifiques d'application ne peut être appliquée à tous les matériaux, car différents matériaux peuvent bien souvent être utilisés pour la même application en fonction des caractéristiques requises.

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 la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

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

CEI 60050(151):1978, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

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

CEI 60401:1993, *Matériaux ferrites – Guide relatif au format des données figurant dans les catalogues des fabricants de noyaux pour transformateurs et bobines d'inductance*

MAGNETIC MATERIALS –

Part 1: Classification

1 General

1.1 Scope and object

This standard is intended to classify commercially available magnetic materials.

The term "magnetic materials" denotes substances where the application requires the existence of ferromagnetic or ferrimagnetic properties.

In this standard, the classification of magnetic materials is based upon the generally recognized existence of two main groups of products:

- soft magnetic materials (coercivity $\leq 1\,000$ A/m);
- hard magnetic materials (coercivity $> 1\,000$ A/m).

Within these main groups, the classification when appropriate recognizes the following characteristics:

- the main alloying element and the metallurgical state and physical properties of the material;
- when possible and convenient, the relationship between these characteristics is identified.

A classification by specific areas of application cannot be applied to all materials because different materials can very often be used for the same application depending on the characteristics required.

1.2 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(151):1978, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 151: Electrical and magnetic devices*

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

IEC 60401:1993, *Ferrite materials – Guide on the format of data appearing in manufacturers' catalogues of transformer and inductor cores*

CEI 60404 (toutes les parties), *Matériaux magnétiques*

CEI 60404-2:1996, *Matériaux magnétiques – Partie 2: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des tôles et bandes magnétiques au moyen d'un cadre Eptsein*

CEI 60404-3:1992, *Matériaux magnétiques – Partie 3: Méthodes de mesure des caractéristiques magnétiques des tôles et feuillards magnétiques à l'aide de l'essai sur tôle unique*

CEI 60404-4:1995, *Matériaux magnétiques – Partie 4: Méthodes de mesure en courant continu des propriétés magnétiques du fer et de l'acier*

CEI 60404-6:1986, *Matériaux magnétiques – Sixième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des alliages magnétiques doux fer-nickel isotropes, types E1, E3 et E4*

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

CEI 60404-8-1, *Matériaux magnétiques – Huitième partie: Spécifications pour matériaux particuliers – Section un: Spécifications normales des matériaux magnétiquement durs*

CEI 60404-8-2:1998, *Matériaux magnétiques – Partie 8-2: Spécifications pour matériaux particuliers – Tôles magnétiques en acier allié, laminées à froid et livrées à l'état semi-fini*

CEI 60404-8-3:1998, *Matériaux magnétiques – Partie 8-3: Spécifications pour matériaux particuliers – Tôles magnétiques en acier non allié, laminées à froid et livrées à l'état semi-fini*

CEI 60404-8-4:1998, *Matériaux magnétiques – Partie 8-4: Spécifications pour matériaux particuliers – Tôles magnétiques en acier à grains non orientés, laminées à froid et livrées à l'état fini*

CEI 60404-8-5:1989, *Matériaux magnétiques – Huitième partie: Spécifications pour matériaux particuliers – Section 5: Spécification des tôles en acier à caractéristiques mécaniques et perméabilité magnétique garanties*

CEI 60404-8-6:1999, *Matériaux magnétiques – Partie 8-6: Spécifications pour matériaux particuliers – Matériaux métalliques magnétiquement doux*

CEI 60404-8-7:1998, *Matériaux magnétiques – Partie 8-7: Spécifications pour matériaux particuliers – Tôles magnétiques en acier à grains orientés, laminées à froid et livrées à l'état fini*

CEI 60404-8-8:1991, *Matériaux magnétiques – Partie 8: Spécifications pour matériaux particuliers – Section 8: Spécification des tôles magnétiques extra-minces en acier pour utilisation à moyennes fréquences*

CEI 60404-8-9:1994, *Matériaux magnétiques – Partie 8: Spécifications pour matériaux particuliers – Section 9: Spécification des matériaux magnétiques doux frittés*

CEI 60404-8-10:1994, *Matériaux magnétiques – Partie 8: Spécifications pour matériaux particuliers – Section 10: Spécification des matériaux magnétiques (fer et acier) pour relais*

CEI 60404-10:1988, *Matériaux magnétiques – Dixième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques à fréquences moyennes des tôles et feuillards magnétiques en acier*

ISO 4948-1:1982, *Aciers – Classification – Partie 1: Classification des aciers en aciers alliés et en aciers non alliés basée sur la composition chimique*

1.3 Définitions

Les définitions relatives aux différents termes utilisés dans la présente partie de la CEI 60404 sont définies dans la CEI 60050(121), la CEI 60050(151), la CEI 60050(221) et dans les normes de produits de la série de la 60404-8.

IEC 60404 (all parts), *Magnetic materials*

IEC 60404-2:1996, *Magnetic materials – Part 2: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel sheet and strip by means of an Epstein frame*

IEC 60404-3:1992, *Magnetic materials – Part 3: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetic sheet and strip by means of a single sheet tester*

IEC 60404-4:1995, *Magnetic materials – Part 4: Methods of measurement of d.c. magnetic properties of iron and steel*

IEC 60404-6:1986, *Magnetic materials – Part 6: Methods of measurement of the magnetic properties of isotropic nickel-iron soft magnetic alloys, types E1, E3 and E4*

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

IEC 60404-8-1, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section one: Standard specifications for magnetically hard materials*

IEC 60404-8-2:1998, *Magnetic materials – Part 8-2: Specifications for individual materials – Cold-rolled electrical alloyed steel sheet and strip delivered in the semi-processed state*

IEC 60404-8-3:1998, *Magnetic materials – Part 8-3: Specifications for individual materials – Cold-rolled electrical non-alloyed steel sheet and strip delivered in the semi-processed state*

IEC 60404-8-4:1998, *Magnetic materials – Part 8-4: Specifications for individual materials – Cold-rolled non-oriented electrical steel sheet and strip delivered in the fully processed state*

IEC 60404-8-5:1989, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section five: Specification for steel sheet and strip with specified mechanical properties and magnetic permeability*

IEC 60404-8-6:1999, *Magnetic materials – Part 8-6: Specifications for individual materials – Soft magnetic metallic materials*

