

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

404-1

Première édition
First edition
1979-01

Matériaux magnétiques –

**Première partie:
Classification**

Magnetic materials –

**Part 1:
Classification**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 404-1: 1979

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} 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**

404-1

Première édition
First edition
1979-01

Matériaux magnétiques –

**Première partie:
Classification**

Magnetic materials –

**Part 1:
Classification**

© IEC 1979 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 Varembeé 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

W

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Domaine d'application	6
MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES DOUX	
Sections et articles	
A FERS	6
B ACIERS DOUX À FAIBLE TENEUR EN CARBONE	10
B2. Produits plats	10
C ACIERS AU SILICIUM	12
C1. Produits massifs	12
C2. Produits plats	14
C21. Aciers isotropes	14
C22. Aciers anisotropes	18
C23. Tôles minces d'acier au silicium	20
D AUTRES TYPES D'ACIERS	22
D1. Produits massifs	22
D11. Pièces moulées	22
D12. Pièces forgées	26
D2. Produits plats	28
E ALLIAGES FER-NICKEL	30
E1. Teneur en nickel de 72 % à 83 %	30
E2. Teneur en nickel de 54 % à 68 %	32
E3. Teneur en nickel de 45 % à 50 %	34
E4. Teneur en nickel de 35 % à 40 %	38
E5. Teneur en nickel 30 % (approximativement)	40
F ALLIAGES FER-COBALT	40
F1. Teneur en cobalt de 47 % à 50 %	40
F2. Teneur en cobalt 35 %	44
F3. Teneur en cobalt de 23 % à 27 %	46
G AUTRES ALLIAGES	48
G1. Alliages fer-aluminium	48
G2. Alliages fer-aluminium-silicium	50
H FERRITES MAGNÉTIQUES DOUX	52
H1. Généralités	52
H2. Caractéristiques physiques	52
H3. Applications principales	54
MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES DURS	
R ALLIAGES MAGNÉTIQUES DURS	56
R1. Alliages aluminium-nickel-cobalt-fer-titane	56
R2. Alliages platine-cobalt	58
R3. Alliages cobalt-fer-vanadium	60
R4. Alliages cuivre-nickel-fer	62
R5. Alliages de terres rares-cobalt	64
S CÉRAMIQUES MAGNÉTIQUES DURES	66
S1. Ferrites dures	66
T AUTRES MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES DURS	70
T1. Aciers martensitiques	70

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Scope	7
MAGNETICALLY SOFT MATERIALS	
Section and clause	
A IRONS	7
B LOW CARBON MILD STEELS	11
B2. Flat material	11
C SILICON STEELS	13
C1. Solid material	13
C2. Flat material	15
C21. Isotropic steels	15
C22. Anisotropic steels	19
C23. Thin silicon steels	21
D OTHER STEELS	23
D1. Solid material	23
D11. Cast solid steels	23
D12. Forged solid steels	27
D2. Flat material	29
E NICKEL-IRON ALLOYS	31
E1. Nickel content 72% to 83%	31
E2. Nickel content 54% to 68%	33
E3. Nickel content 45% to 50%	35
E4. Nickel content 35% to 40%	39
E5. Nickel content 30% (approximately)	41
F IRON-COBALT ALLOYS	41
F1. Cobalt content 47% to 50%	41
F2. Cobalt content 35%	45
F3. Cobalt content 23% to 27%	47
G OTHER ALLOYS	49
G1. Aluminium-iron alloys	49
G2. Aluminium-silicon-iron alloys	51
H MAGNETICALLY SOFT FERRITES	53
H1. General	53
H2. Physical characteristics	53
H3. Main applications	55
MAGNETICALLY HARD MATERIALS	
R MAGNETICALLY HARD ALLOYS	57
R1. Alloys of aluminium-nickel-cobalt-iron-titanium	57
R2. Platinum-cobalt alloys	59
R3. Cobalt-iron-vanadium alloys	61
R4. Copper-nickel-iron alloys	63
R5. Rare earth-cobalt alloys	65
S MAGNETICALLY HARD CERAMICS	67
S1. Hard ferrites	67
T OTHER MAGNETICALLY HARD MATERIALS	71
T1. Martensitic steels	71

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

Première partie: Classification

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes N° 68 de la CEI: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

Un projet fut discuté lors de la réunion tenue à Tbilissi (U.R.S.S.) en 1975. A la suite de cette réunion, le projet, document 68(Bureau Central)7, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août 1975.

