

**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 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**

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

e-mail: inmail@iec.ch

3, rue de Varembeé Geneva, Switzerland
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 Socialistes Soviétiques
Bésil	Italie	Yougoslavie
Canada	Japon	
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 feuillards 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 maintenues 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	≤ 1%	> 1% ≤ 2,5%	> 2,5% ≤ 5%
Résistivité μΩ 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	≤ 1%	> 1% ≤ 2.5%	> 2.5% ≤ 5%
Resistivity μΩ 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 CEI. 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			
	1.0 T	50 Hz 1.5 T	60 Hz 1.0 T	60 Hz 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:

Magnétiques: Induction pour différentes valeurs du champ magnétisant;

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

Mécaniques: Ductilité (définie par l'essai de pliages alternés); état de surface; facteur de foisonnement; planéité; rectitude;

Etat métallurgique: Etat recuit et entièrement recristallisé;

Dimensions: Epaisseur, 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 $7,65 \text{ kg/dm}^3$ 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/dm³ 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;

Mécaniques: Ductilité, facteur de foisonnement, planéité, rectitude;

Etat métallurgique: Etat recuit et entièrement recristallisé;

Dimensions: Epaisseur et largeur.

Les épaisseurs recommandées et les conditions de mesure sont les suivantes:

Type	Epaisseur (mm)	Induction (T)	Fréquence (Hz)
Anisotrope (orienté)	0,025	0,2	8 000
	0,050	1,5	400
	0,100	1,5	400
	0,150	1,5	400
	0,200	1,5	400
Isotrope (non orienté)	0,100	1,0	400
	0,125	1,0	400
	0,150	1,0	400
	0,175	1,0	400
	0,200	1,0	400

Les mesures magnétiques doivent être effectuées sur des éprouvettes recuites suivant recommandations du fabricant.

C23.0.3 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.

D AUTRES TYPES D'ACIERS

D1. PRODUITS MASSIFS

D11. PIÈCES MOULÉES

D11.0.1 Généralités

D11.0.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer accompagné des impuretés inévitables. L'élément d'alliage principal est le carbone, dont la teneur est inférieure à 0,3%. D'autres éléments (tels que manganèse, molybdène, vanadium et silicium) peuvent aussi être présents; ils proviennent alors d'additions faites pour atteindre les caractéristiques désirées.

Mechanical: Ductility; stacking factor; flatness, edge camber;

Metallurgical state: Annealed and fully recrystallized;

Dimensions: Thickness and width.

Recommended thicknesses and conditions of measurement are as follows:

Type	Thickness (mm)	Magnetic flux density (T)	Frequency (Hz)
Anisotropic (oriented)	0.025	0.2	8 000
	0.050	1.5	400
	0.100	1.5	400
	0.150	1.5	400
	0.200	1.5	400
Isotropic (non-oriented)	0.100	1.0	400
	0.125	1.0	400
	0.150	1.0	400
	0.175	1.0	400
	0.200	1.0	400

The magnetic properties are determined on test pieces which have been annealed in accordance with the recommendations of the manufacturer.

C23.0.3 Main applications

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

D OTHER STEELS

D1. SOLID MATERIAL

D11. CAST SOLID STEELS

D11.0.1 General

D11.0.1.1 Chemical composition

The basic constituent of these materials is iron containing unavoidable impurities. The main alloying elements are carbon, whose content is lower than 0.3%, and other elements (typically manganese, molybdenum, vanadium and silicon) which may arise from additions necessitated during the manufacturing process to develop the required properties.

D11.0.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur les caractéristiques mécaniques, en particulier la charge de rupture. Ces caractéristiques sont fonction de la composition chimique et des traitements thermiques.

D11.0.1.3 Mode de présentation

Ces matériaux sont normalement présentés sous forme de pièces moulées ayant reçu le traitement thermique final ou sous forme de pièces partiellement usinées suivant les plans de l'utilisateur.

D11.0.2 Caractéristiques physiques

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

- Magnétiques:* Induction pour différentes valeurs du champ magnétisant;
Electrique: Résistivité;
Mécaniques: Limite d'élasticité, allongement, résilience, absence de défauts;
Etat métallurgique: Après recuit de normalisation et revenu ou après trempe et revenu.

Les essais mécaniques et les essais non destructifs doivent être exécutés conformément aux normes appropriées de l'ISO. Les mesures magnétiques doivent être exécutées conformément aux normes de la C E I correspondantes.

Les valeurs types des caractéristiques mentionnées précédemment sont les suivantes:

Limite conventionnelle d'élasticité (ou à 0,2% d'allongement)	200 N/mm ² à 450 N/mm ²
Charge de rupture	300 N/mm ² à 700 N/mm ²
Allongement ($L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$)	12% à 25%
Résilience (éprouvettes entaillées en V)	16 J à 40 J
Induction T (en fonction de l'intensité de champ (A/m))	2 500 A/m: 1,30 T à 1,45 T 5 000 A/m: 1,50 T à 1,60 T 10 000 A/m: 1,65 T à 1,80 T

D11.0.3 Applications principales

Ces matériaux sont utilisés pour la construction de circuits magnétiques d'appareils électriques, en particulier les éléments de machines tournantes, tels que les rotors, pièces polaires, plaques de pression, culasses d'aimants.

D11.0.1.2 *Basis of sub-classification*

The recommended sub-classification is based on the mechanical properties, principally the tensile strength, which are a function of chemical composition and heat treatment.

D11.0.1.3 *Available forms*

The material is normally supplied in the form of castings in a finally heat-treated condition or partially machined to drawings supplied by the user.

D11.0.2 **Physical characteristics**

In addition to the values of tensile strength, a more complete definition of the material may be based on the following characteristics:

- Magnetic:** Flux density for different values of magnetizing field;
- Electrical:** Resistivity;
- Mechanical:** Yield strength, elongation, impact properties, freedom from defects;
- Metallurgical state:** Either normalized and tempered or quenched and tempered.

Mechanical and non-destructive tests shall be in accordance with the appropriate ISO standards. Magnetic properties shall be measured in accordance with the appropriate IEC standards.

Typical ranges of values of the above characteristics are as follows:

Yield strength (or 0.2% proof stress)	200 N/mm ² to 450 N/mm ²
Tensile strength	300 N/mm ² to 700 N/mm ²
Elongation ($L_0 = 5.65 \sqrt{S_0}$)	12% to 25%
Impact values (V-notch test pieces)	16 J to 40 J
Flux density T (as a function of field strength (A/m))	2 500 A/m: 1.30 T to 1.45 T 5 000 A/m: 1.50 T to 1.60 T 10 000 A/m: 1.65 T to 1.80 T

D11.0.3 **Main applications**

This material is used in the magnetic circuits of electrical apparatus, particularly in parts of rotating machinery such as rotors, pole pieces, pressure plates and magnet frames.

D12. PIÈCES FORGÉES

D12.0.1 Généralités

D12.0.1.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer. L'élément d'alliage principal est le carbone, dont la teneur peut être comprise entre 0,15% et 0,5%. Suivant les caractéristiques mécaniques requises et les dimensions des pièces, d'autres éléments d'alliage peuvent éventuellement être aussi présents: nickel (jusqu'à 4%), chrome (jusqu'à 1,8%), molybdène (jusqu'à 0,50%), vanadium (jusqu'à 0,12%), manganèse (jusqu'à 1,9%). Ces matériaux contiennent aussi les impuretés inévitables ainsi que de faibles teneurs d'autres éléments (Si, Al) qui peuvent provenir d'additions nécessitées par le procédé de fabrication.

