

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
404-13**

Première édition
First edition
1995-09

Matériaux magnétiques –

Partie 13:

Méthodes de mesure de la masse volumique,
de la résistivité et du facteur de foisonnement
des tôles et bandes magnétiques

Magnetic materials –

Part 13:

Methods of measurement of density, resistivity and
stacking factor of electrical steel sheet and strip



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 404-13: 1995

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 auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

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

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique*;
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*;
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas*;

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale*.

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

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 from the IEC Central Office.

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

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV 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 publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology*;
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets*;
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams*;

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice*.

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, 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 end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
404-13**

Première édition
First edition
1995-09

Matériaux magnétiques –

Partie 13:

Méthodes de mesure de la masse volumique,
de la résistivité et du facteur de foisonnement
des tôles et bandes magnétiques

Magnetic materials –

Part 13:

Methods of measurement of density, resistivity and
stacking factor of electrical steel sheet and strip

© CEI 1995 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 pro-
cédé, 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.

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

P

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
Articles	
1 Domaine d'application et objet	6
2 Références normatives	6
3 Détermination de la masse volumique	8
3.1 Domaine d'application	8
3.2 Eprouvettes	8
3.2.1 Eprouvettes en forme de bandes	8
3.2.2 Eprouvettes en forme de tôles uniques	8
3.3 Principes de la mesure	10
3.3.1 Généralités	10
3.3.2 Méthode de mesure du produit $\rho_m \cdot p$ en utilisant des bandes échantillons Epstein (méthode A)	12
3.3.3 Méthode de mesure du produit $\rho_m \cdot p$ en utilisant des échantillons en forme de tôles uniques (méthode B)	14
3.4 Appareillage	16
3.4.1 Conditions requises pour utiliser les méthodes A et B	16
3.4.2 Conditions requises pour utiliser la méthode A	16
3.4.3 Conditions requises pour utiliser la méthode B	16
3.5 Mode opératoire	18
3.5.1 Généralités	18
3.5.2 Mode opératoire avec les échantillons en forme de bandes (méthode A)	18
3.5.3 Mode opératoire avec les échantillons en forme de tôles uniques (méthode B) .	20
3.5.4 Détermination de la masse volumique	20
3.6 Rapport d'essai	20
3.7 Reproductibilité	22
4 Détermination de la résistivité	22
4.1 Objet	22
4.2 Domaine d'application	22
4.3 Echantillon	22
4.4 Principe de la mesure	22
4.4.1 Méthode basée sur la détermination du produit $\rho_m \cdot p$	22
4.4.2 Méthode basée sur la détermination de l'épaisseur d	22
4.5 Rapport d'essai	24
4.6 Reproductibilité	26
5 Détermination du facteur de foisonnement	26
5.1 Objet	26
5.2 Domaine d'application	26
5.3 Mode opératoire	26
5.4 Rapport d'essai	28
5.5 Reproductibilité	28
Annexe A – Bibliographie	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope and object	7
2 Normative references	7
3 Determination of the density	9
3.1 Field of application	9
3.2 Test specimens	9
3.2.1 Strip specimens	9
3.2.2 Sheet specimens	9
3.3 Principles of measurement	11
3.3.1 General	11
3.3.2 Method of measuring the product $\rho_m \cdot \rho$ using Epstein strips (method A)	13
3.3.3 Method of measuring the product $\rho_m \cdot \rho$ using sheet specimens (method B)	15
3.4 Apparatus	17
3.4.1 Requirements for methods A and B	17
3.4.2 Requirements for method A	17
3.4.3 Requirements for method B	17
3.5 Procedure	19
3.5.1 General	19
3.5.2 Procedure with strip specimens (method A)	19
3.5.3 Procedure with sheet specimens (method B)	21
3.5.4 Determination of the density	21
3.6 Test report	21
3.7 Reproducibility	23
4 Determination of the resistivity	23
4.1 Object	23
4.2 Field of application	23
4.3 Test specimen	23
4.4 Principle of measurement	23
4.4.1 Method based on the determination of the product $\rho_m \cdot \rho$	24
4.4.2 Method based on the determination of thickness d	23
4.5 Test report	25
4.6 Reproducibility	27
5 Determination of the stacking factor	27
5.1 Object	27
5.2 Field of application	27
5.3 Measuring procedure	27
5.4 Test report	29
5.5 Reproducibility	29
Annex A – Bibliography	30

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES -

Partie 13: Méthodes de mesure de la masse volumique, de la résistivité et du facteur de foisonnement des tôles et bandes magnétiques

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique 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 en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles 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.

La Norme internationale CEI 404-13 a été établie par le comité d'études 68 de la CEI: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

Cette norme annule les chapitres VI, VII et IX de la CEI 404-2: 1978 qui sera prochainement révisée et qui ne comprendra que les mesures magnétiques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapport de vote
68/110/DIS	68/121/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.

L'annexe A est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS -

Part 13: Methods of measurement of density, resistivity and stacking factor of electrical steel sheet and strip

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 cooperation 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, 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.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, 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.

International Standard IEC 404-13 has been prepared by IEC technical committee 68: Magnetic alloys and steels.

This standard supersedes chapters VI, VII and IX of IEC 404-2: 1978 which will shortly be revised to include only magnetic measurements.

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

DIS	Report on voting
68/110/DIS	68/121/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.

Annex A is for information only.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

Partie 13: Méthodes de mesure de la masse volumique, de la résistivité et du facteur de foisonnement des tôles et bandes magnétiques

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 404 a pour objet de spécifier les méthodes utilisées pour déterminer la masse volumique, la résistivité, et le facteur de foisonnement des tôles et bandes magnétiques. Ces grandeurs sont nécessaires pour établir les caractéristiques magnétiques du matériau. En particulier il faut disposer de la masse volumique pour ajuster l'induction magnétique aux valeurs spécifiées, quand on ne connaît pas l'épaisseur de l'éprouvette.