Un projet concernant la section H fut discuté par le Comité d'Etudes N° 51 de la CEI lors de la réunion tenue à La Haye en 1975. A la suite de cette réunion, le projet, document 51(Bureau Central)182, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en mars 1976.

Des modifications, document 51(Bureau Central)198, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en mai 1977.

Ces deux derniers documents, approuvés, figuraient avec les modifications, document 68(Bureau Central)15, soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en avril 1978.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Espagne	Royaume-Uni
Allemagne	Etats-Unis d'Amérique	Suède
Australie	Finlande	Suisse
Autriche	France	Turquie
Belgique	Israël	Union des Républiques
Brésil	Italie	Socialistes Soviétiques
Canada	Japon	Yougoslavie
Danemark	Pologne	
Egypte	Roumanie	

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

Publications n°s 401: Information sur les matériaux ferrites figurant dans les catalogues des fabricants de noyaux pour transformateurs et bobines d'inductance.

404-2: Matériaux magnétiques. Deuxième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques, électriques et physiques des tôles et feuillets magnétiques.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS

Part 1: Classification

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 68, Magnetic Alloys and Steels.

A draft was discussed at the meeting held in Tbilisi (U.S.S.R.) in 1975. As a result of this meeting, the draft, Document 68(Central Office)7, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1975.

A draft concerning Section H was discussed by IEC Technical Committee No. 51 at the meeting held in The Hague in 1975. As a result of this meeting, the draft, Document 51(Central Office)182, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in March 1976.

Amendments, Document 51(Central Office)198, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in May 1977.

These last two documents were approved and appeared with the amendments, Document 68(Central Office)15, submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in April 1978.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Germany	Switzerland
Austria	Israel	Turkey
Belgium	Italy	Union of Soviet
Brazil	Japan	Socialist Republics
Canada	Poland	United Kingdom
Denmark	Romania	United States of America
Egypt	South Africa (Republic of)	Yugoslavia
Finland	Spain	
France	Sweden	

Other IEC publications quoted in this standard:

- Publications Nos. 401: Information on Ferrite Materials Appearing in Manufacturers' Catalogues of Transformer and Inductor Cores.
- 404-2: Magnetic Materials. Part 2: Methods of Measurement of Magnetic, Electrical and Physical Properties of Magnetic Sheet and Strip.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

Première partie: Classification

Domaine d'application

La présente norme a pour objet d'établir une classification des matériaux magnétiques commercialement disponibles et ne doit pas être considérée comme une spécification technique.

L'expression «matériaux magnétiques» désigne des substances dont l'application requiert l'existence de propriétés ferromagnétiques ou ferrimagnétiques.

Dans la présente norme la classification des matériaux magnétiques repose sur l'existence — généralement reconnue — de deux * groupes principaux de produits:

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

A l'intérieur de ces groupes principaux, la classification tient compte, le cas échéant, des caractéristiques suivantes:

- L'élément d'alliage principal, ainsi que l'état de livraison et les propriétés physiques du matériau.
- Si c'est possible et utile, la relation entre ces caractéristiques est mentionnée.

Une classification par domaines d'emplois spécifiques ne peut être envisagée pour tous les matériaux, car une même application autorise l'emploi de produits différents suivant les caractéristiques requises.

Dans la classification générale des matériaux magnétiques indiquée ci-après, les dénominations et valeurs utilisées sont celles qui sont sanctionnées par l'usage.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES DOUX

A FERS

A0.1. Généralités

A0.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer. Ces produits sont souvent appelés «fer commercialement pur» ou «fer doux magnétique». Les éléments qui exercent un effet défavorable sur la rémanence, la coercitivité, l'induction de saturation et la stabilité des

* Dans une future édition de la présente norme, il est proposé d'introduire le groupe supplémentaire des matériaux magnétiques semi-durs.

MAGNETIC MATERIALS

Part 1: Classification

Scope

This standard is intended to classify commercially available magnetic materials and should not be read as a technical specification.

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 physical state and 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.

