

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60404-14

Première édition
First edition
2002-06

Matériaux magnétiques –

Partie 14:

**Méthode de mesure du moment magnétique
coulombien d'une éprouvette de matériau
ferromagnétique par la méthode du retrait
ou la méthode par rotation**

Magnetic materials –

Part 14:

**Methods of measurement of the magnetic dipole
moment of a ferromagnetic material specimen
by the withdrawal or rotation method**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60404-14:2002

Numérotation des publications

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

Editions consolidées

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

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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

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

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

- **IEC Just Published**

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

- **Service clients**

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

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

Publication numbering

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

Consolidated editions

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

Further information on IEC publications

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

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

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

- **IEC Just Published**

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

- **Customer Service Centre**

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

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60404-14

Première édition
First edition
2002-06

Matériaux magnétiques –

Partie 14:

**Méthode de mesure du moment magnétique
coulombien d'une éprouvette de matériau
ferromagnétique par la méthode du retrait
ou la méthode par rotation**

Magnetic materials –

Part 14:

**Methods of measurement of the magnetic dipole
moment of a ferromagnetic material specimen
by the withdrawal or rotation method**

© IEC 2002 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, 3, rue de Varembe, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

N

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
1 Domaine d'application	8
2 Références normatives	8
3 Définitions	10
4 Principe général de la mesure	10
5 Eprouvette	12
6 Bobine de détection	12
7 Intégrateur de flux magnétique	12
8 Mesure du moment magnétique coulombien d'un matériau magnétisé	14
8.1 Correction des lectures de l'intégrateur pour les effets de chargement sans étalonnage de l'intégrateur	14
8.2 Configuration du circuit de mesure lorsque l'intégrateur est étalonné en utilisant un inducteur mutuel	14
8.3 Etalonnage du dispositif de mesure du moment magnétique coulombien au moyen d'un échantillon d'aimant permanent étalonné	16
8.4 Méthode de retrait	16
8.5 Méthode par rotation	16
9 Détermination de la valeur de saturation du moment magnétique coulombien	18
10 Détermination de la polarisation magnétique J	18
11 Détermination de la polarisation magnétique de saturation spécifique σ_s	18
12 Etalonnage de l'appareil de mesure de la valeur de saturation du moment magnétique coulombien	20
13 Incertitude de mesure	20
14 Rapport d'essai	20
Annexe A (informative) Mesure de la polarisation magnétique de saturation spécifique sur une éprouvette plus longue que la zone homogène des bobines de Helmholtz	22
Annexe B (informative) Mesure sur éprouvettes ferromagnétiques avec un champ magnétique à saturation élevée, par exemple éprouvette de métal dur avec une teneur élevée en cobalt	24
Annexe C (informative) Mesure sur éprouvette de faible masse, par exemple une éprouvette de métal dur avec une teneur en cobalt inférieure à 50 mg	26
Figure 1 – Circuit pour la mesure du moment magnétique coulombien	14
Figure 2 – Disposition avec aimant sans fer	18
Figure 3 – Disposition avec aimant à culasse en O	18

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	9
2 Normative references	9
3 Definitions	11
4 General principle of measurement	11
5 Test specimen	13
6 Detection coil	13
7 Magnetic flux integrator	13
8 Measurement of the magnetic dipole moment of magnetized material.....	15
8.1 Correction of integrator readings for loading effects with no integrator calibration	15
8.2 Circuit configuration for measurement when the integrator is calibrated using a mutual inductor.....	15
8.3 Calibration of the measuring device for the magnetic dipole moment by means of a calibrated permanent magnet sample	17
8.4 Withdrawal method.....	17
8.5 Rotation method.....	17
9 Determination of the saturation value of the magnetic dipole moment.....	19
10 Determination of the magnetic polarization J	19
11 Determination of the specific saturation magnetic polarization σ_s	19
12 Calibration of the measuring device for the saturation value of the magnetic dipole moment	21
13 Uncertainty of measurement.....	21
14 Test report.....	21
Annex A (informative) Measurement of the specific saturation magnetic polarization of test specimen longer than the homogenous area of the Helmholtz coil.....	23
Annex B (informative) Measurement of ferromagnetic specimens with high saturation magnetic field, e.g. a hardmetal specimen with high cobalt content.....	25
Annex C (informative) Measurement of a test specimen with a small mass, e.g. a hardmetal specimen of a cobalt content less than 50 mg.....	27
Figure 1 – Circuit for measurement of magnetic dipole moment	15
Figure 2 – Ironless magnet arrangement.....	19
Figure 3 – O-yoke magnet arrangement.....	19

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 14: Méthode de mesure du moment magnétique coulombien d'une éprouvette de matériau ferromagnétique par la méthode du retrait ou la méthode par rotation

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60404-14 a été établie par le comité d'études 68 de la CEI: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
68/254/FDIS	68/257/RVD

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

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

Les annexes A, B et C sont données uniquement à titre d'information.

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

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –**Part 14: Methods of measurement of the magnetic
dipole moment of a ferromagnetic material specimen
by the withdrawal or rotation method**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical specifications, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60404-14 has been prepared by IEC technical committee 68: Magnetic alloys and steels.

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

FDIS	Report on voting
68/254/FDIS	68/257/RVD

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

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

Annexes A, B and C are for information only.

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

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

INTRODUCTION

Le moment magnétique coulombien j d'une éprouvette de matériau ferromagnétique est un paramètre utile pour comparer des propriétés, en particulier des matériaux d'aimant permanent. La mesure du moment magnétique coulombien de saturation par unité de masse (polarisation magnétique de saturation spécifique σ_s) est un cas spécial largement répandu pour caractériser les métaux consolidés par des carbures. Alors que ces matériaux sont essentiellement de caractère non magnétique, le cobalt ou le nickel est utilisé comme liant et l'exigence est d'atteindre une composition optimale et un agencement géométrique de la phase liante avec une reproductibilité élevée. La détermination de la polarisation magnétique de saturation spécifique a été reconnue dans l'industrie des carbures métalliques comme une méthode de mesure simple, rapide et non destructive.