IEC 60404-8-7:1998, *Magnetic materials – Part 8-7: Specifications for individual materials – Cold-rolled grain-oriented electrical steel sheet and strip delivered in the fully processed state*

IEC 60404-8-8:1991, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section 8: Specification for thin magnetic steel strip for use at medium frequencies*

IEC 60404-8-9:1994, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section 9: Standard specifications for sintered soft magnetic materials*

IEC 60404-8-10:1994, *Magnetic materials – Part 8: Specifications for individual materials – Section 10: Specification for magnetic materials (iron and steel) for use in relays*

IEC 60404-10:1988, *Magnetic materials – Part 10: Methods of measurement of magnetic properties of magnetic steel sheet and strip at medium frequencies*

ISO 4948-1:1982, *Steels – Classification – Classification of steels into unalloyed and alloy steels based on chemical composition*

1.3 Definitions

The definitions relating to the various terms used in this part of IEC 60404 are defined in IEC 60050(121), IEC 60050(151), IEC 60050(221) and in the product standards of the IEC 60404-8 series.

2 Matériaux magnétiques doux (coercitivité ≤ 1 kA/m)

2.1 Classe A – Fers

2.1.1 Généralités

Ces matériaux sont couverts par les CEI 60404-8-6 et la CEI 60404-8-10.

2.1.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer et ils sont souvent appelés «fer commercialement pur» ou «fer doux magnétique». Les éléments qui ont un effet défavorable sur la rémanence magnétique, la coercitivité, la polarisation de saturation et la stabilité des propriétés magnétiques sont maintenus à un niveau permettant d'obtenir les caractéristiques requises pour l'utilisation envisagée. Les teneurs en éléments les plus importants, autres que le fer, quand ils sont présents dans ces matériaux, se situent de manière caractéristique dans les gammes de valeurs du tableau 1.

Tableau 1 – Gammes de composition chimique

C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Ti %	V %
Jusqu'à 0,03	Jusqu'à 0,1	0,03 à 0,2	Jusqu'à 0,015*	Jusqu'à 0,03*	Jusqu'à 0,08	Jusqu'à 0,1	Jusqu'à 0,1
* Pour une meilleure usinabilité, les limites supérieures de P et de S peuvent dépasser les valeurs indiquées dans ce tableau.							

2.1.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur les valeurs de coercitivité.

2.1.1.3 Modes de présentation disponibles

Ces matériaux sont disponibles sous des formes très variées. Ils peuvent être livrés sous forme de brames, billettes, lingots ou pièces forgées; barres laminées à chaud de section rectangulaire ou carrée; fils machine de section circulaire, hexagonale ou octogonale; barres et fils après laminage ou étirage à froid et tôles ou bandes laminées à chaud ou à froid.

2.1.2 Caractéristiques physiques

Outre les valeurs de coercitivité, une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

- magnétiques: polarisation magnétique de saturation, polarisation magnétique pour diverses valeurs d'intensité du champ magnétique (à partir de laquelle peut être dérivée la perméabilité), stabilité des caractéristiques dans le temps;
- mécaniques: dureté, aptitude au poinçonnage, usinabilité, aptitude à l'emboutissage, résistance à la traction;
- état métallurgique: formé à chaud ou à froid, forgé, embouti, à l'état fini, c'est-à-dire ayant subi un recuit final.

NOTE Pour les matériaux non livrés à l'état fini, la sous-classification est basée sur la coercitivité mesurée après le traitement thermique effectué conformément aux exigences de la norme de produit ou aux recommandations du producteur.

2 Magnetically soft materials (coercivity ≤ 1 kA/m)

2.1 Class A – Irons

2.1.1 General

These materials are covered by IEC 60404-8-6 and IEC 60404-8-10.

2.1.1.1 Chemical composition

The basic constituent of these materials is iron, and they are often referred to as "commercially pure" or "magnetically soft" irons. Elements that adversely affect the remanence, coercivity, saturation, magnetic polarization and stability of the magnetic properties are controlled to produce the required magnetic properties for the proposed application. The amounts of the most significant elements, other than iron, when they are present in these materials are characteristically within the ranges of table 1.

Table 1 – Ranges of chemical composition

C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	V
%	%	%	%	%	%	%	%
Up to 0,03	Up to 0,1	0,03 to 0,2	Up to 0,015*	Up to 0,03*	Up to 0,08	Up to 0,1	Up to 0,1
* For improved free machining capability, the upper limits for P and S may be higher than indicated in the table.							

2.1.1.2 Basis of subclassification

The recommended subclassification is based on coercivity values.

2.1.1.3 Available forms

These materials are available in a wide variety of forms. They may be supplied as slabs, billets, ingots or forgings; as hot-rolled bar in rectangular and square cross-sections; as hot-rolled wire rod in round, hexagonal and octagonal cross-sections; in cold-rolled and drawn forms as bar and wire; as hot- or cold-rolled sheet and strip.

2.1.2 Physical characteristics

In addition to the values of coercivity, a more complete definition of these materials can be based on the following characteristics:

- magnetic: saturation magnetic polarization, magnetic polarization for various field strengths (from which permeability can be derived), stability of characteristics with time;
- mechanical: hardness, suitability for punching operations, free machining capability, deep drawing properties, tensile strength;
- metallurgical state: hot- or cold-worked, forged, deep drawn, fully processed state, i.e. finally annealed.

NOTE For material not delivered in the fully processed state, subclassification is based on the coercivity measured after heat treatment according to the requirements of the product standard or the recommendations of the manufacturer.

Les gammes des valeurs spécifiées des caractéristiques magnétiques mentionnées ci-dessus, à l'état fini sont comme indiquées au tableau 2.

Tableau 2 – Gammes des valeurs spécifiées des caractéristiques magnétiques

Coercitivité maximale	Polarisation magnétique minimale pour $H =$			Polarisation magnétique de saturation minimale*
	300 A/m	500 A/m	4 000 A/m	
A/m	T	T	T	T
12 à 240	1,30 à 1,15	1,40 à 1,30	1,60	2,10 à 2,16

* Valeur non spécifiée mais indicative.

2.1.3 Applications principales

Les principales applications sont dans les relais pour courant continu, les haut-parleurs, les électro-aimants, les embrayages magnétiques, les freins, les éléments de circuit magnétique d'instruments de contrôle et de mesures, les pièces polaires et pièces diverses pour moteurs et génératrices à courant continu.