D12.0.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur la limite d'élasticité ou à 0,2% d'allongement qui est normalement fonction de la composition chimique et des traitements thermiques.

D12.0.1.3 Mode de présentation

Ces matériaux sont normalement présentés sous forme de pièces forgées ayant reçu le traitement thermique final ou sous forme de pièces partiellement usinées suivant les plans de l'utilisateur.

D12.0.2 Caractéristiques physiques

Outre les valeurs de la limite d'élasticité ou à 0,2% d'allongement, une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

Magnétiques: Induction pour différentes valeurs du champ magnétisant;

Electrique: Résistivité;

Mécaniques: Charge de rupture, allongement, résilience, pliage, absence de défauts;

Etat métallurgique: Après recuit de normalisation et revenu ou après trempe et revenu;

Dimensions: Suivant les plans de l'utilisateur.

Les essais mécaniques et les essais non destructifs doivent être exécutés conformément aux normes appropriées de l'ISO. Les mesures magnétiques doivent être exécutées conformément aux normes correspondantes de la CEI.

Les valeurs types des caractéristiques mentionnées précédemment sont les suivantes:

Limite conventionnelle d'élasticité (ou à 0,2% d'allongement)	200 N/mm ² à 800 N/mm ²
Charge de rupture	300 N/mm ² à 1 000 N/mm ²
Allongement ($L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$)	12% à 20%
Résilience (éprouvettes entaillées en V)	16 J à 136 J

D12. FORGED SOLID STEEL

D12.0.1 General

D12.0.1.1 Chemical composition

The basic constituent of this material is iron. The main alloying element is carbon whose content may vary from 0.15% to 0.5%. Other alloying elements may be present such as nickel (up to 4%), chromium (up to 1.8%), molybdenum (up to 0.50%), vanadium (up to 0.12%), manganese (up to 1.9%), depending on the mechanical properties required and the size of the forgings. The material also contains unavoidable impurities together with a low content of other elements (Si, Al) which may arise from additions necessitated during the manufacturing process.

D12.0.1.2 Basis of sub-classification

The recommended sub-classification is based on the yield strength or 0.2%-proof stress which is normally a function of chemical composition and heat treatment.

D12.0.1.3 Available forms

The material is usually supplied in the form of forgings in a finally heat-treated semi-finished machined condition to drawings supplied by the user.

D12.0.2 Physical characteristics

In addition to the values of yield strength or 0.2%-proof stress, a more complete definition of the material may be based on the following characteristics:

Magnetic: Flux density for different values of magnetizing field;

Electrical: Resistivity;

Mechanical: Tensile strength, elongation, impact properties, bend test, freedom from defects;

Metallurgical state: Either normalized and tempered or quenched and tempered;

Dimensions: According to drawings of the purchaser.

Mechanical and non-destructive tests shall be in accordance with the appropriate ISO standards. Magnetic properties shall be measured in accordance with the appropriate IEC standards.

Typical ranges of values of the above characteristics are as follows:

Yield strength (or 0.2%-proof stress)	200 N/mm ² to 800 N/mm ²
Tensile strength	300 N/mm ² to 1 000 N/mm ²
Elongation ($L_0 = 5.65 \sqrt{S_0}$)	12% to 20%
Impact values (V-notch test pieces)	16 J to 136 J

D12.03 Applications principales

Ces matériaux sont utilisés pour la construction de circuits magnétiques d'appareils électriques, particulièrement les parties soumises à des sollicitations mécaniques telles que les arbres de machines tournantes, épanouissements polaires, noyaux polaires et plaques d'extrémité.

D2. PRODUITS PLATS

D2.01 Généralités

D2.01.1 Composition chimique

Le constituant de base de ces matériaux est le fer. L'élément d'alliage principal est le carbone, dont la teneur est généralement comprise entre 0,10% et 0,40%. D'autres éléments d'alliage, en particulier le silicium, peuvent aussi être présents. Ces matériaux contiennent encore les impuretés inévitables et de faibles teneurs d'autres éléments provenant des additions nécessitées par le procédé de fabrication.

D2.01.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur la limite conventionnelle d'élasticité soit à 0,2%, soit à 0,1% d'allongement.

D2.01.3 Mode de présentation

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

D2.02 Caractéristiques physiques

Outre les valeurs de la limite d'élasticité une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur d'autres caractéristiques importantes, telles que:

<i>Magnétiques:</i>	Induction pour différentes valeurs du champ magnétisant;
<i>Electrique:</i>	Résistivité;
<i>Mécaniques:</i>	Charge de rupture, allongement, pliage, état de surface, aptitude au poinçonnage, planéité, rectitude;
<i>Etat métallurgique</i>	Brut de laminage à chaud ou à froid;
<i>Dimensions:</i>	Epaisseur, largeur et éventuellement longueur.

Les valeurs d'épaisseur nominale recommandées se situent dans l'intervalle de 0,50 mm à 3,0 mm.

D12.0.3 Main applications

This material is used in magnetic circuits of electrical apparatus and particularly in the stressed parts of rotating machines such as shafts for rotating machines, pole shoes, pole bodies and pole endplates.

D2. FLAT MATERIAL

D2.0.1 General

D2.0.1.1 *Chemical composition*

The basic constituent of these materials is iron. The main alloying element is carbon whose content may be between 0.10% and 0.40%. Other alloying elements, for example silicon may also be present. The material also contains unavoidable impurities and a low level of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process.

D2.0.1.2 *Basis of sub-classification*

The recommended sub-classification is based either on the 0.2%- or the 0.1%-proof stress values.

D2.0.1.3 *Available forms*

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

D2.0.2 Physical characteristics

In addition to the proof stress values, a fuller definition of these materials is based on other important properties such as:

<i>Magnetic:</i>	Flux density at various values of field strength;
<i>Electrical:</i>	Resistivity;
<i>Mechanical:</i>	Tensile strength; elongation; bend test; surface condition; suitability for punching operations; flatness; edge camber;
<i>Metallurgical state:</i>	As processed, cold- or hot-rolled;
<i>Dimensions:</i>	Thickness, width and (as required) length.

The values of nominal thickness normally recommended lie in the range from 0.50 mm to 3.0 mm.

Les caractéristiques magnétiques doivent être mesurées conformément aux normes de la CEI.

Les valeurs types des caractéristiques mécaniques et magnétiques se situent dans les intervalles suivants:

Limite conventionnelle d'élasticité	150 N/mm ² à 525 N/mm ²
Charge de rupture	300 N/mm ² à 700 N/mm ²
Allongement ($L_0 = 80$ mm)	8% à 25%
Induction T (en fonction de l'intensité de champ (A/m))	5 kA/m: 1,45 T à 1,65 T 15 kA/m: 1,75 T à 1,82 T

D2.0.3 Applications principales

Ces matériaux sont généralement utilisés sous des conditions d'aimantation par courant continu dans les parties des circuits magnétiques de machines tournantes soumises à des sollicitations mécaniques, en particulier les croisillons, les jantes et pôles.

E ALLIAGES FER-NICKEL

E1. TENEUR EN NICKEL 72% à 83%

E1.0.1 Généralités

E1.0.1.1 Composition chimique

Les constituants de base de ces matériaux sont le fer et le nickel, la teneur de ce dernier étant comprise dans l'intervalle de 72% à 83%. D'autres éléments d'alliage tels que molybdène, cuivre, chrome ou silicium peuvent aussi être introduits en vue d'augmenter la résistivité et d'améliorer les propriétés magnétiques. Ces matériaux contiennent encore, outre les impuretés inévitables, de faibles teneurs d'autres éléments qui peuvent provenir d'additions nécessitées par le procédé de fabrication.