La mesure du moment magnétique est, dans de larges limites, indépendante de la forme et de la taille de l'éprouvette. Si le matériau, comme dans le cas des métaux consolidés par des carbures, contient seulement un composant ferromagnétique (cobalt ou nickel), il est possible de déterminer sa proportion en pourcentage avec une haute résolution.

Un autre paramètre utile qui peut être déduit de la mesure du moment magnétique coulombien d'une éprouvette d'essai et de son volume V est la polarisation magnétique J . La valeur de la polarisation magnétique de saturation est d'un intérêt particulier pour certains matériaux magnétiques. Des éprouvettes de référence sphériques, ellipsoïdales et cylindriques en nickel avec une polarisation magnétique de saturation mesurée sont utilisées pour l'étalonnage des magnétomètres à échantillon vibrant.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-14:2002

INTRODUCTION

The magnetic dipole moment j of a ferromagnetic material specimen is a useful parameter for comparing properties, particularly of permanent magnet materials. The measurement of the saturation magnetic dipole moment per unit mass (specific saturation magnetic polarization σ_s) is a special case widely used to characterize cemented carbide metals. Whilst these materials are essentially non-magnetic in character, cobalt or nickel is used as the binder and it is required to achieve an optimum composition and geometrical arrangement of the binder phase with high reproducibility. The determination of the specific saturation magnetic polarization has gained acceptance in the carbide metal industry as a simple, fast and non-destructive measurement method.

The measurement of magnetic moment is, within broad limits, independent of the shape and size of the test specimen. If the material, as in the case of cemented carbide metal, contains only one ferromagnetic component (cobalt or nickel), it is possible to determine its percentage proportion with high resolution.

Another useful parameter which can be derived from the measurement of the magnetic dipole moment of a test specimen and its volume V is the magnetic polarization J . The value of saturation magnetic polarization is of particular interest for certain magnetic materials. Spherical, ellipsoidal and cylindrical reference specimens of nickel of measured saturation magnetic polarization are used in the calibration of vibrating sample magnetometers.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60404-14:2002

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 14: Méthode de mesure du moment magnétique coulombien d'une éprouvette de matériau ferromagnétique par la méthode du retrait ou la méthode par rotation

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 60404 est applicable à tous les matériaux ferromagnétiques. Elle est en particulier dédiée à la mesure du moment magnétique coulombien des matériaux d'aimant permanent (magnétiquement durs) et à la mesure de la polarisation magnétique de saturation spécifique des matériaux consolidés par des carbures ayant un liant ferromagnétique.

L'objet de la présente partie est de décrire les principes généraux de la détermination du moment magnétique coulombien d'une éprouvette de matériau ferromagnétique en utilisant une bobine de détection dans un circuit magnétique ouvert. Avec l'adjonction d'un moyen de magnétisation du matériau à saturation, le moment magnétique coulombien de saturation peut également être déterminé. En outre, la polarisation magnétique moyenne d'une éprouvette peut être déduite de la mesure de son moment magnétique coulombien et de son volume. L'étalonnage de systèmes à bobines pour le moment magnétique et la mesure du moment magnétique coulombien de matériaux faiblement magnétiques peuvent également être réalisés en utilisant cette méthode.

Les mesures sont normalement exécutées à la température ambiante mais des mesures à d'autres températures peuvent être réalisées en chauffant ou en refroidissant le volume qui est occupé par l'éprouvette dans la bobine de détection.

La mesure de la rémanence, de la coercitivité, du produit maximal d'énergie et d'autres paramètres peut être faite dans un circuit magnétique fermé comme décrit dans la CEI 60404-4 et dans la CEI 60404-5. La mesure de la coercitivité H_{cJ} des matériaux doux et semi-durs peut également être exécutée dans un circuit ouvert comme décrit dans la CEI 60404-7.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050-121, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Partie 121: Électromagnétisme*

CEI 60050-151, *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques*

CEI 60050(221), *Vocabulaire électrotechnique international (VEI) – Chapitre 221: Matériaux et composants magnétiques*

CEI 60404-4, *Matériaux magnétiques – Partie 4: Méthodes de mesure en courant continu des propriétés magnétiques des matériaux magnétiquement doux*

MAGNETIC MATERIALS –

Part 14: Methods of measurement of the magnetic dipole moment of a ferromagnetic material specimen by the withdrawal or rotation method

1 Scope

This part of IEC 60404 is applicable to all ferromagnetic materials. It is particularly aimed at the measurement of the magnetic dipole moment of permanent magnet (magnetically hard) materials and the measurement of the specific saturation magnetic polarization of cemented carbide materials having a ferromagnetic binder.

The object of this part is to describe the general principles of the determination of the magnetic dipole moment of a ferromagnetic material specimen using a detection coil in an open magnetic circuit. By including a means of magnetizing the material to saturation, the saturation magnetic dipole moment can also be determined. In addition, the average magnetic polarization of a test specimen can be derived from the measurement of its magnetic dipole moment and volume. The calibration of magnetic moment coil systems and the measurement of the magnetic dipole moment of feebly magnetic materials can also be determined using this method.

Measurements are normally performed at room temperature but measurements at other temperatures can be conducted by heating or cooling the volume occupied by the test specimen within the detection coil.

The measurement of remanence, coercivity, maximum energy product and other parameters can be made in a closed magnetic circuit as described in IEC 60404-4 and IEC 60404-5. Measurement of the coercivity H_{cJ} of soft and semi-hard materials can also be performed in an open circuit as described in IEC 60404-7.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

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

IEC 60050(151), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 151: Electrical and magnetic devices*

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

IEC 60404-4, *Magnetic materials – Part 4: Methods for the measurement of d.c. magnetic properties of magnetically soft materials*

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

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

ISO, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 60404, les définitions des CEI 60050(121), CEI 60050(151) et CEI 60050(221) s'appliquent.