In the general classification of magnetic materials which follows, the nomenclature and values employed are those sanctioned by usage.

MAGNETICALLY SOFT MATERIALS

A IRONS

A0.1. General

A0.1.1 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 flux density and stability of the magnetic properties are controlled to

* In a future edition of this standard, it is proposed to introduce semi-hard magnetic materials as an additional group.

propriétés magnétiques sont maintenus à un niveau permettant d'obtenir les caractéristiques requises pour l'utilisation envisagée. Les éléments les plus importants, autres que le fer, quand ils sont présents, restent dans les intervalles de valeurs types ci-après:

Intervalles de composition chimique (%)

C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
0,005 à 0,030	0,002 à 0,10	0,03 à 0,20	0,005 à 0,015*	0,010 à 0,030*	0,002 à 0,08	0,002 à 0,10

* Pour une meilleure usinabilité, les limites supérieures de P et S peuvent dépasser les valeurs indiquées dans ce tableau.

A0.1.2 Base de sous-classification

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

A0.1.3 Mode de présentation

Ces matériaux sont offerts à l'utilisation sous des formes très variées: brames, billettes, lingots, pièces forgées; barres laminées à chaud de section rectangulaire ou carrée; barres de section circulaire, hexagonale ou octogonale; barres, tiges et fils après laminage ou étirage à froid; tôles ou bandes laminées.

A0.2. Caractéristiques physiques

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

Magnétiques: Induction de saturation; perméabilité pour diverses intensités de champ; stabilité des caractéristiques dans le temps;

Mécaniques: Dureté, aptitude au poinçonnage, usinabilité, aptitude à l'emboutissage, charge de rupture;

Etat métallurgique: Etat subséquent aux déformations à chaud ou à froid; au forgeage; à l'emboutissage.

Note. — Dans le cas de matériaux qui ont été soumis à des transformations mécaniques, les caractéristiques magnétiques utilisées comme base de la sous-classification doivent être développées par un recuit. Ce dernier doit être effectué conformément aux recommandations du fabricant.

A0.3. Applications principales

Relais pour courant continu, haut-parleurs, électro-aimants, embrayages magnétiques, freins, éléments de circuit magnétique d'instruments de contrôle et de mesures, pièces polaires et pièces diverses pour moteurs et génératrices à courant continu.

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 following ranges:

Ranges of chemical composition (%)

C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
0.005 to 0.030	0.002 to 0.10	0.03 to 0.20	0.005 to 0.015*	0.010 to 0.030*	0.002 to 0.08	0.002 to 0.10

* For improved free machining capability, the upper limits for P and S may be higher than indicated in the table.

A0.1.2 *Basis of sub-classification*

The recommended sub-classification is based on coercivity values.

A0.1.3 *Available forms*

This material is available in a wide variety of forms. It may be supplied as slabs, billets, ingots and forgings; as hot-rolled bar in rectangular and square cross-sections; as rod in round, hexagonal and octagonal cross-sections; in cold-rolled and drawn forms as bar, rod and wire; as flat-rolled sheet and strip.

A0.2. **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 flux density; permeability for various field strengths; 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.

Note. — For material which has been mechanically worked, the magnetic properties used as the basis of sub-classification will be achieved only by annealing in accordance with the recommendations of the manufacturer.

A0.3 **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.

B ACIERS DOUX À FAIBLE TENEUR EN CARBONE

B2. PRODUITS PLATS

B2.0.1 Généralités

B2.0.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer accompagné, en dehors des impuretés inévitables, de faibles teneurs en éléments étrangers qui peuvent provenir d'additions nécessaires au cours de la fabrication. Normalement ces matériaux doivent subir, après découpage, un traitement thermique destiné à développer toutes leurs propriétés magnétiques.

B2.0.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur les pertes totales spécifiques qui sont fonction notamment de l'épaisseur. Elles sont mesurées habituellement aux valeurs d'induction de 1,0 T ou 1,5 T et aux fréquences industrielles courantes.

B2.0.1.3 Mode de présentation

Ces produits sont normalement présentés sous forme de tôles, ou de bandes en rouleaux.