2.2 Classe B – Aciers doux à faible teneur en carbone

2.2.1 Classe B.1 – Produits massifs

2.2.1.1 Généralités

Certains de ces matériaux sont couverts par la CEI 60404-8-10.

2.2.1.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer contenant, en dehors des impuretés inévitables, de faibles teneurs en autres éléments qui peuvent provenir d'additions nécessaires au cours du processus de fabrication. La teneur en éléments d'alliage est limitée à celle d'un acier non allié tel que défini dans l'ISO 4948-1, en particulier la teneur en silicium est inférieure à 0,5 %.

2.2.1.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur la coercitivité.

2.2.1.1.3 Modes de présentation

Ces matériaux sont normalement livrés sous forme de pièces moulées ou forgées dans un état final de traitement thermique ou partiellement usinées selon les plans fournis par l'utilisateur, ou sous forme de barres, fil machine ou fils laminés à chaud, laminés à froid ou étirés.

Ranges of specified values for the above-mentioned magnetic characteristics in the fully processed state are as shown in table 2.

Table 2 – Ranges of specified values for magnetic properties

Maximum coercivity	Minimum magnetic polarization for $H =$			Minimum saturation magnetic polarization*
	300 A/m	500 A/m	4 000 A/m	
A/m	T	T	T	T
12 to 240	1,30 to 1,15	1,40 to 1,30	1,60	2,10 to 2,16

* Value not specified but typical.

2.1.3 Main applications

The main applications are in d.c. relays, loudspeakers, electromagnets, magnetic clutches, brakes, parts for magnetic circuits in instruments and control apparatus, as well as for pole pieces and other d.c. parts for generators and motors.

2.2 Class B – Low carbon mild steels

2.2.1 Class B.1 – Bulk material

2.2.1.1 General

Some of these materials are covered by IEC 60404-8-10.

2.2.1.1.1 Chemical composition

The basic constituent of these materials is iron containing unavoidable impurities, together with a low level of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process. The amount of alloying elements is limited to that of a non-alloy steel as defined in ISO 4948-1, in particular silicon is less than 0,5 %.

2.2.1.1.2 Basis of subclassification

The recommended subclassification is based on the coercivity.

2.2.1.1.3 Available forms

These materials are normally supplied in the form of castings or forgings in a finally heat-treated condition or partially machined to drawings supplied by the user or as bar, wire rod or wire in the hot-rolled, cold-rolled or cold-drawn condition.

2.2.1.2 Caractéristiques physiques

Outre les valeurs de coercitivité, une définition plus complète de ces matériaux peut se fonder sur les caractéristiques suivantes:

- magnétiques: polarisation magnétique pour diverses valeurs d'intensité du champ magnétique;
- mécaniques: limite apparente d'élasticité (ou limite conventionnelle d'élasticité à 0,2 %), allongement ($L_0 = 5 d_0$), absence de défauts;
- état métallurgique: formé à chaud ou à froid, recuit afin d'obtenir les caractéristiques magnétiques requises.

Les essais mécaniques et les essais non destructifs sont effectués selon les normes ISO appropriées. La coercitivité est mesurée conformément à la CEI 60404-7, les autres caractéristiques magnétiques selon la CEI 60404-4.

Les gammes des valeurs types des caractéristiques mécaniques et magnétiques sont données dans le tableau 3.

Tableau 3 – Gammes des valeurs types des caractéristiques mécaniques et magnétiques

Limite apparente d'élasticité	Allongement ($L_0 = 5 d_0$)	Coercitivité	Polarisation magnétique pour $H =$		
			2 500 A/m	5 000 A/m	10 000 A/m
N/mm ²	%	A/m	T		
100 à 180	25 à 45	40 à 400	1,65 à 1,55	1,75 à 1,65	1,85 à 1,75

2.2.1.3 Applications principales

Ces matériaux sont utilisés pour de gros aimants à courant continu pour lesquels aucune résistance mécanique n'est requise par exemple aimants de déviation dans des cyclotrons et pour des applications dans les relais.

2.2.2 Classe B.2 – Produits plats

2.2.2.1 Généralités

Ces matériaux sont couverts par la CEI 60404-8-3, la CEI 60404-8-4 et la CEI 60404-8-10.

2.2.2.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer contenant, en dehors des impuretés inévitables, de faibles teneurs en autres éléments qui peuvent provenir d'additions nécessaires au cours du processus de fabrication. La teneur en éléments d'alliage est limitée à celle d'un acier non allié tel que défini dans l'ISO 4948-1, en particulier la teneur en Si est inférieure à 0,5 %. Ces matériaux peuvent subir un traitement de recuit après poinçonnage afin d'accroître leurs caractéristiques magnétiques.

2.2.2.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée soit sur les pertes totales spécifiques qui sont fonction de l'épaisseur et sont habituellement mesurées à une polarisation magnétique de 1,5 T et aux fréquences industrielles courantes ou (pour les applications dans les relais) sur la coercitivité.

2.2.1.2 Physical characteristics

In addition to the coercivity a more complete definition of these materials can be based on the following properties:

- magnetic: magnetic polarization at various values of magnetic field strength;
- mechanical: yield strength (or 0,2 % proof stress) elongation ($L_0 = 5 d_0$), freedom from defects;
- metallurgical state: hot- or cold-worked, annealed to produce required magnetic characteristics.

Mechanical and non-destructive tests are made in accordance with the appropriate ISO standards. Coercivity shall be measured in accordance with IEC 60404-7, other magnetic properties in accordance with IEC 60404-4.

Ranges of typical values of magnetic and mechanical properties are given in table 3.

Table 3 – Ranges of typical values of magnetic and mechanical properties

Yield strength	Elongation ($L_0 = 5 d_0$)	Coercivity	Magnetic polarization at $H =$		
			2 500 A/m	5 000 A/m	10 000 A/m
N/mm ²	%	A/m	T		
100 to 180	25 to 45	40 to 400	1,65 to 1,55	1,75 to 1,65	1,85 to 1,75

2.2.1.3 Main applications

The materials are used for large d.c. magnets where no mechanical strength is required, for example deflection magnets in elementary particle physics and for relay applications.