4 Principe général de la mesure

Quand une éprouvette magnétisée est retirée d'une bobine de détection étalonnée, reliée à un intégrateur de flux magnétique étalonné, le moment magnétique coulombien de l'éprouvette de matériau peut être déterminé à partir de:

$$j = \Delta\phi / k_h \quad (1)$$

où

j est le moment magnétique coulombien, en webers mètres;

k_h est la constante de champ magnétique sur intensité de courant de la bobine de détection $k_h = H/I$, en (ampères par mètre) par ampère;

$\Delta\phi$ est la modification du flux due à la rotation ou au retrait de l'éprouvette de l'enroulement de détection, en webers;

H est l'intensité du champ magnétique, en ampères par mètre;

I est l'intensité du courant, en ampères.

Quand l'éprouvette est tournée de 180° au centre de la bobine de détection, l'équation (1) est changée en:

$$j = \Delta\phi / 2 k_h \quad (2)$$

Si le volume de l'éprouvette est déterminé, la polarisation magnétique au point de fonctionnement J peut être calculée à partir:

$$J = j / V \quad (3)$$

où

J est la polarisation magnétique au point de fonctionnement, en teslas;

j est le moment magnétique coulombien, en webers mètres;

V est le volume de l'éprouvette, en mètres cubes.

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

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

ISO, *Guide to the expression of uncertainty in measurement*

3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 60404, the definitions in IEC 60050(121), IEC 60050(151) and IEC 60050(221) apply.

4 General principle of measurement

When a magnetized test specimen is withdrawn from a calibrated detection coil connected to a calibrated magnetic flux integrator, the magnetic dipole moment of the material specimen can be determined from:

$$j = \Delta\phi / k_h \quad (1)$$

where

j is the magnetic dipole moment, in weber metres;

k_h is the magnetic field to current constant of the detection coil $k_h = H/I$, in (amperes per metre) per ampere;

$\Delta\phi$ is the change in flux due to the rotation or withdrawal of the test specimen from the detection coil, in webers;

H is the magnetic field strength, in amperes per metre;

I is the current, in amperes.

When the specimen is rotated through 180° in the centre of the detection coil, equation (1) changes to:

$$j = \Delta\phi / 2k_h \quad (2)$$

If the volume of the test specimen is determined, the working point magnetic polarization J can be calculated from:

$$J = j / V \quad (3)$$

where

J is the working point magnetic polarization, in teslas;

j is the magnetic dipole moment, in weber metres;

V is the volume of the test specimen, in cubic metres.

Si un moyen de magnétiser l'éprouvette dans la bobine de détection à saturation est fourni, les valeurs de saturation du moment magnétique coulombien j_s et de la polarisation magnétique J_s peuvent être déterminées. A partir de la valeur de saturation du moment magnétique coulombien et de la masse de l'éprouvette, la polarisation magnétique de saturation spécifique peut être déterminée à partir de:

$$\sigma_s = j_s / m \quad (4)$$

où

σ_s est la polarisation magnétique de saturation spécifique, en teslas mètres cubes par kilogramme;

j_s est la valeur de saturation du moment magnétique coulombien, en webers mètres;

m est la masse du spécimen d'essai, en kilogrammes.

NOTE Le VEI 221-01-06 définit la quantité « densité d'aimantation à saturation » ou « aimantation à saturation spécifique » comme suit: « quotient de l'aimantation à saturation par la masse volumique » (en ampères mètres carrés par kilogramme), le symbole est « σ ». Cependant, une quantité en teslas mètres cubes par kilogramme est habituellement utilisée dans la pratique et également désignée par le symbole « σ ». Les deux sigmas diffèrent par le facteur μ_0 , la constante magnétique ($4 \pi 10^{-7}$), en henrys par mètre.

5 Eprouvette

L'éprouvette doit être de toute forme appropriée pouvant être disposée dans la région de champ uniforme de la bobine de détection. Si le moment magnétique coulombien de saturation doit être déterminé, une éprouvette de forme régulière et de dimensions compatibles avec le dispositif magnétisant doit être utilisée. Pour les matériaux non magnétiquement isotropes, leur axe magnétique doit être déterminé et marqué sur la surface appropriée de l'éprouvette ou indiqué sur un dessin.

6 Bobine de détection

Une bobine de détection étalonnée doit être utilisée. Ses dimensions doivent être telles que la zone d'essai ait une uniformité de champ au moins de 1 % pour une forme et un volume équivalents à ou plus grands que ceux des éprouvettes à soumettre aux mesures. La constante de champ magnétique sur intensité de courant k_h pour la bobine de détection peut être étalonnée en faisant passer le courant dans les bobines et en mesurant le courant et l'intensité du champ magnétique au centre avec un dispositif de mesure de champ magnétique étalonné, par exemple une sonde de Hall, ou elle peut être étalonnée par un laboratoire accrédité.

NOTE 1 Pour la mesure du moment magnétique, la bobine de détection ne produit aucun champ magnétique. En fait, elle est utilisée comme une bobine de recherche reliée à un intégrateur de flux magnétique étalonné. Néanmoins, la constante de champ magnétique sur intensité de courant pour la bobine est exigée dans le calcul du moment magnétique.

NOTE 2 Le type de bobine de détection, utilisé le plus communément, est une paire de bobines de Helmholtz. D'autres bobines appropriées ou des systèmes de solénoïdes peuvent être utilisés. Les bobines compensées qui sont peu sensibles aux perturbations magnétiques, peuvent également être appliquées.