B2.0.2 Caractéristiques physiques

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

Magnétiques: Induction pour diverses valeurs du champ magnétisant;

Mécaniques: Aptitude au poinçonnage; état de surface; facteur de foisonnement;

Etat métallurgique: Etat « dur », c'est-à-dire brut de laminage à froid.

Recuit et écroui ultérieurement.

Recuit.

Note. — Pour les matériaux livrés en état brut de laminage ou recuit et écrouis ultérieurement, la sous-classification est fondée sur les pertes totales spécifiques mesurées après traitement thermique effectué dans les conditions prescrites par le fabricant.

Dimensions: Epaisseur, largeur et, si nécessaire, longueur.

Les valeurs d'épaisseur nominale recommandées sont 0,47 mm, 0,50 mm, 0,63 mm, 0,65 mm et 1,0 mm.

Les mesures magnétiques doivent être faites conformément à la Publication 404-2 de la CEI: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques, électriques et physiques des tôles et feuillards magnétiques.

B LOW CARBON MILD STEELS

B2. FLAT MATERIAL

B2.0.1. General

B2.0.1.1 *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. These materials usually require final annealing treatment after punching to develop their full magnetic properties.

B2.0.1.2 *Basis of sub-classification*

The recommended sub-classification is based on the specific total losses which are a function of thickness and are normally measured at magnetic flux density values of 1.0 T or 1.5 T and at normal industrial power frequencies.

B2.0.1.3 *Available forms*

The material is normally supplied in the form of coils or sheets.

B2.0.2 Physical characteristics

In addition to specific total losses, a fuller definition of these materials can be based on the following properties.

Magnetic: Flux density at various values of field strength;

Mechanical: Suitability for punching operations, surface condition, stacking factor;

Metallurgical state: Hard state — i.e. as processed or cold-rolled.

Annealed and finally cold-worked.

Annealed state.

Note. — For material delivered in the hard state or annealed and finally cold-worked, the sub-classification is based on the total specific losses measured after heat treatment according to the recommendations of the manufacturer.

Dimensions: Thickness, width and (as required) length.

Recommended nominal thicknesses for these materials are 0.47 mm, 0.50 mm, 0.63 mm, 0.65 mm and 1.0 mm.

Magnetic measurements shall be made in accordance with IEC Publication 404-2: Methods of Measurement of Magnetic, Electrical and Physical Properties of Magnetic Sheet and Strip.

Les intervalles de valeurs types des pertes totales spécifiques après recuit final, pour deux valeurs courantes d'épaisseur, figurent dans le tableau suivant:

Epaisseur nominale (mm)	Intervalles de pertes totales spécifiques (W/kg) à:			
	50 Hz		60 Hz	
	1,0 T	1,5 T	1,0 T	1,5 T
0,50	2,6 à 4,3	5,8 à 10,5	3,3 à 5,6	7,3 à 13,3
0,65	2,8 à 5,0	7,0 à 12,0	3,6 à 6,3	8,2 à 15,5

B2.0.3 Applications principales

Ces matériaux sont utilisés principalement pour la fabrication de circuits magnétiques empilés destinés aux appareils électriques et particulièrement aux petites machines tournantes.

C ACIERS AU SILICIUM

C1. PRODUITS MASSIFS

C1.0.1 Généralités

C1.0.1.1 Composition chimique

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

C1.0.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur la résistivité électrique, qui dans ce cas particulier est fonction de la teneur en silicium.

C1.0.1.3 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 travail mécanique afin de développer les caractéristiques magnétiques requises.

C1.0.2 Caractéristiques physiques

Outre la résistivité électrique dont les valeurs types sont indiquées dans le tableau ci-après, une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

Typical ranges of values of specific total loss, after annealing, for two commonly-used thicknesses are as shown in the table.

Nominal thickness (mm)	Ranges of specific total loss (W/kg) at			
	50 Hz		60 Hz	
	1.0 T	1.5 T	1.0 T	1.5 T
0.50	2.6 to 4.3	5.8 to 10.5	3.3 to 5.6	7.3 to 13.3
0.65	2.8 to 5.0	7.0 to 12.0	3.6 to 6.3	8.2 to 15.5

B2.0.3 Main applications

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

C SILICON STEELS

C1. SOLID MATERIAL

C1.0.1 General

C1.0.1.1 Chemical composition

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

C1.0.1.2 Basis of sub-classification

The recommended sub-classification is based on the electrical resistivity which in this case is a function of silicon content.