E1.0.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur les valeurs pour la perméabilité initiale en courant continu (30 000 à 120 000).

E1.0.1.3 Mode de présentation

Ces matériaux sont habituellement présentés sous forme de barres et bandes laminées à chaud, pièces forgées et barres, planches, fils, bandes ou rubans étirés ou laminés à froid. Le plus fréquemment, la fourniture est faite à l'état semi-fini, mais un certain nombre de produits sont offerts après avoir été soumis au traitement thermique final.

Magnetic properties shall be measured in accordance with IEC standards.

Typical values of mechanical and magnetic properties lie in the following ranges:

Proof stress	150 N/mm ² to 525 N/mm ²
Tensile strength	300 N/mm ² to 700 N/mm ²
Elongation ($L_0 = 80$ mm)	8% to 25%
Flux density (T) (as a function of field strength (A/m))	5 kA/m: 1.45 T to 1.65 T 15 kA/m: 1.75 T to 1.82 T

D2.0.3 Main applications

These materials are generally used under conditions of d.c. magnetization for the stressed parts of the magnetic circuits of rotating electrical machines, particularly spiders, rims and poles.

E NICKEL-IRON ALLOYS

E1. NICKEL CONTENT 72% TO 83%

E1.0.1 General

E1.0.1.1 *Chemical composition*

The basic constituents of these materials are iron and nickel whose content is in the range 72% to 83%. Alloying elements such as molybdenum, copper, chromium or silicon may be added to increase resistivity and improve magnetic properties. The materials also contain unavoidable impurities, together with a low level of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process.

E1.0.1.2 *Basis of sub-classification*

The recommended sub-classification is based on the initial d.c. permeability values (30 000 to 120 000).

E1.0.1.3 *Available forms*

The material is available as hot-rolled sections and strip, forgings and cold-worked rod, flat products, wire, strip or tape. They are commonly supplied in the semi-processed state, but a number of materials are available in the final heat-treated state.

E1.0.2 Caractéristiques physiques

Autres définitions de ces matériaux peuvent être fondées sur les caractéristiques suivantes:

- Magnétiques:* Des valeurs ou intervalles types pour l'induction de saturation (T), coercitivité (A/m) et perméabilité maximale en courant continu;
- Electrique:* Résistivité;
- Mécaniques:* Aptitude au poinçonnage;
- Etat métallurgique:* Brut de déformation à chaud ou à froid.
Etant fréquemment livrés à l'état semi-fini, ces matériaux doivent subir un traitement thermique pour développer en totalité leurs propriétés magnétiques.

E1.0.3 Applications principales

Ces matériaux sont utilisés quand est requise une perméabilité élevée en présence de champs magnétiques faibles; transformateurs de courant, disjoncteurs différentiels, relais sensibles, filtres à large bande, amplificateurs magnétiques de faible puissance, inductances de précision, noyaux pour commutation, têtes d'enregistreurs magnétiques, blindages magnétiques, transducteurs et appareils de mesure.

E2. TENEUR EN NICKEL DE 54% À 68%

E2.0.1 Généralités

E2.0.1.1 Composition chimique

Les constituants de base de ces matériaux sont le fer et le nickel, la teneur de ce dernier étant comprise dans l'intervalle de 54% à 68%. Dans certains cas du cobalt peut être substitué à une partie du nickel. D'autres éléments d'alliage tels que molybdène, cuivre, chrome, silicium peuvent aussi être introduits en vue d'augmenter la résistivité et d'améliorer les propriétés magnétiques. Ces matériaux contiennent encore, outre les impuretés inévitables, de faibles teneurs d'autres éléments qui peuvent provenir d'additions nécessitées par le procédé de fabrication.

E2.0.1.2 Base de sous-classification

Il n'y a pas de base simple de sous-classification. L'allure du cycle d'hystérésis peut donner une indication.

E2.0.1.3 Mode de présentation

Ces matériaux sont habituellement présentés sous forme de barres laminées à chaud, barres, bandes ou rubans étirés ou laminés à froid.

E1.0.2 Physical characteristics

Other definitions of the material can be based on the following characteristics:

- Magnetic:* Typical values or ranges for saturation flux density (T), coercivity (A/m) and maximum d.c. permeability;
- Electrical:* Resistivity;
- Mechanical:* Suitability for punching operations;
- Metallurgical state:* Hot-worked or cold-worked; Commonly supplied as semi-processed, the materials require a heat treatment to develop their full magnetic properties.

E1.0.3 Main application

Used where high permeability in weak magnetic fields is required: current transformers, protective ground fault circuit breakers, sensitive relays, wide band filters, low power magnetic amplifiers, precision inductors, switching cores, tape recorder heads, magnetic shields, transducers and measuring instruments.

E2. NICKEL CONTENT 54% TO 68%

E2.0.1 General

E2.0.1.1 Chemical composition

The basic constituents of these are iron and nickel whose content is in the range 54% to 68%. In some instances, part of the nickel may be replaced by cobalt. Additionally, molybdenum, copper, chromium or silicon may be present to increase resistivity and improve magnetic properties. The materials also contain unavoidable impurities, together with a low level of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process.

E2.0.1.2 Basis of sub-classification

There is no simple basis of sub-classification. A possible basis may be the shape of hysteresis loop.

E2.0.1.3 Available forms

The material is available as hot-rolled bar, cold-drawn rod, cold-rolled strip or tape.

E2.0.2 Caractéristiques physiques

Une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

- Magnétiques:* Perméabilité maximale en courant continu; induction de saturation; rémanence; coercitivité;
- Electrique:* Résistivité;
- Mécaniques:* Aptitude au poinçonnage;
- Etat métallurgique:* Laminé à chaud, déformé à froid ou après traitement thermique complet.

Les valeurs type des caractéristiques magnétiques mentionnées précédemment sont les suivantes:

Allure du cycle d'hystérésis	arrondie	rectangulaire
Perméabilité maximale (mesurée en courant continu)	120 000 à 400 000	200 000 à 600 000
Induction de saturation	1,5 T	1,15 T à 1,5 T
Rémanence		1,05 T à 1,4 T
Coercitivité	2 A/m à 20 A/m	2 A/m à 20 A/m

E2.0.3 Applications principales

Ces produits sont utilisés quand il est nécessaire d'obtenir des inductions élevées en présence de champs magnétiques faibles.

Disjoncteurs différentiels, transformateurs de mesure, inductances de précision, accessoires pour impulsions, amplificateurs magnétiques, transducteurs.

E3. TENEUR EN NICKEL DE 45% À 50%

E3.0.1 Généralités

E3.0.1.1 Composition chimique

Les constituants de base de ces matériaux sont le fer et le nickel, la teneur de ce dernier étant comprise dans l'intervalle de 45% à 50%. D'autres éléments d'alliage tels que molybdène, cuivre, chrome ou silicium peuvent aussi être introduits en vue d'augmenter la résistivité et d'améliorer les propriétés magnétiques. Ces matériaux contiennent encore, outre les impuretés inévitables, de faibles teneurs d'autres éléments qui peuvent provenir d'additions nécessitées par le procédé de fabrication.

E3.0.1.2 Base de sous-classification

La base de sous-classification recommandée est:

- Isotrope (non orienté)
- Anisotrope (orienté)

E2.0.2 Physical characteristics

A fuller definition of the material may be based on the following characteristics:

- Magnetic:* Maximum d.c. permeability, saturation flux density; remanence; coercivity;
- Electrical:* Resistivity;
- Mechanical:* Suitability for punching operations;
- Metallurgical state:* Hot-rolled, cold-worked or fully heat-treated.