7 Intégrateur de flux magnétique

Un intégrateur de flux magnétique doit être utilisé pour déterminer le flux magnétique provenant de la tension induite par la rotation ou le retrait de l'éprouvette de la bobine de détection. L'intégrateur de flux magnétique doit être étalonné à l'aide de la bobine de détection et de l'inducteur mutuel avec son enroulement secondaire en série (voir figure 1), ou il peut être étalonné par un laboratoire accrédité.

If a means of magnetizing the test specimen within the detection coil to saturation is provided, the saturation values of magnetic dipole moment j_s and magnetic polarization J_s can be determined. From the saturation value of the magnetic dipole moment and the mass of the test specimen, the specific saturation magnetic polarization can be determined from:

$$\sigma_s = j_s / m \quad (4)$$

where

σ_s is the specific saturation magnetic polarization, in tesla cubic metres per kilogram;

j_s is the saturation value of magnetic dipole moment, in weber metres;

m is the mass of test specimen, in kilograms.

NOTE IEV 221-01-06 defines the quantity “saturation magnetization (mass) density” or “specific saturation magnetization” as follows: “saturation magnetization divided by the mass density” (in ampere metres squared per kilogram), the symbol is “ σ ”. However, a quantity in units tesla cubic metres per kilogram is usually used in practice and also designated by the symbol “ σ ”. The two sigmas are different by the factor μ_0 , the magnetic constant ($4\pi \cdot 10^{-7}$), in henrys per metre.

5 Test specimen

The test specimen shall be in any convenient shape which can be accommodated within the uniform field region of the detection coil. If the saturation magnetic dipole moment is to be determined, a regular shaped test specimen of dimensions compatible with the magnetizing arrangement shall be used. Where materials are not magnetically isotropic, their magnetic axis shall be determined and marked on the appropriate surface of the test specimen, or in a drawing.

6 Detection coil

A calibrated detection coil shall be used. Its dimensions shall be such that the sensing region has a field uniformity of at least 1 % over the shape and volume equivalent to or greater than that of the test specimens to be measured. The magnetic field to current constant k_h for the detection coil can be calibrated by passing current through the coils and measuring the current and the magnetic field strength at the centre with a calibrated magnetic field sensing device, for example a Hall probe, or it can be calibrated by an accredited laboratory.

NOTE 1 For the measurement of the magnetic moment, the detection coil does not produce any magnetic field. In fact it is used as a search coil connected to a calibrated magnetic flux integrator. Nevertheless, the magnetic field to current constant for the coil is required in the calculation of the magnetic moment.

NOTE 2 The most commonly used type of a detection coil is a pair of Helmholtz coils. Other appropriate coils or solenoidal systems can be used. Compensated coils which are insensitive to magnetic disturbances can also be applied.

7 Magnetic flux integrator

A magnetic flux integrator shall be used to determine the magnetic flux from the voltage induced due to the rotation or removal of the test specimen from the detection coil. The magnetic flux integrator shall be calibrated using the detection coil and the mutual inductor with its secondary winding in series (see figure 1), or it can be calibrated by an accredited laboratory.

8 Mesure du moment magnétique coulombien d'un matériau magnétisé

8.1 Correction des lectures de l'intégrateur pour les effets de chargement sans étalonnage de l'intégrateur

L'enroulement de détection doit être relié à l'intégrateur de flux (voir figure 1: dans ce cas, le circuit contenant l'inducteur mutuel M et la résistance R n'est pas nécessaire). Compte tenu de la résistance finie d'entrée de l'intégrateur de flux et de la résistance interne de la bobine de détection, une correction doit être appliquée aux modifications mesurées du flux magnétique selon

$$\Delta\phi_{\text{corr}} = \Delta\phi \times (R_F + R) / R_F \quad (5)$$

où

R_F est la résistance d'entrée de l'intégrateur de flux, en ohms;

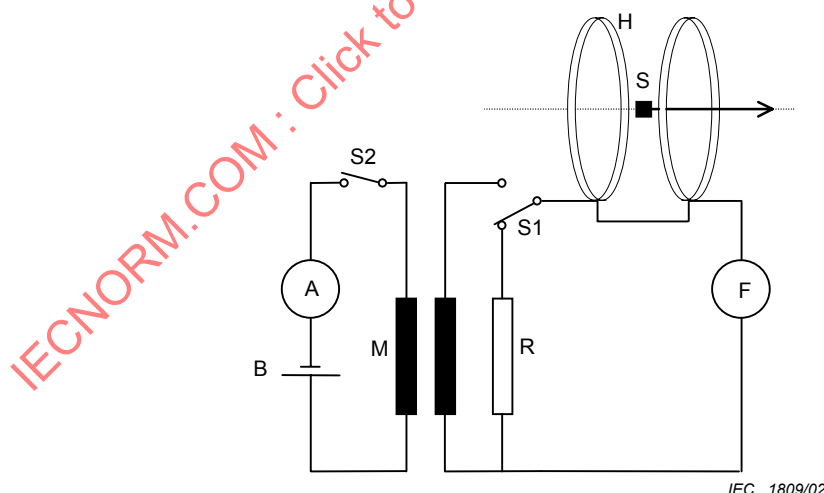
R est la résistance interne de la bobine de détection, en ohms;

$\Delta\phi$ est la valeur des modifications mesurées du flux magnétique, en webers;

$\Delta\phi_{\text{corr}}$ est la valeur corrigée des modifications mesurées du flux magnétique, en webers.

8.2 Configuration du circuit de mesure lorsque l'intégrateur est étalonné en utilisant un inducteur mutuel

Si un inducteur mutuel est utilisé pour étalonner l'intégrateur, l'enroulement secondaire de l'inducteur mutuel est relié en série à la bobine de détection pendant l'étalonnage. Afin d'éviter le couplage entre l'éprouvette et l'enroulement secondaire de l'inducteur mutuel pendant les mesures, ce dernier doit être remplacé par une résistance de valeur équivalente, comme cela est montré à la figure 1. Cela maintient la même résistance de circuit que celle utilisée dans l'étalonnage de l'intégrateur mais évite que les tensions produites, dues au mouvement de l'éprouvette, ne se propagent dans l'enroulement secondaire de l'inducteur mutuel. Le circuit est présenté à la figure 1.