2.2.2 Class B.2 – Flat material

2.2.2.1 General

These materials are covered by IEC 60404-8-3, IEC 60404-8-4 and IEC 60404-8-10.

2.2.2.1.1 Chemical composition

The basic constituent of these materials is iron containing unavoidable impurities, together with a low level of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process. The amount of alloying elements is limited to that of non-alloy steel as defined in ISO 4948-1, in particular silicon is less than 0,5 %. These materials can have an annealing treatment after punching to enhance their magnetic properties.

2.2.2.1.2 Basis of subclassification

The recommended subclassification is based either on the specific total loss which is a function of thickness and is normally measured at a magnetic polarization value of 1,5 T and at normal industrial power frequencies or (for relay application) on the coercivity.

2.2.2.1.3 Modes de présentation

Ces matériaux sont livrés sous la forme de tôles ou bandes laminées à froid ou (pour les applications dans les relais) sous la forme de tôles, plaques ou bandes laminées à chaud.

2.2.2.2 Caractéristiques physiques

Outre les pertes totales spécifiques, une définition plus complète de ces matériaux peut se fonder sur les caractéristiques suivantes:

- magnétiques: polarisation magnétique pour diverses valeurs d'intensité du champ magnétique;
- mécaniques: aptitude au poinçonnage, état de surface, facteur de foisonnement;
- état métallurgique: laminé à chaud;
état dur, c'est-à-dire laminé à froid;
état semi-fini, c'est-à-dire recuit puis laminé à froid;
état fini, c'est-à-dire ayant subi le recuit final.

NOTE Pour les matériaux livrés à l'état dur ou à l'état semi-fini, la sous-classification est fondée sur les pertes totales spécifiques ou la coercitivité mesurées après le traitement thermique effectué selon les exigences de la norme de produit ou les recommandations du producteur.

- dimensions: épaisseur, largeur et (si requis) longueur.

Les épaisseurs nominales recommandées des matériaux laminés à froid sont 0,47 mm, 0,50 mm, 0,65 mm et 1,0 mm.

Les mesures magnétiques sont faites conformément à la CEI 60404-2, à la CEI 60404-3 ou à la CEI 60404-7.

Les gammes des valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques, après recuit, pour les quatre épaisseurs couramment utilisées sont indiquées au tableau 4.

Tableau 4 – Gammes des valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques

Epaisseur nominale	Fréquence	Gammes des pertes totales spécifiques pour $J = 1,5 \text{ T}$
mm	Hz	W/kg
0,50	50	6,6 à 10,5
0,65	50	8,0 à 12,0
0,50	60	8,4 à 13,4
0,65	60	10,2 à 15,3

La valeur maximale spécifiée de la coercitivité des matériaux pour relais est comprise entre 40 A/m et 240 A/m.

2.2.2.3 Applications principales

Les matériaux sont utilisés pour la fabrication de noyaux feuilletés destinés aux appareils électriques, et particulièrement aux petites machines et aux applications pour relais.

2.2.2.1.3 Available forms

These materials are supplied in the form of cold-rolled coils or sheets or (for relay application) in the form of hot-rolled strip, sheet or plate.

2.2.2.2 Physical characteristics

In addition to specific total loss, a more complete definition of these materials can be based on the following properties:

- magnetic: magnetic polarization at various values of field strength;
- mechanical: suitability for punching operations, surface condition, stacking factor;
- metallurgical state: hot-rolled;
hard state – i.e. cold-rolled;
semi-processed state – i.e. annealed and finally cold-rolled;
fully processed state – i.e. finally annealed.

NOTE For material delivered in the hard or semi-processed state, subclassification is based on the total specific loss or coercivity measured after heat treatment according to the requirements of the product standard or recommendations of the manufacturer.

- dimensions: thickness, width and (as required) length.

Recommended nominal thicknesses for the cold-rolled materials are 0,47 mm, 0,50 mm, 0,65 mm and 1,0 mm.

Magnetic measurements are made in accordance with IEC 60404-2, IEC 60404-3 or IEC 60404-7.

Ranges of specified specific total loss, after annealing, for the commonly used thicknesses are as shown in table 4.

Table 4 – Ranges of specified values of maximum specific total loss

Nominal thickness	Frequency	Ranges of specific total loss at $\hat{J} = 1,5 \text{ T}$
mm	Hz	W/kg
0,50	50	6,6 to 10,5
0,65	50	8,0 to 12,0
0,50	60	8,4 to 13,4
0,65	60	10,2 to 15,3

The specified maximum value of coercivity for relay material ranges from 40 A/m to 240 A/m.

2.2.2.3 Main applications

The materials are used in the manufacture of laminated cores for electrical apparatus and especially small machines and for relay applications.

2.3 Classe C – Aciers au silicium

2.3.1 Classe C.1 – Produits massifs

2.3.1.1 Généralités

Certains de ces matériaux sont couverts par la CEI 60404-8-6 et la CEI 60404-8-10.

2.3.1.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer, l'élément d'alliage principal étant le silicium, dont la teneur est comprise entre 0,5 % à 5 %.

2.3.1.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur les valeurs de la coercitivité ou de la résistivité électrique qui est fonction de la teneur en silicium.

2.3.1.1.3 Mode de présentation

Ces matériaux sont présentés sous forme de barres laminées à chaud ou étirées à froid, de fils, de barres rectifiées, de billettes à forger, et doivent être soumis à un traitement thermique après formage mécanique afin de développer les caractéristiques magnétiques requises.

2.3.1.2 Caractéristiques physiques

Outre la coercitivité et la résistivité électrique dont les intervalles sont indiquées dans le tableau 5, une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

- magnétiques: polarisation magnétique de saturation, polarisation magnétique pour diverses valeurs d'intensité du champ magnétique, polarisation magnétique rémanente;
- mécaniques: usinabilité, ductilité, dureté;
- état métallurgique: formé à chaud ou à froid, recuit pour développer les caractéristiques magnétiques requises.

Tableau 5 – Gammes des valeurs spécifiées des caractéristiques magnétiques et électriques

Teneur en silicium*	Résistivité*	Coercitivité	Polarisation magnétique minimale pour $H =$			
			100 A/m	300 A/m	500 A/m	4 000 A/m
%	$\mu\Omega\text{m}$	A/m	T			
2 à 4,5	0,35 à 0,60	48 à 12	0,6 à 1,2	1,1 à 1,3	1,2 à 1,35	1,5
* Valeur non spécifiée mais typique.						