Typical values for the above-mentioned magnetic characteristics are:

Shape of hysteresis loop	round	rectangular
Max. d.c. permeability	120 000 to 400 000	200 000 to 600 000
Saturation flux density	1.5 T	1.15 T to 1.5 T
Remanence		1.05 T to 1.4 T
Coercivity	2 A/m to 20 A/m	2 A/m to 20 A/m

E2.0.3 Main applications

The material is used where high levels of magnetic flux density in the material are required in the presence of low magnetic fields.

Protective ground fault circuit breakers, measuring transformers, precision inductors, pulse devices, magnetic amplifiers, transducers.

E3. NICKEL CONTENT 45% TO 50%

E3.0.1 General

E3.0.1.1 Chemical composition

The basic constituents of these materials are iron and nickel whose content is in the range 45% to 50%. Alloying elements such as molybdenum, copper, chromium or silicon may be added to increase resistivity and improve magnetic properties. The materials also contain unavoidable impurities, together with a low level of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process.

E3.0.1.2 Basis of sub-classification

The recommended basis of sub-classification is:

- Isotropic (non-oriented)
- Anisotropic (oriented)

E3.0.1.3 Mode de présentation

Le matériau isotrope est présenté sous forme de barres et bandes laminées à chaud, pièces forgées, barres, planches, fils, bandes ou rubans étirés ou laminés à froid.

Le matériau anisotrope est habituellement présenté sous forme de bandes ou rubans laminés à froid.

E3.0.2 Caractéristiques physiques

Une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

Magnétiques: Perméabilité maximale et perméabilité initiale (mesurées en courant continu); induction de saturation; rémanence; coercitivité;

Electrique: Résistivité;

Etat métallurgique: Laminé à chaud, déformé à froid, après recuit préliminaire, après traitement thermique complet;

Quand ces matériaux sont fournis à l'état semi-fini, ils nécessitent un traitement thermique pour développer toutes leurs propriétés magnétiques. Ce traitement doit de préférence être exécuté après mise en forme complète.

Les valeurs types de caractéristiques magnétiques mentionnées précédemment après traitement thermique complet sont les suivants:

<i>Matériau</i>	<i>Isotrope</i>	<i>Anisotrope</i>
Allure du cycle d'hystérésis	arrondie	rectangulaire
Perméabilité maximale (mesurée en courant continu)	30 000 à 120 000	80 000 à 200 000
Perméabilité initiale (mesurée en courant continu)	3 000 à 12 000	—
Induction de saturation	1,5 T à 1,6 T	1,5 T à 1,6 T
Rémanence	1,0 T	1,4 T à 1,5 T
Coercitivité	2 A/m à 10 A/m	2 A/m à 12 A/m

E3.0.3 Applications principales

Isotropes: Appareils de mesure, transformateurs de courant, transformateurs de faible puissance, éléments de relais, transducteurs.

Appareils de connexion, asservissements, adaptateurs d'impédance, transformateurs d'impulsions.

Anisotropes: Amplificateurs magnétiques, convertisseurs alternatif/continu, inductances saturables, noyaux de transformateurs d'impulsions.

E3.0.1.3 Available forms

The isotropic material is available as hot-rolled sections and strip, forgings and cold-worked rod, flat products, wire, strip or tape.

The anisotropic material is available as cold-rolled strip or tape.

E3.0.2 Physical characteristics

A fuller definition of the material may be based on the following characteristics:

- Magnetic:** Maximum d.c. permeability; initial d.c. permeability; saturation flux density; remanence; coercivity;
- Electrical:** Resistivity;
- Metallurgical state:** Hot-worked, cold-worked, pre-annealed, or fully heat-treated.

When supplied semi-processed, the materials require a heat treatment to develop their full magnetic properties. This should preferably be done in their final shape and size.

Typical values for the above-mentioned magnetic characteristics in the fully heat-treated condition are:

<i>Material</i>	<i>Isotropic</i>	<i>Anisotropic</i>
Shape of hysteresis loop	round	rectangular
Max. d.c. permeability	30 000 to 120 000	80 000 to 200 000
Initial d.c. permeability	3 000 to 12 000	—
Saturation flux density	1.5 to 1.6 T	1.5 T to 1.6 T
Remanence	1.0 T	1.4 T to 1.5 T
Coercivity	2 A/m to 10 A/m	2 A/m to 12 A/m

E3.0.3 Main applications

Isotropic: Measuring instruments, current transformers, low power transformers, relay parts, transducers.

Switching devices, servo devices, impedance matching, pulse transformers.

Anisotropic: Magnetic amplifiers, a.c./d.c. converters, saturable inductors, pulse transformer cores.

E4. TENEUR EN NICKEL DE 35% À 40%

E4.0.1 Généralités

E4.0.1.1 Composition chimique

Les constituants de base de ces matériaux sont le fer et le nickel, la teneur de ce dernier étant comprise dans l'intervalle de 35% à 40%. D'autres éléments d'alliage tels que molybdène, cuivre, chrome, silicium peuvent aussi être introduits en vue d'augmenter la résistivité et d'améliorer les propriétés magnétiques. Ces matériaux contiennent encore, outre les impuretés inévitables, de faibles teneurs d'autres éléments qui peuvent provenir d'additions nécessitées par le procédé de fabrication.

E4.0.1.2 Base de sous-classification

Il n'y a pas de base de sous-classification généralement reconnue.

E4.0.1.3 Modes de présentation

Ces matériaux sont habituellement présentés sous forme de barres laminées à chaud rondes ou rectangulaires, bandes, pièces forgées, barres étirées à froid, planches, fils, bandes ou rubans. Le plus fréquemment, la fourniture est faite à l'état semi-fini mais un certain nombre de produits sont offerts après avoir été soumis au traitement thermique final.

E4.0.2 Caractéristiques physiques

Une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

Magnétiques: Perméabilité maximale et perméabilité initiale (mesurées en courant continu), coercitivité; induction de saturation;

Electrique: Résistivité;

Mécanique: Aptitude au poinçonnage;

Etat métallurgique: Après déformation à chaud ou à froid, après recuit préliminaire, après traitement thermique complet. Quand ils sont livrés à l'état semi-fini, ces matériaux nécessitent un traitement thermique pour développer la totalité de leurs propriétés magnétiques.

E4.0.3 Applications principales

Dans le domaine des hautes fréquences et des impulsions, traducteurs de télécommunications, filtres ou transformateurs haute fréquence, transformateurs de séparation, transformateurs d'impulsions.

E4. NICKEL CONTENT 35% TO 40%

E4.0.1 General

E4.0.1.1 *Chemical composition*

The basic constituents of these materials are iron and nickel whose content is in the range 35% to 40%. Alloying elements such as molybdenum, copper, chromium or silicon may be added to increase resistivity and improve magnetic properties. The materials also contain unavoidable impurities, together with a low level of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process.

E4.0.1.2 *Basis of sub-classification*

There is no recognizable basis for sub-classification.

E4.0.1.3 *Available forms*

The material is available as hot-rolled rectangular and round bars, strip, forgings and cold-worked rod, flat products, wire, strip or tape. It is commonly supplied in the semi-processed state, but a number of materials are available in the heat-treated state.

E4.0.2 Physical characteristics

A fuller definition of the material can be based on the following characteristics:

- Magnetic:* Maximum d.c. permeability; initial d.c. permeability; coercivity; saturation flux density;
- Electrical:* Resistivity;
- Mechanical:* Suitability for punching operations;
- Metallurgical state:* Hot-worked, cold-worked, pre-annealed, fully heat-treated. When supplied semi-processed, the materials require a heat treatment to develop their full magnetic properties.