Légende

F Intégrateur de flux

H Bobine de détection, dans ce cas bobines de Helmholtz

S Eprouvette

R Résistance pour remplacer le secondaire de l'inducteur mutuel

M Inducteur mutuel

A Ampèremètre

B Alimentation en courant

S1 Commutateur pour remplacer le secondaire de l'inducteur mutuel par la résistance

S2 Commutateur utilisé pour l'étalonnage de l'intégrateur de flux

Figure 1 – Circuit pour la mesure du moment magnétique coulombien

8 Measurement of the magnetic dipole moment of magnetized material

8.1 Correction of integrator readings for loading effects with no integrator calibration

The detection coil shall be connected to the flux integrator (see figure 1: in this case the circuit containing the mutual inductor M and the resistor R is not necessary). Taking into account the finite input resistance of the flux integrator and the internal resistance of the detection coil, a correction shall be applied to the measured changes in magnetic flux according to

$$\Delta\phi_{\text{corr}} = \Delta\phi (R_F + R) / R_F \quad (5)$$

where

R_F is the input resistance of the flux integrator, in ohms;

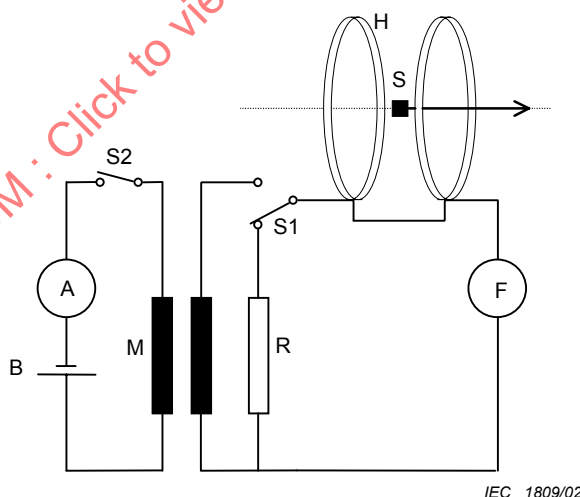
R is the internal resistance of the detection coil, in ohms;

$\Delta\phi$ is the value of the measured changes in magnetic flux, in webers;

$\Delta\phi_{\text{corr}}$ is the corrected value of the measured changes in magnetic flux, in webers.

8.2 Circuit configuration for measurement when the integrator is calibrated using a mutual inductor

If a mutual inductor is used to calibrate the integrator, the secondary winding of the mutual inductor is connected in series to the detection coil during the calibration. In order to avoid coupling between the test specimen and the secondary winding of the mutual inductor during measurements, the latter shall be replaced by a resistor of equivalent value, as shown in figure 1. This maintains the same circuit resistance as used in the calibration of the integrator but avoids inclusion of voltages produced in the secondary winding of the mutual inductor due to movement of the test specimen. The circuit is shown in figure 1.



Key

- F Flux integrator
- H Detection coil, in this case Helmholtz coil
- S Specimen
- R Resistor to replace secondary of mutual inductor
- M Mutual inductor
- A Ammeter
- B Current source
- S1 Switch to replace secondary of mutual inductor by the resistor
- S2 Switch used for calibration of flux integrator

Figure 1 – Circuit for measurement of magnetic dipole moment

Il ne doit y avoir aucun matériau ferromagnétique à proximité de la bobine de détection, sauf dans le cas où une bobine isolée est utilisée (voir note de 8.4), ou le champ magnétisant témoin est produit par un système d'aimants permanents (voir article 9).

8.3 Etalonnage du dispositif de mesure du moment magnétique coulombien au moyen d'un échantillon d'aimant permanent étalonné

Si l'intégrateur de flux ou la bobine de détection n'est pas étalonné comme cela est décrit aux articles 6 et 7 et en 8.2, le système doit être étalonné en utilisant un échantillon d'aimant permanent rendu stable en température de dimensions telles qu'il soit adapté à la zone homogène de la bobine de détection.

Il existe deux méthodes commodes pour effectuer la mesure, comme présenté ci-après.

8.4 Méthode de retrait

L'éprouvette doit être placée longitudinalement et coaxialement au centre de la bobine de détection et alignée pour donner la lecture maximale sur l'intégrateur de flux magnétique. L'intégrateur doit être mis à zéro et l'éprouvette doit être alors retirée de la bobine de détection à une distance où le couplage magnétique entre l'éprouvette et la bobine de détection devient négligeable. La lecture de l'intégrateur est enregistrée et le moment magnétique coulombien est calculé à partir de l'équation (1).

NOTE Pour des mesures comparatives sur des éprouvettes de dimensions semblables, la bobine de détection peut être placée dans un écran magnétique ayant une ouverture par laquelle l'éprouvette est retirée. Cela réduit considérablement la distance à laquelle l'éprouvette doit être amenée avant que le couplage avec la bobine de détection devienne négligeable. L'écran magnétique protège la bobine de détection contre des perturbations magnétiques de sorte que les gammes les plus sensibles de l'intégrateur de flux peuvent être utilisées et des moments magnétiques très faibles peuvent être mesurés. Cependant, la distribution de flux magnétique est tout à fait différente de celle de la bobine de détection non protégée et dépend de la taille de l'écran et, du fait que le matériau de l'écran soit saturé ou pas. La région de champ uniforme d'une bobine de Helmholtz est réduite d'un facteur entre 1 et 2,5, dépendant de la taille l'écran. Comme la constante effective de la bobine est augmentée, il faut que l'étalonnage soit fait en présence de l'écran. Il faut prendre soin d'éviter la saturation de l'écran pendant l'étalonnage et pendant la mesure du moment magnétique.