C1.0.1.3 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.

C1.0.2 Physical characteristics

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

Magnétiques: Induction de saturation, rémanence, coercitivité;

Mécaniques: Usinabilité, ductilité, dureté;

Etat métallurgique: Déformé à chaud ou à froid; recuit pour développer les caractéristiques magnétiques requises.

Teneur en silicium	$\leq 1\%$	$> 1\% \leq 2,5\%$	$> 2,5\% \leq 5\%$
Résistivité $\mu\Omega \text{ m}$	0,13 à 0,25	0,25 à 0,40	0,40 à 0,65

C1.0.3 Applications principales

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

C2. PRODUITS PLATS

C21. ACIERS ISOTROPES* (NON ORIENTÉS) POUR UTILISATION AUX FRÉQUENCES INDUSTRIELLES

C21.0.1 Généralités

C21.0.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer. L'élément d'alliage principal est le silicium, dont la teneur est habituellement comprise entre 0,4% et 5%. D'autres éléments d'alliage, en particulier l'aluminium, peuvent aussi être présents. Ces matériaux contiennent encore les impuretés inévitables et de faibles teneurs d'autres éléments qui proviennent des additions nécessitées par les procédés de fabrication.

C21.0.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur les pertes totales spécifiques qui sont fonction de l'épaisseur et normalement mesurées à des valeurs d'induction de 1,0 T ou 1,5 T et aux fréquences industrielles.

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

C21.0.1.3 Mode de présentation

Ces matériaux sont généralement présentés sous forme de tôles, ou de bandes en rouleaux.

* Il s'agit d'un matériau pratiquement isotrope et élaboré spécialement comme tel.

- Magnetic:** Saturation flux density; remanence; coercivity;
- Mechanical:** Machinability; ductility; hardness;
- Metallurgical state:** Hot- or cold-worked; annealed to produce required magnetic characteristics.

Silicon content	$\leq 1\%$	$> 1\% \leq 2.5\%$	$> 2.5\% \leq 5\%$
Resistivity $\mu\Omega \text{ m}$	0.13 to 0.25	0.25 to 0.40	0.40 to 0.65

C1.0.3 Main applications

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

C2. FLAT MATERIAL

C21. ISOTROPIC* (NON-ORIENTED) STEELS FOR USE AT INDUSTRIAL FREQUENCIES

C21.0.1 General

C21.0.1.1 Chemical composition

The basic constituent of these materials is iron. The main alloying element is silicon, whose content may be between 0.4% and 5.0%. 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.

C21.0.1.2 Basis of sub-classification

The recommended sub-classification is based on the specific total losses which are a function of thickness and normally measured at magnetic flux density values of 1.0 T or 1.5 T and at industrial power frequencies.

When the application demands it (e.g. relays), it may be more appropriate for the sub-classification to be based on coercivity.

C21.0.1.3 Available forms

The material is normally supplied in the form of coil and sheet.

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

C21.0.2 Caractéristiques physiques

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

Magnétiques: Induction pour différentes valeurs du champ magnétisant; anisotropie;

Electriques: Coefficient de résistance d'isolement superficiel; résistivité;

Mécaniques: Aptitude au poinçonnage; ductilité (définie par l'essai de pliages alternés); résistance à la traction; état de surface; facteur de foisonnement; planéité; rectitude;

Etat métallurgique: Etat «dur», c'est-à-dire brut de laminage à froid; état recuit et écrouis ultérieurement; état recuit.

Note. — Pour les matériaux livrés en état brut de laminage ou recuit et écrouis ultérieurement, la sous-classification est fondée sur les pertes totales spécifiques mesurées après traitement thermique effectué dans les conditions prescrites par le fabricant.

Dimensions: Epaisseur, largeur et éventuellement longueur

Les valeurs recommandées pour l'épaisseur nominale sont: 0,35 mm, 0,47 mm, 0,50 mm, 0,63 mm et 0,65 mm. Si une épaisseur supérieure doit être envisagée, la valeur 1 mm est recommandée.