E4.0.3 Main applications

Used for high-frequency and pulse applications, telecommunication translators, high-frequency filters or transformers, blocking transformers, pulse transformers.

E5. TENEUR EN NICKEL 30% (APPROXIMATIVEMENT)

E5.0.1 Généralités

E5.0.1.1 *Composition chimique*

Les constituants de base de ces matériaux sont le fer et le nickel. La teneur en nickel est critique à environ 30%. D'autres éléments d'alliage comme le cuivre peuvent aussi être introduits pour améliorer les caractéristiques magnétiques. Ces matériaux contiennent encore, outre les impuretés inévitables, de faibles teneurs d'autres éléments qui peuvent provenir d'additions nécessitées par le procédé de fabrication.

E5.0.1.2 *Base de sous-classification*

Il n'y a pas de base de sous-classification généralement reconnue.

E5.0.1.3 *Mode de présentation*

Barres et fils étirés à froid, bandes ou rubans laminés à froid.

E5.0.2 Caractéristiques physiques

Une définition plus complète de ce matériau peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

Magnétiques: Point de Curie, variation d'induction pour un champ magnétique fixe avec la température:

Electrique: Résistivité.

E5.0.3 Applications principales

Compensation de température (shunts magnétiques) pour les dispositifs de mesure à aimants permanents.

F ALLIAGES FER-COBALT

F1. TENEUR EN COBALT DE 47% À 50%

F1.0.1 Généralités

F1.0.1.1 *Composition chimique*

Les constituants de base de ces matériaux sont le fer et le cobalt, la teneur de ce dernier étant comprise dans l'intervalle de 47% à 50% en masse. Une faible quantité de vanadium ou de chrome est ajoutée pour améliorer la ductilité.

E5. NICKEL CONTENT 30% (APPROXIMATELY)

E5.0.1 General

E5.0.1.1 Chemical composition

The basic constituents of this material are iron and nickel. The nickel content is critical at approximately 30%. Alloying elements such as copper may be added to improve magnetic performance. The materials also contain unavoidable impurities together with a low level of other elements which may arise from additions necessitated during the manufacturing process.

E5.0.1.2 Basis of sub-classification

There is no recognized basis for sub-classification.

E5.0.1.3 Available forms

Cold-drawn rod, wire and cold-rolled strip or tape.

E5.0.2 Physical characteristics

A fuller definition of the material may be based on the following characteristics:

Magnetic: Curie point, change of flux density for a given magnetic field with temperature;

Electrical: Resistivity.

E5.0.3 Main applications

Temperature compensators (magnetic shunts) for permanent magnet flux measuring devices.

F IRON-COBALT ALLOYS

F1. COBALT CONTENT 47% TO 50%

F1.0.1 General

F1.0.1.1 Chemical composition

The basic constituents of these materials are iron and cobalt which amounts to between 47% to 50% by weight. A small amount of vanadium or chromium is added to improve ductility.

F1.0.1.2 Base de sous-classification

La sous-classification recommandée est fondée sur les valeurs d'induction (B) pour une intensité de champ magnétique de 2 500 A/m ($B_{2\,500}$).

F1.0.1.3 Mode de présentation

Le matériau isotrope est habituellement présenté sous forme de barres laminées à chaud rondes ou rectangulaires, bandes et feuilles, pièces de forge, bandes ou rubans laminés à froid. Le matériau anisotrope est présenté sous forme de bandes ou de rubans.

F1.0.2 Caractéristiques physiques

Une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

Magnétiques: Perméabilité maximale relative; induction de saturation; induction magnétique pour différentes valeurs de champs magnétiques, rémanence, coercitivité, pertes totales spécifiques,

Mécaniques: A l'état laminé à froid, ces produits peuvent être découpés au poinçon; à l'état laminé à chaud ou dans l'état recuit, ils sont usinables moyennant des précautions particulières;

Etat métallurgique: Après déformation à chaud ou à froid. Etant habituellement livrés à l'état semi-fini, ces matériaux doivent subir un traitement thermique pour développer la totalité de leurs propriétés magnétiques. Ce traitement doit de préférence être effectué après complète mise en forme et dimensions.

Les valeurs types des caractéristiques magnétiques mentionnées précédemment après traitement thermique complet sont les suivantes:

Matériau	Isotropes	Anisotropes
Perméabilité maximale relative . . .	6 000 à 20 000	40 000 à 100 000
Induction de saturation	2,35 T	2,35 T
Induction magnétique $B_{1\,000}$	1,8 T à 2,0 T	2,0 T à 2,2 T
$B_{2\,500}$	1,9 T à 2,1 T	2,1 T à 2,3 T
Rémanence	—	1,9 T à 2,1 T
Coercitivité	40 A/m à 120 A/m	20 A/m à 35 A/m
Pertes totales spécifiques*	30 W/kg à 39 W/kg	20 W/kg à 25 W/kg

F1.0.3 Applications principales

Le matériau isotrope est employé pour les applications requérant des inductions extrêmement élevées sous des champs magnétiques faibles ou moyens: transformateurs, relais, composants électromagnétiques et électromécaniques pour équipement aéronautique ou aérospatial, membranes d'écouteurs téléphoniques, pièces polaires d'électro-aimants, lentilles magnétiques.

Le matériau anisotrope est utilisé pour les amplificateurs magnétiques à charge élevée et volume réduit, ainsi que pour des transformateurs spéciaux.

* Rapportées à l'épaisseur de 0,1 mm, à l'induction de 1,8 T et à la fréquence 400 Hz.

F2. TENEUR EN COBALT 35%

F2.0.1 Généralités

F2.0.1.1 Composition chimique

Les constituants de base de ce matériau sont le fer et le cobalt, la teneur de ce dernier étant d'environ 35% en masse. Une faible quantité de vanadium ou de chrome est ajoutée pour améliorer la ductilité.

F2.0.1.2 Base de sous-classification

Il n'y a pas de base de sous-classification généralement reconnue pour ce type de produit.

F2.0.1.3 Mode de présentation

Ce matériau est habituellement présenté sous forme de tôles et bandes laminées à chaud, de pièces forgées et de pièces moulées.

F2.0.2 Caractéristiques physiques

Une définition plus complète de ce matériau peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

Magnétiques: Induction magnétique; induction de saturation; coercitivité;

Mécaniques: Après déformation à chaud ou traitement thermique, sous forme massive, ce matériau est usinable moyennant des précautions particulières;

Etat métallurgique: Après laminage à chaud ou déformation à chaud. Etant habituellement livré à l'état semi-fini, ce matériau doit subir un traitement thermique pour développer la totalité des propriétés magnétiques. Cette opération doit, de préférence, être effectuée après complète mise en forme et mise aux dimensions.

Les valeurs types de caractéristiques magnétiques mentionnées précédemment après traitement thermique complet sont les suivantes:

Induction de saturation	2,40 T
Induction magnétique (B_{2500})	1,7 T à 1,9 T
Coercitivité	120 A/m à 200 A/m

F2.0.3 Applications principales

Ce matériau est principalement utilisé pour les applications impliquant des inductions extrêmement élevées ou des températures de service particulièrement hautes et pour pièces polaires d'électro-aimants.

F2. COBALT CONTENT 35%

F2.0.1 General

F2.0.1.1 Chemical composition

The basic constituents of this material are iron and cobalt which amounts to approximately 35% by weight. A small amount of vanadium or chromium is added to improve ductility.

F2.0.1.2 Basis of sub-classification

There is no generally recognized sub-classification for this material.

F2.0.1.3 Available forms

The material is available as hot-rolled strip and sheet forgings and castings.