Une autre méthode pour éviter l'influence des perturbations magnétiques est d'utiliser une bobine compensatrice avec le même nombre de tours que celui de la bobine de détection, reliée en série opposée et placée à une distance où l'influence de l'éprouvette devient négligeable, ou d'utiliser une bobine de détection insensible aux champs magnétiques externes.

8.5 Méthode par rotation

La méthode par rotation peut seulement être appliquée aux éprouvettes en matériau magnétique dur. L'intégrateur de flux magnétique doit être mis à zéro sans éprouvette dans la bobine de détection. L'éprouvette doit être placée longitudinalement et coaxialement au centre de la bobine de détection et alignée de façon à donner la lecture maximale sur l'intégrateur de flux magnétique. La valeur de la lecture doit alors être enregistrée, l'éprouvette tournée d'environ 180° dans un plan contenant la direction de son moment magnétique et alignée à nouveau pour donner la lecture maximale sur l'intégrateur de flux magnétique. La valeur de la lecture doit encore être enregistrée et $\Delta\phi$ doit être calculé. L'éprouvette doit être tournée de nouveau d'environ 180° pour la ramener à la direction initiale et la deuxième valeur de $\Delta\phi$ est déterminée de la même manière. La valeur moyenne des deux valeurs de $\Delta\phi$ doit être utilisée pour le calcul du moment magnétique coulombien à partir de l'équation (2).

There shall be no ferromagnetic material in the neighbourhood of the detection coil, except in the case where a shielded coil is used (see note to 8.4), or the sample magnetizing field is produced by a permanent magnet system (see clause 9).

8.3 Calibration of the measuring device for the magnetic dipole moment by means of a calibrated permanent magnet sample

If the flux integrator or the detection coil is not calibrated as described in clauses 6 and 7 and in 8.2, the system shall be calibrated by using a temperature stabilized permanent magnet sample of such dimensions, that it fits in the homogenous area of the detection coil.

There are two convenient methods for making the measurement, as presented below.

8.4 Withdrawal method

The test specimen shall be placed longitudinally and coaxially at the centre of the detection coil and aligned to give maximum reading at the magnetic flux integrator. The integrator shall be zeroed and the test specimen shall then be pulled out from the detection coil to a distance where the magnetic coupling between the test specimen and the detection coil becomes negligible. The integrator reading is recorded and the magnetic dipole moment is calculated from equation (1).

NOTE For comparative measurements on test specimens of similar dimensions, the detection coil can be placed in a magnetic shield having an aperture through which the test specimen is pulled out. This greatly reduces the distance to which the test specimen needs to be taken before the coupling with the detection coil becomes negligible. The magnetic shield protects the detection coil against magnetic disturbances so that the most sensitive ranges of the flux integrator can be used and very low magnetic moments can be measured. However, the magnetic flux distribution is quite different from that of the non-shielded detection coil and depends on the size of the shield and whether the shielding material is saturated or not. The uniform field region of a Helmholtz coil is decreased by a factor between 1 and 2,5, dependent on the size of the shield. Since the effective coil constant is increased, the calibration must be made in the presence of the shield. Care must be taken to avoid saturation of the shield during calibration and during the measurement of magnetic moment.

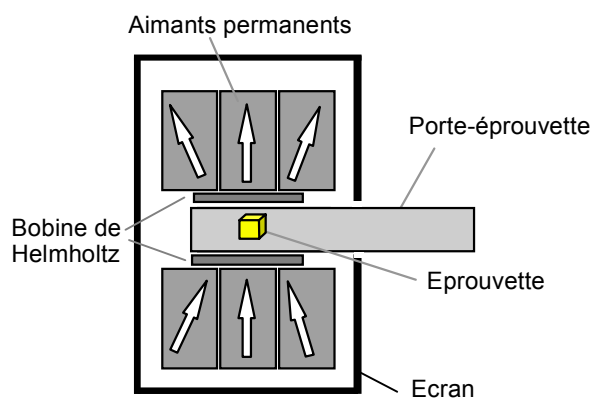
Another method to avoid the influence of magnetic disturbances is to use a compensating coil with the same area turns as those of the detection coil, connected in opposite series and placed at a distance where the influence of the test specimen becomes negligible, or to use a detection coil insensitive to external magnetic fields.

8.5 Rotation method

The rotation method can only be applied to magnetically hard test specimens. The magnetic flux integrator shall be zeroed without the test specimen in the detection coil. The test specimen shall be placed longitudinally and coaxially at the centre of the detection coil and aligned to give maximum reading on the magnetic flux integrator. The value of the reading shall then be recorded, the test specimen rotated through approximately 180° in a plane including the direction of its magnetic moment and aligned again to give maximum reading on the magnetic flux integrator. The value of the reading shall be recorded again and $\Delta\phi$ shall be calculated. The test specimen shall be rotated back to the first direction through approximately 180° and the second value of $\Delta\phi$ is determined in the same way. The mean value of both values of $\Delta\phi$ shall be used for the calculation of the magnetic dipole moment from equation (2).

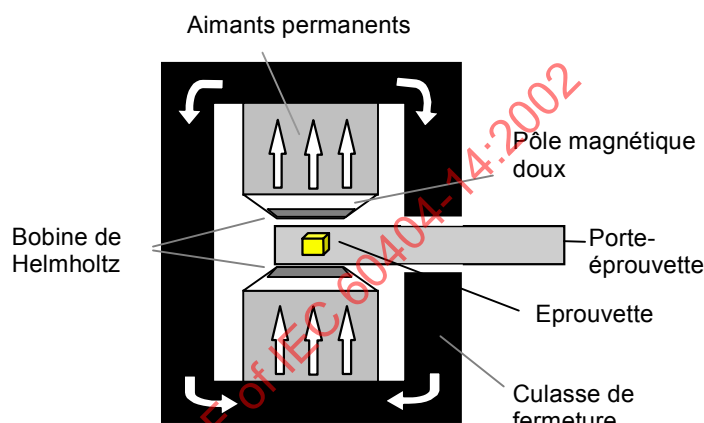
9 Détermination de la valeur de saturation du moment magnétique coulombien

Un ensemble d'aimants permanents doit être monté autour de la bobine de détection de sorte que sa direction de champ coïncide avec l'axe de bobine de détection afin de magnétiser l'éprouvette à saturation. Pour ces mesures, il faut que la bobine de détection soit accessible perpendiculairement à son axe, c'est pourquoi une paire de bobines de Helmholtz est préférable. Pour la magnétisation, un système d'aimants permanents avec une culasse fermée magnétiquement douce peut également être utilisé. Des dispositions typiques sont présentées aux figures 2 et 3.



