

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 404-5

Première édition — First edition
1982

Matériaux magnétiques

**Cinquième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques
des matériaux durs (aimants permanents)**

Magnetic materials

**Part 5: Methods of measurement of the magnetic properties
of magnetically hard (permanent magnet) materials**



© CEI 1982

Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale
3, rue de Varembe
Genève, Suisse

Révision de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la Commission afin d'assurer qu'il reflète bien l'état actuel de la technique.

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
- **Catalogue des publications de la CEI**

Publié annuellement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'Index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit repris du V.E.I., soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, symboles littéraux et signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique;
- la Publication 117 de la CEI: Symboles graphiques recommandés.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit repris des Publications 27 ou 117 de la CEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision 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 on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
- **Catalogue of IEC Publications**

Published yearly

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the I.E.V. or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to:

- IEC Publication 27: Letter symbols to be used in electrical technology;
- IEC Publication 117: Recommended graphical symbols.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC Publications 27 or 117, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
NORME DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IEC STANDARD

Publication 404-5

Première édition — First edition
1982

Matériaux magnétiques

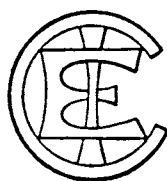
**Cinquième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques
des matériaux durs (aimants permanents)**

Magnetic materials

**Part 5: Methods of measurement of the magnetic properties
of magnetically hard (permanent magnet) materials**

Mots clés: matériaux magnétiques durs;
essais; propriétés magnétiques
des matériaux; mesure.

Key words: magnetically hard materials;
testing; magnetic properties
of materials; measurement.



© CEI 1982

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 méca-
nique, 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

3, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4

INTRODUCTION

Articles

1. Domaine d'application	6
2. Précision et reproductibilité	6
3. Définitions	6

CHAPITRE I: MATÉRIAUX DE COERCITIVITÉ H_{cJ} INFÉRIEURE OU ÉGALE À 600 kA/m

4. Objet	8
5. Electro-aimant	8
6. Eprouvette	10
7. Détermination de l'induction magnétique	10
8. Mesure de l'intensité du champ magnétique	12
9. Détermination de la courbe de désaimantation	12
10. Détermination du produit $(BH)_{max}$	16
11. Détermination de la ligne de recul	16
12. Procès-verbal d'essai	16

CHAPITRE II: MATÉRIAUX DE COERCITIVITÉ H_{cJ} SUPÉRIEURE À 600 kA/m

13. Objet	18
14. Méthode de mesure	18
15. Procès-verbal d'essai	20

FIGURES	22
-------------------	----

ANNEXE A - Influence de l'entrefer entre l'éprouvette et les pièces polaires	26
--	----

CONTENTS

FOREWORD	Page 5
PREFACE	5

INTRODUCTION

Clause

1. Scope	7
2. Accuracy and reproducibility	7
3. Definitions	7

CHAPTER I: MATERIALS HAVING AN INTRINSIC COERCIVITY H_{cJ}
LESS THAN OR EQUAL TO 600 kA/m

4. Object	9
5. Electromagnet	9
6. Test specimen	11
7. Determination of the magnetic flux density	11
8. Measurement of the magnetic field strength	13
9. Determination of the demagnetization curve	13
10. Determination of the $(BH)_{\max}$ product	17
11. Determination of the recoil line	17
12. Test report	17

CHAPTER II: MATERIALS HAVING AN INTRINSIC COERCIVITY H_{cJ}
GREATER THAN 600 kA/m

13. Object	19
14. Method of measurement	19
15. Test report	21

FIGURES	22
-------------------	----

APPENDIX A - Influence of the air-gap between the test specimen and the pole pieces	27
---	----

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

Cinquième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques
des matériaux durs (aimants permanents)

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.