2.3.1.3 Applications principales

Ces matériaux trouvent leurs principales applications dans les circuits magnétiques de relais, les embrayages magnétiques, les pièces polaires, les moteurs pas à pas et les enveloppes de gyroscopes.

2.3 Class C – Silicon steels

2.3.1 Class C.1 – Bulk material

2.3.1.1 General

Some of these materials are covered by IEC 60404-8-6 and IEC 60404-8-10.

2.3.1.1.1 Chemical composition

The basic constituent of these materials is iron in which the main alloying element is silicon in the range of 0,5 % to 5 %.

2.3.1.1.2 Basis of subclassification

The recommended subclassification is based on coercivity values or on electrical resistivity which is a function of silicon content.

2.3.1.1.3 Available forms

These materials are available as hot-rolled and cold-drawn bar, wire, ground bar and forging billets and require heat treatment after mechanical working to achieve the required magnetic properties.

2.3.1.2 Physical characteristics

In addition to the coercivity and the electrical resistivity for which ranges are given in table 5, a more complete definition of these materials can be based on the following characteristics:

- magnetic: saturation magnetic polarization, magnetic polarization for various field strengths, remanent magnetic polarization;
- mechanical: machinability, ductility, hardness;
- metallurgical state: hot- or cold-worked, annealed to produce required magnetic characteristics.

Table 5 – Ranges of specified values for magnetic and electric properties

Silicon content*	Resistivity*	Coercivity	Minimum magnetic polarization at $H =$			
			100 A/m	300 A/m	500 A/m	4 000 A/m
%	$\mu\Omega\text{m}$	A/m	T			
2 to 4,5	0,35 to 0,60	48 to 12	0,6 to 1,2	1,1 to 1,3	1,2 to 1,35	1,5

* Value not specified but typical.

2.3.1.3 Main applications

The main applications are for the magnetic circuits of relays, magnetic clutches, magnetic pole pieces, stepping motors and gyro housings.

2.3.2 Classe C.2 – Produits plats

2.3.2.1 Classe C.21 – Aciers isotropes* (non orientés) pour utilisation aux fréquences industrielles

2.3.2.1.1 Généralités

Ces matériaux sont couverts par la CEI 60404-8-2, la CEI 60404-8-4, la CEI 60404-8-6 et la CEI 60404-8-10.

2.3.2.1.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer. L'élément d'alliage principal est le silicium, dont la teneur peut être comprise entre 0,5 % et 5 %. D'autres éléments d'alliage, par exemple l'aluminium, peuvent aussi être présents. Le matériau contient également des impuretés inévitables et de faibles teneurs en d'autres éléments qui proviennent des additions nécessitées par le procédé de fabrication.

2.3.2.1.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur les pertes totales spécifiques qui sont fonction de l'épaisseur et qui sont normalement mesurées à des valeurs de polarisation magnétique de 1,5 T et aux fréquences industrielles.

Quand l'application le requiert (par exemple pour les relais) il peut être plus approprié de fonder la sous-classification sur la coercitivité ou la perméabilité.

2.3.2.1.1.3 Modes de présentation

Ces matériaux sont généralement présentés sous forme de bandes ou de tôles laminées à froid.

2.3.2.1.2 Caractéristiques physiques

Outre les valeurs de pertes totales spécifiques, une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

- magnétiques: polarisation magnétique pour différentes valeurs d'intensité du champ magnétique, puissance apparente spécifique pour différentes valeurs de la polarisation magnétique, anisotropie des pertes;
- électriques: type de l'isolation de la surface et sa résistance, résistivité;
- mécaniques: aptitude au poinçonnage, ductilité, résistance à la traction, dureté, état de surface et finition, facteur de foisonnement, planéité, rectitude des rives;
- état métallurgique: état dur, c'est-à-dire laminé à froid;
état semi-fini, c'est-à-dire recuit ou recuit et laminé à tiède;
état fini, c'est-à-dire recuit final.

NOTE Pour les matériaux livrés en état dur ou à l'état semi-fini, la sous-classification est fondée sur les pertes totales spécifiques mesurées après traitement thermique effectué selon les exigences de la norme de produit ou selon les recommandations du fabricant.

- dimensions: épaisseur, largeur et (si requis) longueur.

Les valeurs normalement recommandées pour l'épaisseur nominale sont 0,35 mm, 0,47 mm, 0,50 mm, 0,65 mm et 1,00 mm.

* Il s'agit d'un matériau pratiquement isotrope et élaboré spécialement pour obtenir cette caractéristique.

2.3.2 Class C.2 – Flat material

2.3.2.1 Class C.21 – Isotropic* (non-oriented) steels for use at power frequencies

2.3.2.1.1 General

These materials are covered by IEC 60404-8-2, IEC 60404-8-4, IEC 60404-8-6 and IEC 60404-8-10.

2.3.2.1.1.1 Chemical composition

The basic constituent of these materials is iron. The main alloying element is silicon, whose content may be between 0,5 % and 5 %. Other alloying elements, for example aluminium, may also be present. The material also contains unavoidable impurities, together with a low level of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process.

2.3.2.1.1.2 Basis of subclassification

The recommended subclassification is based on the specific total loss which is a function of thickness and normally measured at a magnetic polarization value of 1,5 T and at power frequencies.

When the application demands it (for example relays), it may be more appropriate for the subclassification to be based on coercivity or permeability.

2.3.2.1.1.3 Available forms

These materials are normally supplied in the form of cold-rolled coils or sheets.

2.3.2.1.2 Physical characteristics

In addition to the values of specific total loss, a more complete definition of these materials can be based on the following characteristics:

- magnetic: magnetic polarization for various values of magnetic field strength, specific apparent power for different values of magnetic polarization anisotropy of loss;
- electrical: type of surface insulation and its resistance, resistivity;
- mechanical: suitability for punching operations, ductility, tensile strength, hardness, surface condition and finish, stacking factor, flatness, edge camber;
- metallurgical state: hard state, i.e. as cold rolled;
semi-processed state, i.e. annealed or annealed and temper rolled;
fully-processed state, i.e. finally annealed;

NOTE For material delivered in the hard or semi-processed state, the subclassification is based on the specific total losses measured after heat treatment according to the requirements of the product standard or the recommendations of the manufacturer.