IEC 1810/02

Figure 2 – Disposition avec aimant sans fer



IEC 1811/02

Figure 3 – Disposition avec aimant à culasse en O

La valeur de saturation du moment magnétique coulombien doit alors être déterminée par la méthode de retrait comme décrit au 8.4.

NOTE Quand un système d'aimants permanents avec des pièces polaires magnétiquement douces est utilisé pour magnétiser l'éprouvette, la présence du matériau magnétique produit des images magnétiques. Dans ce cas, il convient que l'étalonnage de la bobine de détection soit effectué en utilisant un matériau de référence de mêmes dimensions que l'éprouvette et à la même intensité de champ magnétique que celle utilisée pour les mesures sur l'éprouvette. Il faut que l'échantillon de référence soit saturé.

10 Détermination de la polarisation magnétique J

La valeur de la polarisation magnétique J peut être déterminée à partir du moment magnétique coulombien en divisant la valeur du moment magnétique coulombien par le volume de l'éprouvette conformément à l'équation (3).

Si la valeur de saturation du moment magnétique coulombien est mesurée comme décrit à l'article 9, alors la valeur de saturation de la polarisation magnétique J_s peut être facilement déterminée par cette méthode.

11 Détermination de la polarisation magnétique de saturation spécifique σ_s

La polarisation magnétique de saturation spécifique doit être déterminée en mesurant le moment magnétique coulombien de saturation comme décrit à l'article 9 et en divisant cette valeur par la masse de l'éprouvette en utilisant l'équation (4).

9 Determination of the saturation value of the magnetic dipole moment

An arrangement of permanent magnets shall be mounted around the detection coil so that its field direction coincides with the detection coil axis in order to magnetize the test specimen to saturation. For these measurements, the detection coil must have access perpendicular to its axis, thus a pair of Helmholtz coils is preferable. For magnetizing, a permanent magnet system with a soft magnetic closure yoke can also be used. Typical arrangements are shown in figures 2 and 3.

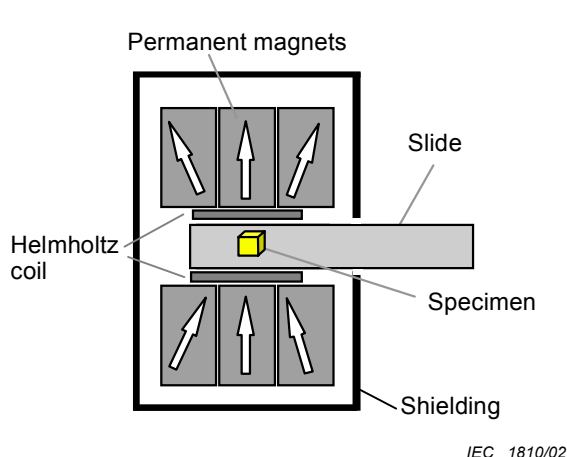


Figure 2 – Ironless magnet arrangement

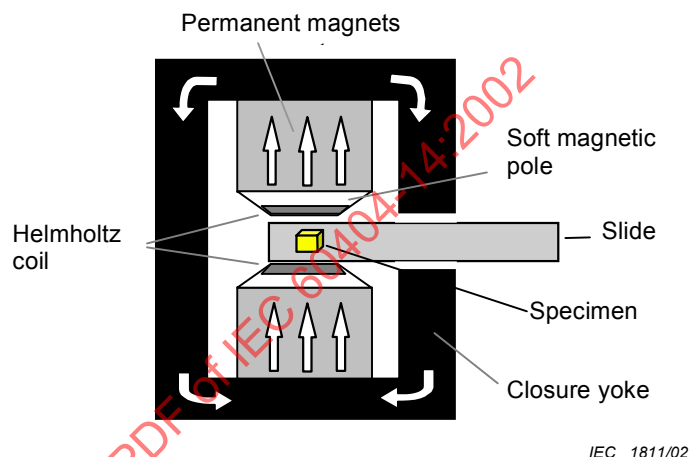


Figure 3 – O-yoke magnet arrangement

The saturation value of the magnetic dipole moment shall then be determined by the withdrawal method as described in 8.4.

NOTE When a permanent magnet system with soft magnetic pole pieces is used to magnetize the test specimen, the presence of the magnetic material will produce magnetic images. In this case, the calibration of the detection coil should be carried out using a reference material of the same dimensions as the test specimen and at the same magnetic field strength as used for measuring the test specimen. The reference sample must be saturated.

10 Determination of the magnetic polarization J

The value of the magnetic polarization J can be determined from the magnetic dipole moment by dividing the value of the magnetic dipole moment by the volume of the test specimen in accordance with equation (3).

If the saturation value of the magnetic dipole moment is measured as described in clause 9, then the saturation value of the magnetic polarization J_s can be easily determined by this method.

11 Determination of the specific saturation magnetic polarization σ_s

The specific saturation magnetic polarization shall be determined by measuring the saturation magnetic dipole moment as described in clause 9 and dividing this value by the mass of the test specimen using equation (4).