F2.0.2 Physical characteristics

A fuller definition of the material can be based on the following characteristics:

Magnetic: Magnetic flux density, saturation flux density, coercivity;

Mechanical: The solid material can be machined with caution in the hot-worked or heat-treated state;

Metallurgical state: Hot-rolled or hot-worked. Commonly supplied as semi-processed, the material requires a heat treatment to develop its full magnetic properties. This should preferably be done in its final shape and size.

Typical values for the above-mentioned magnetic characteristics in the fully heat-treated condition are:

Saturation flux density	2.40 T
Magnetic flux density ($B_{2,500}$)	1.7 T to 1.9 T
Coercivity	120 A/m to 200 A/m

F2.0.3 Main applications

The material is mainly used for applications involving either extremely high flux densities or unusually high temperatures and as pole pieces for electromagnets.

F3. TENEUR EN COBALT DE 23% À 27%

F3.0.1 Généralités

F3.0.1.1 Composition chimique

Les constituants de base de ce matériau sont le fer et le cobalt, la teneur de ce dernier étant comprise dans l'intervalle de 23% à 27% en masse. Une faible quantité de vanadium ou de chrome est ajoutée pour améliorer la ductilité.

F3.0.1.2 Base de sous-classification

Il n'y a pas de base de sous-classification généralement reconnue pour ce type de produit.

F3.0.1.3 Mode de présentation

Ce matériau est habituellement présenté sous forme de barres rondes, de tôles et de bandes laminées à chaud, de pièces forgées, de fils, de bandes ou rubans étirés ou laminés à froid.

F3.0.2 Caractéristiques physiques

Une définition plus complète de ce matériau peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

Magnétiques: Induction magnétique; induction de saturation; coercitivité;

Mécaniques: La ductilité est meilleure que celle des alliages à teneur en cobalt plus élevée; ce matériau à l'état laminé à froid peut être découpé au poinçon et est usinable moyennant des précautions particulières dans l'état laminé à chaud ou après traitement thermique;

Etat métallurgique: Laminé à chaud, laminé à froid, forgé, moulé, étiré à froid. Ce matériau est couramment fourni à l'état semi-fini et requiert alors un traitement thermique pour développer toutes ses propriétés magnétiques. Ce traitement doit de préférence être effectué après complète mise en œuvre et mise aux dimensions.

Les valeurs types de caractéristiques magnétiques mentionnées précédemment après traitement thermique complet sont les suivantes:

Induction de saturation	2,40 T
Induction magnétique (B_{2500})	1,7 T à 1,9 T
Coercitivité	140 A/m à 320 A/m

F3.0.3 Applications principales

Ce matériau est essentiellement employé pour des applications à induction magnétique très élevée ou pour service à températures particulièrement hautes, telles que la fabrication d'accessoires électromagnétiques ou électromécaniques pour l'équipement aéronautique ou aérospatial, et plus particulièrement pour les éléments soumis à des contraintes mécaniques. Ce produit est encore utilisé pour la fabrication de pièces polaires pour électro-aimants.

F3. COBALT CONTENT 23% TO 27%

F3.0.1 General

F3.0.1.1 Chemical composition

The basic constituents of this material are iron and cobalt which amounts to between 23% to 27% by weight. A small amount of vanadium or chromium is added to improve ductility.

F3.0.1.2 Basis of sub-classification

There is no generally recognized basis for the sub-classification of this material.

F3.0.1.3 Available forms

The material is available as hot-rolled round bar, hot-rolled sheet and strip, forgings, cold-drawn wire and cold-rolled strip and tape.

F3.0.2 Physical characteristics

A fuller definition of the material can be based on the following characteristics:

Magnetic: Magnetic flux density, saturation flux density, coercivity;

Mechanical: Better ductility than the higher content cobalt alloys; suitable for punching operations in the cold-worked state and machinable with caution in the hot-worked or heat-treated state;

Metallurgical state: Hot-rolled, cold-rolled, forged, cast or cold-drawn. Commonly supplied as semi-processed, the material requires a heat treatment to develop its full magnetic properties. This should preferably be done in its final shape and size.

Typical values for the above-mentioned magnetic characteristics in the fully heat-treated condition are:

Saturation flux density	2.40 T
Magnetic flux density (B_{2500})	1.7 T to 1.9 T
Coercivity	140 A/m to 320 A/m

F3.0.3 Main applications

This material is mainly used for applications involving either extremely high flux densities or unusually high temperatures, such as for electromagnetic and electromechanical devices for aeronautical or aerospace equipment, especially when subjected to mechanical load in service. It is also used for pole pieces for electromagnets.

G AUTRES ALLIAGES

G1. ALLIAGES FER-ALUMINIUM

G1.0.1 Généralités

G1.0.1.1 *Composition chimique*

Les constituants de base de ces matériaux sont le fer et l'aluminium, la teneur de ce dernier étant le plus souvent de 12% ou 16%. Les impuretés inévitables y sont aussi présentes. Ces matériaux peuvent contenir des additions de chrome ou de rhénium pour améliorer les propriétés magnétiques de l'alliage.

G1.0.1.2 *Base de sous-classification*

La base de sous-classification recommandée est la teneur en aluminium.

G1.0.1.3 *Mode de présentation*

Ces produits sont normalement présentés sous forme de barres, de rubans ou de tôles.

G1.0.2 **Caractéristiques physiques**

Outre la teneur en aluminium, une définition plus complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

Magnétiques: Perméabilité initiale et maximale; coercitivité; induction de saturation; magnétostriction;

Mécaniques: Dureté, aptitude au poinçonnage, état de surface;

Etat métallurgique: Laminé à chaud;

Dimensions: Epaisseur, éventuellement largeur, diamètre.

Les valeurs recommandées pour l'épaisseur nominale sont comprises entre 0,1 mm et 0,5 mm pour les produits plats ou entre 10 mm et 120 mm pour les diamètres.

G1.0.3 **Applications principales**

Ces matériaux sont utilisés pour la fabrication de noyaux empilés pour têtes magnétiques et transducteurs ultrasonores.

G OTHER ALLOYS

G1. ALUMINIUM-IRON ALLOYS

G1.0.1 General

G1.0.1.1 *Chemical composition*

The basic constituents of these materials are iron and aluminium whose content is most commonly 12% or 16%, together with unavoidable impurities. These materials may contain additions of chromium and rhenium to improve the magnetic parameters of the alloy.

G1.0.1.2 *Basis of sub-classification*

The recommended sub-classification is based on the aluminium content.

G1.0.1.3 *Available forms*

The material is normally supplied in the form of bars, tapes and sheets.

G1.0.2 Physical characteristics

In addition to aluminium content, a fuller definition of the material may be based on the following:

Magnetic: Initial and maximum permeability, coercivity; saturation flux density, magnetostriction;

Mechanical: Hardness, suitability for punching operations, surface condition;

Metallurgical state: Hot-rolled;

Dimensions: Thickness, width (as required), diameter.

Recommended nominal dimensions are in the range 0.1 mm to 0.5 mm thickness for flat products or of 10 mm to 120 mm diameter.

G1.0.3 Main applications

The materials are used in the manufacture of laminated cores for magnetic heads and ultrasonic transducers.

G2. ALLIAGES FER-ALUMINIUM-SILICIUM

G2.0.1 Généralités

G2.0.1.1 *Composition chimique*

Les constituants de base de ces matériaux sont le fer, l'aluminium dont la teneur est normalement comprise dans l'intervalle de 5% à 6,5%, et le silicium dans l'intervalle de 7% à 9,5%, ainsi que des impuretés inévitables. Ces alliages peuvent contenir des additions de titane, de cérium, de niobium et de vanadium pour améliorer les propriétés magnétiques et mécaniques.