Le premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Budapest en 1977. A la suite de cette réunion, un projet, document 68(Bureau Central)12, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en janvier 1978.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de ce projet:

Australie	Egypte	Royaume-Uni
Autriche	Etats-Unis d'Amérique	Suède
Belgique	France	Suisse
Brésil	Italie	Turquie
Canada	Japon	Union des Républiques
Chine	Pologne	Socialistes soviétiques
Danemark	Roumanie	

Des modifications, document 68(Bureau Central)20, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en mars 1980.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de ces modifications:

Afrique du Sud (République d')	Espagne	Royaume-Uni
Allemagne	Etats-Unis d'Amérique	Suède
Autriche	France	Tchécoslovaquie
Belgique	Irlande	Turquie
Canada	Pologne	Union des Républiques
Danemark	Roumanie	Socialistes Soviétiques
Egypte		

Autre publication de la CEI citée dans la présente norme:

Publication n° 50(901): Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), chapitre 901: Magnétisme.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS

**Part 5: Methods of measurement of the magnetic properties
of magnetically hard (permanent magnet) materials**

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.

The first draft was discussed at the meeting held in Budapest in 1977. As a result of this meeting, a draft, Document 68(Central Office)12, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1978.

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

Australia	Egypt	Switzerland
Austria	France	Turkey
Belgium	Italy	Union of Soviet
Brazil	Japan	Socialist Republics
Canada	Poland	United Kingdom
China	Romania	United States of America
Denmark	Sweden	

Amendments, Document 68(Central Office)20, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in March 1980.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of these amendments.

Austria	Germany	Sweden
Belgium	Ireland	Turkey
Canada	Poland	Union of Soviet
Czechoslovakia	Romania	Socialist Republics
Denmark	South Africa (Republic of)	United Kingdom
Egypt	Spain	United States of America
France		

Other IEC publication quoted in this standard:

Publication No. 50(901): International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), Chapter 901: Magnetism.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES

Cinquième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des matériaux durs (aimants permanents)

INTRODUCTION

1. Domaine d'application

La présente norme est applicable uniquement aux matériaux magnétiquement durs, de propriétés supposées homogènes dans tout leur volume. Il a pour objet de spécifier les méthodes normales de mesure des propriétés magnétiques des matériaux magnétiquement durs dans un circuit magnétique fermé.

Les caractéristiques d'un système magnétique ne dépendent pas uniquement des propriétés du matériau magnétiquement dur, mais aussi des dimensions du système, de l'entrefer et des autres éléments du circuit magnétique.

En principe, la méthode de mesure s'emploie à réaliser au mieux un circuit fermé simulant le tore. Comme les propriétés magnétiques peuvent dépendre sensiblement de la valeur du champ magnétique appliqué, deux méthodes ont été retenues en fonction du domaine de coercitivité de l'aimant permanent:

- l'une pour les matériaux magnétiquement durs, de coercitivité inférieure ou égale à 600 kA/m (chapitre I);
- l'autre pour les matériaux magnétiquement durs, de coercitivité supérieure à 600 kA/m (cas des alliages de cobalt-terres rares) (chapitre II).

2. Précision et reproductibilité

Dans le cas des méthodes d'essai décrites dans cette norme, il n'est pas toujours possible de se référer aux principes fondamentaux. La précision finale de l'appareillage d'essai est une fonction complexe dépendant des instruments de mesure et autres caractéristiques des conditions de mesure et des composants de l'équipement; il n'est pas toujours possible d'indiquer la précision absolue qui peut être atteinte. Cependant, pour une méthode donnée, l'expérience indique la reproductibilité qui peut être prévue.

3. Définitions

Les définitions relatives aux différents termes employés dans la présente norme sont définies dans la Publication 50(901) de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), chapitre 901: Magnétisme.

Pour les matériaux durs cette norme traite de la coercitivité H_{CB} et de la coercitivité H_{CJ} qui est une caractéristique fondamentale et d'intérêt croissant, particulièrement dans les applications dynamiques.

Les mesures spécifiées dans cette norme sont l'induction magnétique B en fonction de l'intensité de champ magnétique H , et la polarisation magnétique J est reliée à ces grandeurs par la relation suivante:

$$B = \mu_0 H + J$$

En utilisant cette relation, les valeurs de H_{CJ} peuvent être obtenues à partir du cycle d'hystérésis BH .

MAGNETIC MATERIALS

Part 5: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetically hard (permanent magnet) materials

INTRODUCTION

1. Scope

This standard is applicable only to magnetically hard materials, the properties of which are presumed homogeneous throughout their volume. Its object is to specify standard methods of measurement of the magnetic properties of magnetically hard materials in a closed magnetic circuit.