Les mesures magnétiques doivent être faites conformément à la Publication 404-2 de la C.E.I. Les valeurs de masse volumique à retenir pour les calculs doivent faire l'objet d'un accord, ou peuvent être déterminées suivant la méthode décrite dans les publications correspondantes.

Les intervalles de valeurs types des pertes totales spécifiques après recuit final, pour trois épaisseurs courantes, figurent dans le tableau suivant:

Epaisseur nominale (mm)	Intervalles de pertes totales spécifiques (W/kg) à:			
	50 Hz		60 Hz	
	1,0 T	1,5 T	1,0 T	1,5 T
0,35	0,8 à 1,5	2,0 à 3,6	1,0 à 1,9	2,5 à 4,6
0,50	1,0 à 3,6	2,5 à 8,6	1,25 à 4,5	3,2 à 11,0
0,65	1,2 à 4,2	3,0 à 10,0	1,5 à 5,3	3,8 à 13,0

C21.0.3 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 sens du flux varie continuellement. Ces matériaux peuvent être aussi bien employés pour la construction de relais électromagnétiques.

C21.0.2 Physical characteristics

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

Magnetic: Flux density for different values of magnetizing field; anisotropy;

Electrical: Surface insulation, resistivity;

Mechanical: Suitability for punching operations; ductility (determined by the alternate bend test); tensile strength; surface condition and finish; stacking factor; flatness; edge camber;

Metallurgical state: Hard state, i.e. as processed; cold-rolled; annealed and finally cold-worked; annealed state.

Note. — For material delivered in the hard state or annealed and finally cold-worked, the sub-classification is based on the specific total losses measured after heat treatment according to 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, 0.63 mm and 0.65 mm. If a greater thickness is necessary, the value of 1.0 mm is recommended.

Magnetic measurements shall be made in accordance with IEC Publication 404-2. The density values to be used for magnetic measurements should be the subject of agreement or can be determined as described in the relevant publications.

Typical ranges of values of specific loss, after final annealing, for three commonly-used thicknesses are shown in the following table:

Nominal thickness (mm)	Ranges of specific total loss (W/kg) at			
	50 Hz	50 Hz	60 Hz	60 Hz
	1.0 T	1.5 T	1.0 T	1.5 T
0.35	0.8 to 1.5	2.0 to 3.6	1.0 to 1.9	2.5 to 4.6
0.50	1.0 to 3.6	2.5 to 8.6	1.25 to 4.5	3.2 to 11.0
0.65	1.2 to 4.2	3.0 to 10.0	1.5 to 5.3	3.8 to 13.0

C21.0.3 Main applications

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.

C22. ACIERS ANISOTROPES* (À GRAINS ORIENTÉS) POUR UTILISATION À FRÉQUENCES INDUSTRIELLES

C22.0.1 Généralités

C22.0.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer, l'élément d'alliage principal est le silicium (environ 3%). Ces matériaux contiennent aussi les impuretés inévitables et de faibles teneurs d'autres éléments provenant des additions nécessitées par le procédé de fabrication. Ces matériaux possèdent des caractéristiques anisotropes (orientation cristalline) et présentent, 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.

C22.0.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur les pertes totales spécifiques qui sont fonction de l'épaisseur et du degré d'orientation. Ces pertes sont normalement mesurées à une valeur d'induction de 1,5 T ou 1,7 T et aux fréquences industrielles.

C22.0.1.3 Mode de présentation

Ces matériaux sont généralement présentés sous forme de tôles, ou de bandes en rouleaux.

C22.0.2 Caractéristiques physiques

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

<i>Magnétiques:</i>	Induction pour différentes valeurs du champ magnétisant;
<i>Électriques:</i>	Coefficient de résistance d'isolement superficiel; résistivité;
<i>Mécaniques:</i>	Ductilité (définie par l'essai de pliages alternés); état de surface; facteur de foisonnement; planéité; rectitude;
<i>Etat métallurgique:</i>	Etat recuit et entièrement recristallisé;
<i>Dimensions:</i>	Épaisseur, largeur et éventuellement longueur.

Les valeurs d'épaisseur nominale recommandée sont: 0,27 mm, 0,30 mm et 0,35 mm.

Les mesures magnétiques doivent être faites conformément à la Publication 404-2 de la CEI. 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 recommandations du fabricant.