G2.0.1.2 *Base de sous-classification*

La sous-classification recommandée est fondée sur la perméabilité initiale.

G2.0.1.3 *Mode de présentation*

Ce matériau est normalement fourni sous forme de pièces moulées ou de produits semi-finis, par exemple de poudres.

G2.0.2 **Caractéristiques physiques**

En plus de la perméabilité initiale, une définition plus complète peut être fondée sur les caractéristiques suivantes:

<i>Magnétiques:</i>	Induction de saturation; coercitivité;
<i>Electrique:</i>	Résistivité;
<i>Mécanique:</i>	Dureté;
<i>Etat métallurgique:</i>	Brut de coulée;
<i>Dimensions:</i>	Suivant accord.

G2.0.3 **Applications principales**

Ces matériaux sont utilisés pour certaines parties de circuits magnétiques, de têtes magnétiques et sous forme de produits semi-finis, par exemple de poudres.

G2. ALUMINIUM-SILICON-IRON ALLOYS

G2.0.1 General

G2.0.1.1 *Chemical composition*

The basic constituents of these materials are iron, aluminium, the content of which is commonly in the range 5% to 6.5%, and silicon in the range from 7% to 9.5% together with unavoidable impurities. These alloys may contain additions of titanium, cerium, niobium and vanadium to increase magnetic and mechanical properties.

G2.0.1.2 *Basis of sub-classification*

The recommended sub-classification is based on the initial permeability.

G2.0.1.3 *Available forms*

The material is normally supplied in the form of castings and of semi-processed products, for example powder.

G2.0.2 Physical characteristics

In addition to the initial permeability, a fuller definition of the material may be based on the following characteristics.

Magnetic: Saturation flux density, coercivity;

Electrical: Resistivity;

Mechanical: Hardness;

Metallurgical state: As cast;

Dimensions: According to agreement.

G2.0.3 Main applications

The materials are used for the parts of magnetic circuits, magnetic heads and as semi-processed products, for example powder.

H FERRITES MAGNÉTIQUES DOUX

H1. GÉNÉRALITÉS

H1.0.1 Caractéristiques principales

Les ferrites magnétiques doux ont deux caractéristiques remarquables que ne possèdent pas les aciers et alliages de fer correspondants:

- une résistivité relativement élevée, ce qui rend le matériau utilisable en hautes fréquences,
- une technologie de fabrication qui permet une réalisation économique de noyaux de formes relativement compliquées dans lesquels les bonnes propriétés du matériau sont conservées.

Cela permet la réalisation de noyaux pour inductances à entrefer ayant un champ de fuite extérieur pratiquement nul.

D'un autre côté l'induction à saturation relativement faible et les valeurs modérées de perméabilité rendent le matériau moins favorable pour les utilisations aux fréquences industrielles.

H1.0.1.1 Composition

La majorité des ferrites doux disponibles commercialement sont des céramiques polycristallines ayant une structure cristalline cubique et une formule de type MeFe_2O_4 où Me représente un ou plusieurs métaux divalents de transition. Dans les matériaux les plus courants Me est une combinaison soit de manganèse et de zinc, soit de nickel et de zinc.

H1.0.1.2 Base de sous-classification

Aucune base de sous-classification généralement admise ne peut être recommandée.

H1.0.1.3 Mode de présentation

Les ferrites magnétiques doux sont généralement fournis sous forme de composants magnétiques pour lesquels les matières premières sont transformées en poudre, laquelle subit une mise en forme, un frittage et une finition mécanique. Une très petite proportion seulement est fournie comme matériau sous forme de poudre magnétique (frittée complètement).

Note. — Des poudres prêtes à l'emploi pour la production des composants ne doivent pas être considérées comme matériau ferrite pour les besoins de cette classification.

H2. CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES

Une définition complète de ces matériaux peut être fondée sur les caractéristiques suivantes. Lorsqu'on cite des valeurs pour les matériaux, celles-ci sont normalement mesurées sur des tores de dimensions données et on doit remarquer que des caractéristiques identiques ne

H MAGNETICALLY SOFT FERRITES

H1. GENERAL

H1.0.1 Special features

Magnetically soft ferrites have two outstanding characteristics not possessed by the corresponding iron, steel and alloys:

- a relatively high resistivity which makes the material suitable for use at high frequencies,
- a manufacturing technology that allows the economical manufacture of cores of relatively complicated shape in which the favourable properties of the material are maintained.

This permits the design of cores for air-gapped inductors having practically no external stray field.

On the other hand, the relatively low saturation flux density and moderate permeability values make the material less favourable for use at power frequencies.

H1.0.1.1 Composition

The majority of commercially available soft ferrites are polycrystalline ceramics having a cubic crystal structure and a typical formula MeFe_2O_4 where Me usually represents one or more of the divalent transition metals. In the most common materials, Me is either a combination of manganese and zinc, or of nickel and zinc.

H1.0.1.2 Basis of sub-classification

No generally valid basis for sub-classification can be recommended.

H1.0.1.3 Available form

Magnetically soft ferrites are generally supplied in the form of magnetic components, for which the raw materials are made into powder, formed to the required shape, sintered and mechanically finished. Only a very small proportion is supplied as a material in the form of a (fully sintered) magnetic powder.

Note. — Ready-made powders for component production should not be considered as ferrite material for the purpose of this classification.

H2. PHYSICAL CHARACTERISTICS

A complete definition of these materials can be based on the following characteristics. Where material values are quoted, these are normally measured on ring cores of stated dimensions and it should be noted that identical characteristics cannot always be realized on a component of

peuvent pas toujours être réalisées sur un composant de géométrie différente (voir également la Publication 401 de la C E I: Information sur les matériaux ferrites figurant dans les catalogues des fabricants de noyaux pour transformateurs et bobines d'inductance).

Magnétiques: Perméabilité initiale; pertes totales spécifiques en fonction de la fréquence; pertes par hystérésis, ou pertes totales spécifiques en fonction de la température; variations de la perméabilité en fonction de la température; perméabilité réversible pour différentes valeurs du champ; désaccommodation; induction à saturation; coercitivité; rectangularité du cycle d'hystérésis;

Thermique: Point de Curie;

Electrique: Résistivité.

Les propriétés dépendent fortement de la composition exacte du matériau c'est-à-dire des ions métalliques et de leur proportion. Le traitement thermique, y compris l'atmosphère et le refroidissement sont des facteurs critiques pour l'obtention des propriétés.

La variation d'une propriété influence normalement les différentes autres propriétés. Cette situation donne lieu à l'existence de nombreux matériaux différents, chacun destiné à un groupe relativement restreint d'applications.

H3. APPLICATIONS PRINCIPALES

Parmi les applications les plus importantes, on peut citer les suivantes:

- Noyaux pour inductances et transformateurs travaillant aux fréquences dans la gamme allant des fréquences acoustiques à plusieurs centaines de mégahertz.
- Noyaux pour transformateurs d'impulsions jusqu'à plusieurs centaines de mégahertz.
- Bâtonnets d'antenne.
- Noyaux pour transformateurs de puissance travaillant à des fréquences dans la gamme allant de 5 kHz à environ 30 MHz.
- Noyaux toroïdaux et noyaux à plusieurs ouvertures pour les dispositifs de mémoire.
- Noyaux pour têtes d'enregistrement.
- Noyaux pour bobines de déflexion pour tube cathodique.
- Noyaux pour dispositifs pour hyperfréquences réciproques et non réciproques.
- Perles pour découplage aux fréquences radioélectriques et affaiblissement des signaux parasites.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES DURS

En considération de leur application, les propriétés des matériaux magnétiques durs (alliages, céramiques, autres produits) sont essentiellement décrites par les caractéristiques suivantes:

- a) Valeur maximale de (BH) : $(BH)_{\max}$
- b) Rémanence: B_r
- c) Coercitivité H_{cB} : H_{cB}
- d) Coercitivité H_{cJ} : H_{cJ}
- e) Perméabilité de recul: μ_{rec}

differing geometry (see also IEC Publication 401, Information on Ferrite Materials appearing in Manufacturers' Catalogues of Transformer and Inductor Cores).