- dimensions: thickness, width and (as required) length.

The values of nominal thickness normally recommended are 0,35 mm, 0,47 mm, 0,50 mm, 0,65 mm and 1,00 mm.

* This describes a material which is substantially isotropic and deliberately processed to be so

Les mesures magnétiques doivent être faites conformément à la CEI 60404-2 ou à la CEI 60404-3. Pour la masse volumique, il convient de retenir, pour les mesures magnétiques, les valeurs définies dans la norme produit correspondante. Dans les autres cas, il convient que les valeurs de la masse volumique fassent l'objet d'un accord.

Les gammes de valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques après recuit final, pour quatre épaisseurs courantes, sont indiquées dans le tableau 6.

Tableau 6 – Gammes des valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques

Epaisseur nominale	Fréquence	Gammes des pertes totales spécifiques pour $J = 1,5 \text{ T}$
mm	Hz	W/kg
0,35	50	2,3 à 3,6
0,50	50	2,5 à 10
0,65	50	3,1 à 10
1,00	50	6,0 à 13
0,35	60	2,9 à 4,6
0,50	60	3,2 à 11,9
0,65	60	4,1 à 12,8
1,00	60	8,1 à 17,3

2.3.2.1.3 Applications principales

Ces matériaux sont principalement employés pour la confection des circuits magnétiques d'appareils électriques, en particulier pour les éléments de machines tournantes dans lesquels le flux n'est pas unidirectionnel. Ils peuvent être aussi employés pour la construction de relais électromagnétiques, de petits transformateurs, starters de tubes fluorescents, de compteurs électriques, écrans et pôles magnétiques de synchrotrons à électrons et à protons.

2.3.2.2 Classe C.22 – Aciers anisotropes* (à grains orientés) pour utilisation à des fréquences industrielles

2.3.2.2.1 Généralités

Ces matériaux sont couverts par la CEI 60404-8-7.

2.3.2.2.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer et l'élément d'alliage principal est le silicium (environ 3 %), avec des impuretés inévitables et de faibles teneurs d'autres éléments provenant des additions nécessitées par le procédé de fabrication. Ce type de matériau magnétique possède des caractéristiques anisotropes (orientation cristalline) et présente, suivant une direction parallèle à l'axe de laminage, les plus faibles valeurs de pertes spécifiques et les plus hautes valeurs de perméabilité. Ces propriétés sont affectées par les traitements mécaniques et un recuit de relaxation peut permettre d'atteindre les valeurs optimales de ces caractéristiques.

* Il s'agit d'un matériau pratiquement anisotrope et élaboré spécialement pour obtenir cette caractéristique.

Magnetic measurements are made in accordance with IEC 60404-2 or IEC 60404-3. The density values to be used for magnetic measurements should be as defined in the relevant product standard. In other cases, the density values should be the subject of agreement.

Ranges of specified values of specific total loss, after final annealing, for four commonly used thicknesses are shown in table 6.

Table 6 – Ranges of specified values of maximum specific total loss

Nominal thickness	Frequency	Ranges of specific total loss at $\hat{J} = 1,5 \text{ T}$
mm	Hz	W/kg
0,35	50	2,3 to 3,6
0,50	50	2,5 to 10
0,65	50	3,1 to 10
1,00	50	6,0 to 13
0,35	60	2,9 to 4,6
0,50	60	3,2 to 11,9
0,65	60	4,1 to 12,8
1,00	60	8,1 to 17,3

2.3.2.1.3 Main application

These materials are used mainly in the magnetic circuits of electrical apparatus, particularly in the parts of rotating machines in which the flux is not unidirectional. They may also be used in electromagnetic relays, small transformers, chokes for fluorescent tubes, electrical meters, shielding and magnetic poles of electron and proton synchrotrons.

2.3.2.2 Class C.22 – Anisotropic* (oriented) steels for use at power frequencies

2.3.2.2.1 General

These materials are covered by IEC 60404-8-7.

2.3.2.2.1.1 Chemical composition

The basic constituent of these materials is iron and the main alloying element is silicon (approximately 3 %), together with unavoidable impurities and low levels of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process. This type of magnetic material possesses anisotropic properties (orientation) such that the direction parallel to the axis of rolling shows the lowest values of specific total losses and the highest permeability. These properties are sensitive to mechanical treatment, and stress relief annealing may be used to optimize the inherent properties.

* This describes a material which is substantially anisotropic and deliberately processed to be so.

2.3.2.2.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur la perfection de l'orientation cristalline exprimée par la polarisation magnétique pour une intensité de champ magnétique de 800 A/m et sur les pertes totales spécifiques qui sont fonction de l'épaisseur et de l'orientation et qui sont normalement mesurées aux valeurs de la polarisation magnétique de 1,5 T ou 1,7 T et aux fréquences industrielles.

2.3.2.2.1.3 Modes de présentation

Ces matériaux sont généralement présentés sous forme de bandes ou de tôles laminées à froid ayant un revêtement isolant inorganique.

2.3.2.2.2 Caractéristiques physiques

Outre la perfection de l'orientation cristalline et les pertes totales spécifiques, une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

- électriques: type de l'isolation de la surface et sa résistance, résistivité;
- mécaniques: ductilité, état de surface, facteur de foisonnement, planéité, rectitude des rives;
- état métallurgique: recuit et entièrement recristallisé;
- dimensions: épaisseur, largeur et (si requis) longueur.

Les valeurs d'épaisseur nominale normalement utilisées sont: 0,23 mm, 0,27 mm, 0,30 mm et 0,35 mm. Si d'autres épaisseurs sont requises, les valeurs 0,18 mm et 0,50 mm sont recommandées.

Les mesures magnétiques doivent être faites conformément à la CEI 60404-2 ou à la CEI 60404-3. La valeur de la masse volumique à retenir pour les calculs est normalement 7,65 kg/dm³ et les éprouvettes doivent être prélevées parallèlement à l'axe de laminage et soumises, avant mesure, à un recuit de relaxation suivant les recommandations du fabricant.

Les gammes de valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques après recuit de relaxation, pour les épaisseurs utilisées couramment, figurent dans le tableau 7.