The performance of a magnetic system is not only dependent on the properties of the magnetically hard material but also on the dimensions of the system, the air-gap and other elements of the magnetic circuit.

The measuring method, in principle, makes use of a closed loop simulating a ring. As the magnetic characteristics may substantially depend on the value of the applied magnetic field, two methods have been included for two coercivity ranges of magnetically hard materials:

- one for magnetically hard materials having an intrinsic coercivity less than or equal to 600 kA/m (Chapter I);
- the other for magnetically hard materials having an intrinsic coercivity greater than 600 kA/m (e.g. rare earth cobalt alloys) (Chapter II).

2. Accuracy and reproducibility

In the case of the test methods described in this standard it is not always possible to refer to fundamental principles. The final accuracy of the test apparatus is a complex function dependent on the measuring instruments and other features of the measuring environment and equipment components, therefore it is not always possible to state the absolute accuracy which can be attained. However, experience in the use of a given method indicates the reproducibility which can be expected.

3. Definitions

The definitions relating to the various terms used in this standard are defined in IEC Publication 50(901): International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), Chapter 901: Magnetism.

For magnetically hard materials this standard deals with both the coercivity H_{CB} and the intrinsic coercivity H_{CJ} which is a fundamental quantity and of increasing importance particularly in dynamic applications.

The measurements specified in this standard are of the magnetic flux density B against the magnetic field strength H and the magnetic polarization J is related to these quantities by the following equation:

$$B = \mu_0 H + J$$

Using this relationship H_{CJ} values can be obtained from the BH hysteresis loop.

CHAPITRE I: MATÉRIAUX DE COERCITIVITÉ H_{cJ} INFÉRIEURE OU ÉGALE À 600 kA/m

4. Objet

Ce chapitre a pour objet la définition de la méthode de mesure de l'induction magnétique et de l'intensité de champ magnétique ainsi que la détermination de la courbe de désaimantation et de la ligne de recul des matériaux magnétiquement durs d'une coercitivité H_{cJ} inférieure ou égale à 600 kA/m.

5. Electro-aimant

L'essai est effectué à l'aide d'un circuit ferromagnétique fermé, constitué par un électro-aimant en matériau magnétique doux et par l'éprouvette. La culasse est en principe de forme symétrique, un des pôles au moins étant mobile afin de minimiser tout entrefer entre l'éprouvette et les pièces polaires.

Pour certaines mesures, la culasse et les pôles peuvent être feuilletés pour diminuer les courants de Foucault. La coercitivité du matériau constituant les pôles ne doit normalement pas dépasser 100 A/m.

Pour obtenir une aimantation suffisamment homogène dans l'espace occupé par l'éprouvette, les conditions suivantes doivent être satisfaites simultanément:

Conditions géométriques (figure 1, page 22)

$$d_1 \geq d_2 + 1,2l \quad (1)$$

$$d_1 \geq 2,0l \quad (2)$$

où:

d_1 = diamètre d'une pièce polaire circulaire ou largeur d'une pièce polaire rectangulaire, en mètres

l = distance entre les pièces polaires, en mètres

d_2 = diamètre maximal du volume cylindrique à champ homogène, en mètres

Conditions électromagnétiques

Il faut maintenir l'induction dans les pièces polaires très faible par rapport à l'induction de saturation de façon que les faces polaires soient aussi voisines que possible des surfaces équipotentielles. En pratique, l'induction est inférieure à 1 T dans le fer et à 1,2 T dans un alliage ferreux contenant de 35 % à 50 % de cobalt.

L'erreur due à un champ magnétique non homogène dans l'éprouvette est particulièrement significative dans le premier quadrant pour des champs élevés.

Dans les conditions ci-dessus, le champ dans le volume spécifié présente des différences d'homogénéité inférieures à:

2 % dans le sens radial

2 % dans le sens axial

La culasse est pourvue de bobines d'aimantation disposées symétriquement et le plus près possible de l'éprouvette. L'axe de l'éprouvette doit être placé dans l'alignement des axes des bobines d'aimantation. L'électro-aimant doit pouvoir fournir la valeur minimale de l'intensité de champ magnétique nécessaire pour l'aimantation de l'éprouvette. Cette valeur de l'intensité de champ magnétique est différente selon la nature du matériau magnétique dur et