Magnetic: Initial permeability; specific total loss as a function of frequency; hysteresis loss or specific total loss as a function of temperature; temperature dependance of permeability; reversible permeability at various values of field strength; disaccommodation; saturation flux density; coercivity; squareness of the $B-H$ loop;

Thermal: Curie point;

Electrical: Resistivity.

The properties depend strongly on the exact composition of the material, i.e. the metal ions and their proportion. The heat treatment including atmosphere and cooling rate are critical factors in developing the properties.

Variation of one property normally influences the value of various other properties. This situation gives rise to the existence of many separate materials, each intended for a relatively small group of applications.

H3. MAIN APPLICATIONS

Among the most important applications are the following:

- Cores for inductors and transformers operating at frequencies in the range from audio-frequency to several hundreds of megahertz.
- Cores for pulse transformers up to several hundred megahertz.
- Aerial rods.
- Cores for power transformers operating at frequencies in the range from about 5 kHz to about 30 MHz.
- Ring cores and multiperture cores for data storage devices.
- Cores for recording heads.
- Cores for deflection coils on cathode-ray tubes.
- Cores for reciprocal and non-reciprocal microwave devices.
- Beads for RF decoupling and attenuation of unwanted signals.

MAGNETICALLY HARD MATERIALS

In view of their application, the properties of magnetically hard materials (alloys, ceramics, other materials) are mainly described by the following characteristics:

- a) Maximum value of (BH) : $(BH)_{\max}$
- b) Remanence: B_r
- c) Coercivity H_{cB} : H_{cB}
- d) Coercivity H_{cJ} : H_{cJ}
- e) Recoil permeability: μ_{rec}

La description des propriétés magnétiques peut aussi être complétée par l'indication des caractéristiques suivantes:

- f) Coefficient de température de l'aimantation à saturation: α_{js}^*
- g) Coefficient de température de la coercitivité H_{cj} : α_{cj}^*
- h) Point de Curie: T_c
- i) Masse volumique
- j) Usinabilité

R ALLIAGES MAGNÉTIQUES DURS

R1. ALLIAGES ALUMINIUM-NICKEL-COBALT-FER-TITANE

R1.0.1 Généralités

R1.0.1.1 *Composition chimique*

Ces alliages comportent de 6% à 13% d'aluminium, 13% à 28% de nickel, 0% à 42% de cobalt, 0% à 10% de titane, 2% à 6% de cuivre, le reste étant du fer. Ils peuvent comprendre du silicium, du niobium ou d'autres éléments.

Ils sont obtenus par coulée ou par un procédé de métallurgie des poudres. Leurs caractéristiques magnétiques peuvent être accrues dans une direction préférentielle par application d'un champ magnétique au cours d'un traitement thermique, produisant ainsi une anisotropie magnétique. Les aimants moulés à partir d'alliages produisant une structure colonnaire ou monocristalline présentent les caractéristiques les plus avantageuses, le champ magnétique étant appliqué parallèlement à l'axe colonnaire.

Les aimants peuvent également être fabriqués à partir d'agglomérés composés d'alliages pulvérisés et de liants.

R1.0.1.2 *Base de sous-classification*

La sous-classification recommandée est fondée sur l'anisotropie et sur le procédé de fabrication.

R1.0.1.3 *Mode de présentation*

Les aimants sont principalement présentés sous forme d'anneaux, de prismes, de cubes, de cylindres ou d'arcs de cercles. Les formes et dimensions possibles des aimants moulés à structure colonnaire ou monocristalline sont sujettes à certaines limitations.

* Les valeurs citées dans les chapitres suivants se rapportent au domaine de température 273 K à 373 K.

The following additional characteristics may complete the description of the magnetic properties:

- f) Temperature coefficient of the saturation magnetization: α_{J_s} *
- g) Temperature coefficient of the coercivity H_{cl} : α_{cl} *
- h) Curie temperature: T_c
- i) Density
- j) Machinability

R MAGNETICALLY HARD ALLOYS

R1. ALLOYS OF ALUMINIUM-NICKEL-COBALT-IRON-TITANIUM

R1.0.1 General

R1.0.1.1 *Chemical composition*

These alloys consist of 6% to 13% aluminium, 13% to 28% nickel, 0% to 42% cobalt, 0% to 10% titanium, 2% to 6% copper and the balance iron. They may include silicon, niobium or other additions.

They are formed by casting or a powder metallurgical process. Their magnetic performance can be increased in a preferred direction by applying a magnetic field during heat treatment producing a magnetic anisotropy. The best performances of cast magnets are achieved with alloys of columnar or single crystal structure, the magnetic field being applied parallel to the columnar axis.

Magnets may also be formed by the agglomeration of alloyed powders with a binder.

R1.0.1.2 *Basis of sub-classification*

The recommended sub-classification is based on the anisotropy and the production method.

R1.0.1.3 *Available forms*

The magnets are mainly produced in the form of rings, prisms, cubes, cylinders or arc segments. The cast magnets with columnar or single-crystal structure are subject to limitations of form and dimensions.

* Values in the subsequent chapters refer to the temperature range 273 K to 373 K.

R1.0.2 Caractéristiques physiques

Outre le degré d'anisotropie et les méthodes de fabrication, une définition plus complète peut être fondée sur les valeurs ou intervalles types de caractéristiques magnétiques suivantes:

Qualité	$(BH)_{\max}$ (kJ/m ³)	B_r (mT)	H_{cB} (kA/m)	H_{cJ} (kA/m)	μ_{rec}	α_{Js} (%/K)	α_{cJ} (%/K)	T_c (K)
Alliages isotropes	9 à 20	550 à 900	40 à 85	47 à 90	4 à 7	-0,02	+0,03 à -0,07	1 030 à 1 180
Alliages anisotropes	35 à 65	1 100 à 1 300	45 à 75	47 à 92	1,5 à 5			
	30 à 80	700 à 900	100 à 160	105 à 170				
Aimants agglomérés avec liant	5 à 7	300 à 400	45 à 75	55 à 85	2,0 à 3			

Masse volumique: Alliages isotropes et anisotropes: 6,7 kg/dm³ à 7,3 kg/dm³;
Aimants agglomérés avec liant: environ 5,5 kg/dm³;

Mécaniques: Ces alliages sont fragiles et mécaniquement durs, usinables par meulage;

Etat métallurgique: Moulé ou fritté et traité thermiquement;

Dimensions: Pièces généralement de forme allongée, de masse comprise entre un gramme et plusieurs kilogrammes.

R1.0.3 Applications principales

Ces matériaux sont principalement utilisés pour la fabrication d'appareils de mesure, de haut-parleurs, de machines tournantes, de tubes à hyperfréquences et de plateaux magnétiques.

R2. ALLIAGES PLATINE-COBALT

R2.0.1 Généralités

R2.0.1.1 Composition chimique

Ce matériau est constitué par un alliage équi-atomique de platine et de cobalt.

R2.0.1.2 Base de sous-classification

Il n'y a pas de base de sous-classification généralement admise.

R2.0.1.3 Mode de présentation

Ce matériau est fourni sous forme de fil, bandes et pièces poinçonnées de petites dimensions.