12 Etalonnage de l'appareil de mesure de la valeur de saturation du moment magnétique coulombien

Le système doit être étalonné en utilisant une tige de nickel pur de dimensions appropriées, de préférence des dimensions appliquées pour les éprouvettes. La tige de nickel doit être d'une pureté au moins égale à 99,99 % et il faut qu'elle soit saturée dans le système d'aimants permanents. La tige de nickel peut être étalonnée par un laboratoire accrédité. La préparation, le traitement et le recuit de la tige de nickel doivent être conformes aux méthodes connues.

De manière alternative, le système peut être étalonné en utilisant une bobine d'étalonnage du moment de dimensions appropriées, de préférence de mêmes dimensions que celles des éprouvettes. La bobine de moment étalonnée est utilisée à la place de l'éprouvette. Le moment magnétique de la bobine est déterminé à partir de son aire d'enroulement étalonnée et de l'intensité du courant mesurée injectée dans son enroulement.

13 Incertitude de mesure

Les différentes contributions à l'incertitude résultant de l'étalonnage de la bobine de détection, du fluxmètre, de la mesure du volume et de la masse de l'éprouvette, le cas échéant, doivent être déterminées et alors combinées selon les directives présentées dans le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* de l'ISO.

14 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir les éléments suivants, le cas échéant:

- a) une attestation certifiant que la mesure a été réalisée conformément à cette norme;
- b) la méthode employée;
- c) le type de bobine de détection;
- d) le moment magnétique coulombien, en webers mètres;
- e) la polarisation magnétique, en teslas;
- f) la polarisation magnétique de saturation spécifique, en teslas mètres cubes par kilogramme;
- g) la température de l'éprouvette pendant la mesure, en kelvins;
- h) une indication de l'incertitude de mesure;
- i) l'intensité de champ magnétique dans l'espace d'air, en ampères par mètre;
- j) la sensibilité ou la résolution du système, définie par la plus petite masse mesurable de nickel, en milligrammes;
- k) la région homogène au centre de la bobine d'évaluation du moment, définie par le diamètre et la hauteur du cylindre dans lequel l'intensité de champ magnétique s'écarte de moins de 1 % de celle du point central; le diamètre et la hauteur du cylindre doivent être indiqués en millimètres.

12 Calibration of the measuring device for the saturation value of the magnetic dipole moment

The system shall be calibrated by using a pure nickel rod of proper dimensions, preferably of the same dimensions as those of the test specimens. The purity of the nickel rod shall be at least 99,99 % and must be saturated in the permanent magnet system. The nickel rod can be calibrated by an accredited laboratory. The preparation, treatment and annealing of the nickel rod shall be in accordance with known methods.

The system can be alternatively calibrated by using a calibration moment coil of proper dimensions, preferably of the same dimensions as those of the test specimens. The calibrated moment coil is used instead of the specimen. The magnetic moment of the coil is determined from its calibrated winding area and the measured current fed through its winding.

13 Uncertainty of measurement

The individual uncertainty contributions arising from the calibration of the detection coil, fluxmeter, measurement of the volume and mass of the test specimen, as appropriate, shall be determined and then combined in accordance with the guidelines set out in the *ISO Guide to the expression of uncertainty in measurement*.

14 Test report

The test report shall include the following, as appropriate:

- a) a statement that the measurement was conducted in accordance with this standard;
- b) the method used;
- c) the type of detection coil;
- d) the magnetic dipole moment, in weber meters;
- e) the magnetic polarization, in teslas;
- f) the specific saturation magnetic polarization, in tesla cubic meters per kilogram;
- g) the temperature of the test specimen during the measurement, in kelvin;
- h) a statement of the uncertainty in the measurement;
- i) air-gap magnetic field strength, in amperes per metre;
- j) sensitivity or resolution of the system defined by the smallest measurable mass of nickel, in milligrams;
- k) homogenous area in the centre of the momentum coil defined by the diameter and height of the cylinder within which the magnetic field strength deviates by less than 1 % from that of the centre point; diameter and height of the cylinder shall be indicated in millimetres.

Annexe A (informative)

Mesure de la polarisation magnétique de saturation spécifique sur une éprouvette plus longue que la zone homogène des bobines de Helmholtz

Il existe des outils en métal dur, par exemple des forets, qui ont des dimensions plus grandes que la zone homogène des bobines de Helmholtz. Ces longues éprouvettes peuvent faire l'objet de mesures non destructives par la détermination d'un facteur de géométrie et en utilisant un porte-éprouvette spécial qui assure le même positionnement dans les bobines de Helmholtz.

Détermination du facteur de géométrie:

Faire une mesure de σ_s avec l'éprouvette longue dans le porte-éprouvette spécial. Puis séparer un fragment de la longue éprouvette qui soit adapté à la zone homogène des bobines de Helmholtz, réaliser une mesure de σ_s pour le fragment et calculer le facteur de géométrie en utilisant l'équation (A.1).

$$\text{Facteur de géométrie} = \sigma_{s \text{ fragment}} / \sigma_{s \text{ long outil}} \quad (\text{A.1})$$

où

le facteur de géométrie est le facteur de correction de la mesure σ_s pour une éprouvette plus grande que la zone homogène de la bobine de détection;

$\sigma_{s \text{ fragment}}$ est la valeur de σ_s d'un fragment de l'éprouvette, en teslas mètres cubes par kilogramme;

$\sigma_{s \text{ long outil}}$ est la valeur de σ_s de l'éprouvette entière, en teslas mètres cubes par kilogramme.

Pour une mesure non destructive de σ_s pour de longues éprouvettes, les fixer dans le porte-éprouvette spécial et corriger la valeur mesurée par le facteur de géométrie déterminée pour le même type d'éprouvette.

$$\sigma_{\text{scorr}} = \sigma_{\text{smes}} \times \text{facteur de géométrie} \quad (\text{A.2})$$

où

σ_{scorr} est la valeur de σ_s corrigée;

σ_{smes} est la valeur de σ_s mesurée.