* Il s'agit d'un matériau anisotrope et élaboré pour qu'il le soit.

C22. ANISOTROPIC* (ORIENTED) STEELS FOR USE AT INDUSTRIAL FREQUENCIES

C22.0.1 General

C22.0.1.1 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.

C22.0.1.2 Basis of sub-classification

The recommended sub-classification is based on the specific total losses, which are a function of thickness and of the degree of orientation, and are normally measured at magnetic flux density values of 1.5 T or 1.7 T and at industrial power frequencies.

C22.0.1.3 Available forms

The material is normally supplied in the form of coils or sheets.

C22.0.2 Physical characteristics

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

Magnetic: Flux density for different values of magnetizing field;

Electrical: Surface insulation; resistivity;

Mechanical: Ductility (determined by the alternate bend test); 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 recommended are: 0.27 mm, 0.30 mm and 0.35 mm.

Magnetic measurements shall be made in accordance with IEC Publication 404-2. The density used for calculations is normally 7.65 kg/dm^3 and test pieces shall be taken parallel to the axis of rolling and, before measurement, undergo stress relief annealing in accordance with the recommendations of the manufacturer.

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

Les intervalles de valeurs types des pertes totales spécifiques après recuit final, pour trois épaisseurs courantes, figurent dans le tableau suivant:

Epaisseur nominale (mm)	Intervalles de pertes totales spécifiques (W/kg) à:			
	50 Hz		60 Hz	
	1,5 T	1,7 T	1,5 T	1,7 T
0,27	0,68 à 0,92	1,00 à 1,40	0,87 à 1,21	1,32 à 1,85
0,30	0,73 à 1,07	1,00 à 1,60	0,97 à 1,41	1,34 à 2,0
0,35	0,80 à 1,23	1,09 à 1,85	1,06 à 1,61	1,42 à 2,45

C22.0.3 Applications principales

Ces matériaux sont principalement utilisés pour la confection de circuits magnétiques dans lesquels le flux circule essentiellement dans une seule direction, tels les noyaux de transformateurs.

C23. Tôles minces d'acier au silicium pour utilisation aux fréquences élevées

C23.0.1 Généralités

C23.0.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer. L'élément d'alliage principal est le silicium, dont la teneur est comprise entre 2% et 4%. Outre les impuretés inévitables, ces matériaux contiennent de faibles teneurs d'autres éléments provenant des additions nécessitées par le procédé de fabrication.

C23.0.1.2 Base de sous-classification

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

C23.0.1.3 Mode de présentation

Ces matériaux sont normalement présentés sous forme de tôles en feuilles ou en rouleaux.

C23.0.2 Caractéristiques physiques

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

Magnétiques: Induction pour différentes valeurs du champ magnétisant;

Electriques: Coefficient de résistance d'isolement superficiel; résistivité;

Typical ranges of values of specific total loss, after final annealing, for three commonly-used thicknesses are as shown in the table below:

Nominal thickness (mm)	Ranges of specific total loss (W/kg) at			
	50 Hz		60 Hz	
	1.5 T	1.7 T	1.5 T	1.7 T
0.27	0.68 to 0.92	1.00 to 1.40	0.87 to 1.21	1.32 to 1.85
0.30	0.73 to 1.07	1.00 to 1.60	0.97 to 1.41	1.34 to 2.0
0.35	0.80 to 1.23	1.09 to 1.85	1.06 to 1.61	1.42 to 2.45

C22.0.3 Main applications

These materials are used mainly for the manufacture of magnetic cores in which the flux circulates essentially in one direction, as for example in transformer cores.

C23. THIN SILICON STEELS FOR USE AT HIGHER FREQUENCIES

C23.0.1 General

C23.0.1.1 Chemical composition

The basic constituent of these materials is iron. The main alloying element is silicon between 2.0% and 4.0% together with unavoidable impurities and low levels of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process.

C23.0.1.2 Basis of sub-classification

The recommended sub-classification is based on the anisotropy and the specific total losses which are a function of thickness, magnetic flux density value and test frequency.

C23.0.1.3 Available forms

The material is normally supplied in the form of coil and sheet.

C23.0.2 Physical characteristics

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

Magnetic: Flux density for different values of the magnetizing field;

Electrical: Surface insulation; resistivity;