Tableau 7 – Gammes des valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques maximales

Epaisseur nominale	Matériau normal		Matériau à haute perméabilité	
	Pertes totales spécifiques maximales à			
	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
	$\hat{J} = 1,7 \text{ T}$		$\hat{J} = 1,7 \text{ T}$	
mm	W/kg	W/kg	W/kg	W/kg
0,23	1,20 à 1,27	1,57 à 1,65	0,90 à 1,00	1,21 à 1,32
0,27	1,30 à 1,40	1,68 à 1,85	1,03 à 1,10	1,35 à 1,45
0,30	1,40 à 1,50	1,83 à 1,98	1,05 à 1,17	1,38 à 1,54
0,35	1,50 à 1,65	1,98 à 2,18	1,25 à 1,35	1,64 à 1,77

De plus, les matériaux non encore spécifiés dans la CEI 60404-8-7 sont disponibles avec les caractéristiques données dans le tableau 8.

2.3.2.2.1.2 Basis of subclassification

The recommended subclassification is based on the perfection of crystal orientation expressed by the magnetic polarization for a magnetic field strength of 800 A/m and on the specific total loss, which is a function of thickness and of the orientation, and is normally measured at magnetic polarization values of 1,5 T or 1,7 T and at power frequencies.

2.3.2.2.1.3 Available forms

These materials are normally supplied in the form of cold-rolled coils or sheets having an inorganic insulating coating.

2.3.2.2.2 Physical characteristics

In addition to the perfection of crystal orientation and to the values of specific total loss, a more complete definition of these materials can be based on the following characteristics:

- electrical: type of surface insulation and its resistance, resistivity;
- mechanical: ductility, surface condition and finish, stacking factor, flatness, edge camber;
- metallurgical state: annealed and fully recrystallized;
- dimensions: thickness, width and (if required) length.

The values of nominal thickness normally used are: 0,23 mm, 0,27 mm, 0,30 mm and 0,35 mm. If other thicknesses are required, the values 0,18 mm and 0,50 mm are recommended.

Magnetic measurements are made in accordance with IEC 60404-2 or IEC 60404-3. The density used for calculations is normally 7,65 kg/dm³ and test pieces are taken parallel to the axis of rolling and, before measurement, undergo stress relief annealing in accordance with the recommendations of the manufacturer.

Ranges of specified values of maximum specific total loss, after stress relief annealing, for the normally used thicknesses are shown in table 7.

Table 7 – Ranges of specified values of maximum specific total loss

Nominal thickness	Regular material		Material with high permeability	
	Maximum specific total loss at			
	50 Hz	60 Hz	50 Hz	60 Hz
	$\hat{J} = 1,7 \text{ T}$		$\hat{J} = 1,7 \text{ T}$	
mm	W/kg	W/kg	W/kg	W/kg
0,23	1,20 to 1,27	1,57 to 1,65	0,90 to 1,00	1,21 to 1,32
0,27	1,30 to 1,40	1,68 to 1,85	1,03 to 1,10	1,35 to 1,45
0,30	1,40 to 1,50	1,83 to 1,98	1,05 to 1,17	1,38 to 1,54
0,35	1,50 to 1,65	1,98 to 2,18	1,25 to 1,35	1,64 to 1,77

In addition, materials which are not yet specified in IEC 60404-8-7 are available, with the properties given in table 8.

Tableau 8 – Gammas des valeurs types des pertes totales spécifiques maximales

Epaisseur nominale	Matériau à domaine affiné	
	Pertes totales spécifiques maximales à $\hat{J} = 1,7 \text{ T}$	
	50 Hz	60 Hz
mm	W/kg	
0,23	0,80 à 0,90	1,06 à 1,21
0,27	0,85 à 0,95	1,12 à 1,25

2.3.2.2.3 Applications principales

Ces matériaux sont principalement utilisés pour la confection de circuits magnétiques dans lesquels le flux circule essentiellement parallèlement à la direction de laminage à froid comme dans les noyaux de transformateurs.

2.3.2.3 Classe C.23 – Tôles minces d'acier au silicium**2.3.2.3.1 Généralités**

Ces matériaux sont couverts par la CEI 60404-8-8.

2.3.2.3.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer. L'élément d'alliage principal est le silicium, dans une teneur comprise entre 2 % et 4 %. D'autres éléments d'alliage, notamment l'aluminium, peuvent aussi être présents. Outre les impuretés inévitables, ces matériaux contiennent de faibles proportions d'autres éléments qui peuvent provenir des additions nécessitées par le procédé de fabrication.

2.3.2.3.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur l'anisotropie magnétique et sur les pertes totales spécifiques qui sont fonction de l'épaisseur, de la polarisation magnétique et de la fréquence d'essai.

2.3.2.3.1.3 Modes de présentation

Ces matériaux sont normalement présentés sous forme de bandes ou tôles laminées à froid.

2.3.2.3.2 Caractéristiques physiques

Outre les valeurs des pertes totales spécifiques, une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

- magnétiques: polarisation magnétique pour différentes valeurs d'intensité du champ magnétique;
- électriques: types de l'isolation de surface et sa résistance, résistivité;
- mécaniques: ductilité, facteur de foisonnement, planéité, rectitude des rives;
- état métallurgique: recuit et entièrement recristallisé;
- dimensions: épaisseur, largeur et (si requis) longueur.

Table 8 – Ranges of typical values of maximum specific loss

Nominal thickness	Domain-refined material	
	Maximum specific total loss at $J = 1,7 \text{ T}$	
	50 Hz	60 Hz
mm	W/kg	
0,23	0,80 to 0,90	1,06 to 1,21
0,27	0,85 to 0,95	1,12 to 1,25

2.3.2.2.3 Main applications

These materials are used mainly for the manufacture of magnetic cores in which the magnetic flux paths are substantially parallel to the direction of cold-rolling, as for example in transformer cores.

2.3.2.3 Class C.23 – Thin silicon steels**2.3.2.3.1 General**

These materials are covered by IEC 60404-8-8.

2.3.2.3.1.1 Chemical composition

The basic constituent of these materials is iron. The main alloying element is silicon, whose content may be between 2 % and 4 %. Other alloying elements, namely aluminium, may also be present. The material also contains unavoidable impurities, together with a low level of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process.

2.3.2.3.1.2 Basis of subclassification

The recommended subclassification is based on the magnetic anisotropy and the specific total loss which is a function of thickness, magnetic polarization value and test frequency.

2.3.2.3.1.3 Available forms

These materials are normally supplied in the form of cold-rolled coils or sheets.

2.3.2.3.2 Physical characteristics

In addition to the values of specific total loss, a more complete definition of these materials can be based on the following characteristics:

- magnetic: magnetic polarization for different values of the magnetic field strength;
- electrical: type of surface insulation and its resistance, resistivity;
- mechanical: ductility, stacking factor, flatness, edge camber;
- metallurgical state: annealed and fully recrystallized;
- dimensions: thickness, width and (if required) length.

Les valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques maximales des épaisseurs couramment utilisées sont indiquées dans le tableau 9.

Tableau 9 – Valeurs spécifiées des pertes totales spécifiques maximales

Type	Epaisseur nominale	Pertes totales spécifiques maximales pour $\hat{J} =$		Fréquence
		1 T	1,5 T	
	mm	W/kg		Hz
A grains orientés	0,05	24	–	1 000
	0,1	–	15	400
	0,15	–	16	400
A grains non orientés	0,05	45	–	1 000
	0,1	13	–	400
	0,15	14	–	400
	0,2	15	–	400

Les caractéristiques magnétiques sont déterminées conformément à la CEI 60404-10 et, à l'exclusion des matériaux à grains non orientés de 0,2 mm d'épaisseur, sur des éprouvettes qui ont été recuites selon les recommandations du fabricant.

2.3.2.3.3 Applications principales

Ces matériaux sont principalement utilisés pour la confection de circuits magnétiques de transformateurs et de machines tournantes fonctionnant à des fréquences supérieures à 100 Hz.

2.3.2.4 Classe C.24 – Aciers avec des caractéristiques mécaniques et pertes totales spécifiques spécifiées

2.3.2.4.1 Généralités

Ces matériaux ne sont pas couverts par une publication CEI.

2.3.2.4.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer. L'élément d'alliage principal est le silicium, dans une teneur comprise entre 2 % et 5 %. D'autres éléments d'alliage tels que l'aluminium, le manganèse, peuvent aussi être ajoutés afin d'accroître la résistance et d'améliorer les caractéristiques magnétiques. Ces matériaux contiennent des impuretés inévitables ainsi que de faibles proportions d'autres éléments provenant des additions nécessitées par le procédé de fabrication.

2.3.2.4.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur la limite apparente d'élasticité.

2.3.2.4.1.3 Modes de présentation

Ces matériaux sont normalement livrés sous forme de bandes ou tôles laminées à froid et ayant subi un recuit final.

The specified values of maximum specific total loss for the commonly used thicknesses are shown in table 9.

Table 9 – Specified values of maximum specific total loss

Type	Nominal thickness	Maximum specific total loss at $\hat{J} =$		Frequency
		1 T	1,5 T	
	mm	W/kg		Hz
Grain-oriented	0,05	24	–	1 000
	0,1	–	15	400
	0,15	–	16	400
Non-oriented	0,05	45	–	1 000
	0,1	13	–	400
	0,15	14	–	400
	0,2	15	–	400

The magnetic properties are determined in accordance with IEC 60404-10 and, except for the non-oriented material of 0,2 mm thickness, on test specimens which have been annealed in accordance with the recommendations of the manufacturer.

2.3.2.3.3 Main applications

These materials are mainly used in magnetic circuits of transformers and rotating machines operating at frequencies above 100 Hz.

2.3.2.4 Class C.24 – Steels with specified mechanical properties and specific total loss

2.3.2.4.1 General

These materials are not covered by an IEC publication.

2.3.2.4.1.1 Chemical composition

The basic constituent of these materials is iron. The main alloying element is silicon whose content may be between 2 % and 5 %. Other alloying elements, such as aluminium, manganese, may be added to increase strength and improve magnetic properties. The material also contains unavoidable impurities, together with a low level of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process.

2.3.2.4.1.2 Basis of subclassification

The recommended subclassification is based on the yield strength.

2.3.2.4.1.3 Available forms

These materials are normally supplied in the form of cold-rolled and finally annealed coils or sheet.

2.3.2.4.2 Caractéristiques physiques

Outre la limite apparente d'élasticité, une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

- magnétiques: pertes totales spécifiques, polarisation magnétique pour différentes valeurs d'intensité du champ magnétique;
- électriques: isolation de la surface et sa résistance, résistivité;
- mécaniques: résistance à la traction, allongement, dureté, facteur de foisonnement;
- état métallurgique: état fini, c'est-à-dire ayant subi un recuit final;
- dimensions: épaisseur, largeur et (si requis) longueur.

Les valeurs types des caractéristiques mécaniques et magnétiques pour l'épaisseur de 0,50 mm sont données dans le tableau 10.

Tableau 10 – Valeurs types des caractéristiques mécaniques et magnétiques pour l'épaisseur de 0,50 mm

Limite apparente d'élasticité (L)	Pertes totales spécifiques pour $j = 1,5 \text{ T}$ et $f = 50 \text{ Hz}$ (L + C)	Polarisation magnétique pour $H = 5 \text{ kA/m}$ (L + C)	Facteur de foisonnement
N/mm ²	W/kg	T	%
470	4,6	1,69	98,0
620	6,7	1,63	98,0
NOTE L = parallèle à la direction de laminage; C = perpendiculaire à la direction de laminage.			

2.3.2.4.3 Applications principales

Ces matériaux sont généralement utilisés dans des conditions de flux alternés pour des parties sous contrainte de circuits magnétiques tels que les rotors de machines électriques tournantes à grande vitesse.

2.3.2.5 Classe C.25 – Aciers à 6,5 % de silicium

2.3.2.5.1 Généralités

Ces matériaux ne sont pas couverts par une publication CEI.

2.3.2.5.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer. L'élément d'alliage principal est le silicium, dans une teneur comprise entre 6 % et 7 %. D'autres éléments d'alliage peuvent être également présents. Ce matériau contient également des impuretés inévitables ainsi que de faibles proportions d'autres éléments pouvant provenir des additions nécessitées par le procédé de fabrication.

2.3.2.5.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est basée sur les pertes totales spécifiques qui sont fonction de l'épaisseur, de la polarisation magnétique et de la fréquence d'essai.