Pour déterminer la masse volumique, la méthode par immersion a été considérée antérieurement comme une méthode fondamentale à utiliser en cas d'arbitrage. Toutefois, l'expérience a montré qu'il s'agit là d'une méthode très difficile à maîtriser dans le cas d'échantillons de tôles possédant une surface relativement étendue. Elle n'est donc pas exposée ici; et référence est faite à la norme ISO 2738 et à l'ISO 1183 qui la décrivent en détails.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 404. Au moment de la publication les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 404 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes Internationales en vigueur.

CEI 404-2: 1978, *Matériaux magnétiques – Deuxième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques, électriques et physiques des tôles et feuillards magnétiques*

CEI 404-3: 1992, *Matériaux magnétiques – Partie 3: Méthodes de mesure des caractéristiques magnétiques des tôles et feuillards magnétiques à l'aide de l'essai sur tôle unique*

CEI 404-10: 1988, *Matériaux magnétiques – Dixième partie: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques à fréquences moyennes des tôles et feuillards magnétiques en acier*

ISO 1183: 1987, *Plastiques – Méthodes pour déterminer la masse volumique et la densité relative des plastiques non alvéolaires*

ISO 2738: 1987, *Matériaux métalliques frittés perméables – Détermination de la masse volumique, de la teneur en huile et de la porosité ouverte*

MAGNETIC MATERIALS –

Part 13: Methods of measurement of density, resistivity and stacking factor of electrical steel sheet and strip

1 Scope and object

This part of IEC 404 specifies the methods used for determining the density, resistivity and stacking factor of electrical steel sheet and strip. These quantities are necessary to establish the magnetic characteristics of the material. In particular, the density is necessary to allow specified values of the flux density to be set without knowing the thickness of the test specimen.

For the determination of the density, the immersion method was earlier considered to be a fundamental method for use in cases of arbitration. However, experience has shown that this method is very difficult to use in the case of sheet samples with a relatively large surface area. This method is therefore not included. It is described in ISO 2738 and ISO 1183.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 404. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 404 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 404-2: 1978, *Magnetic materials – Part 2: Methods of measurement of magnetic, electrical and physical properties of magnetic sheet and strip*

IEC 404-3: 1992, *Magnetic materials – Part 3: Methods of measurement of magnetic properties of magnetic sheet and strip by means of a single sheet tester*

IEC 404-10: 1988, *Magnetic materials – Part 10: Methods of measurement of magnetic properties of magnetic steel sheet and strip at medium frequencies*

ISO 1183: 1987, *Plastics – Methods for determining the density and relative density of non-cellular plastics*

ISO 2738: 1987, *Permeable sintered metal materials – Determination of density, oil content and open porosity*

3 Détermination de la masse volumique

3.1 Domaine d'application

La méthode de mesure de la masse volumique définie dans cet article s'applique exclusivement aux tôles et bandes magnétiques non orientés en fer-silicium avec ou sans isolement, dont la composition chimique massique satisfait aux conditions suivantes:

- silicium: $p(\text{Si}) \leq 4 \%$;
- aluminium: $0,17 p(\text{Si}) - 0,28 \leq p(\text{Al}) \leq 0,17 p(\text{Si}) + 0,28$ et $p(\text{Al}) \geq 0$;
- concentration des autres constituants de l'alliage: $p \leq 0,4 \%$

où

$p(\text{Si})$ est le pourcentage massique en Si;

$p(\text{Al})$ est le pourcentage massique en Al.

NOTE – Si la composition chimique n'est pas connue, il est recommandé de la vérifier préalablement à l'utilisation de cette méthode.

Les deux méthodes de détermination de la masse volumique décrites dans cette norme s'appliquent à des bandes Epstein (méthode A) telles que définies dans la CEI 404-2 et la CEI 404-10 et à des tôles uniques (méthode B) telles que définies dans la CEI 404-3.

Pour les matériaux qui ne satisfont pas aux critères de composition chimique ci-dessus, on doit utiliser les méthodes d'immersion de précision équivalente, comme celles définies dans l'ISO 2738 ou l'ISO 1183.

Les mesures doivent être effectuées à une température ambiante de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

3.2 Epreuves

3.2.1 Epreuves en forme de bandes

Une éprouvette en forme de bande utilisée avec la méthode A (voir 3.3.2) doit avoir les dimensions suivantes:

- largeur $b = (30 \pm 0,2) \text{ mm}$;
- longueur $280 \text{ mm} \leq l \leq 320 \text{ mm}$.

Elle doit être découpée avec son axe longitudinal parallèle à la direction de laminage.

Il n'est pas nécessaire d'éliminer l'oxyde ou tout autre revêtement isolant sauf aux endroits où on établit des contacts électriques.

3.2.2 Epreuves en forme de tôles uniques

Une éprouvette utilisée avec la méthode B (voir 3.3.3) doit avoir les dimensions suivantes:

- largeur $b = 500 \text{ mm}$;
- longueur $l = 500 \text{ mm}$.

3 Determination of the density

3.1 Field of application

The method of measurement of the density defined in this clause applies only to non-oriented iron-silicon electrical sheet and strip with or without insulation, with the following range of chemical composition by mass:

- silicon: $p(\text{Si}) \leq 4 \%$;
- aluminium: $0,17 p(\text{Si}) - 0,28 \leq p(\text{Al}) \leq 0,17 p(\text{Si}) + 0,28$ and $p(\text{Al}) \geq 0$;
- total of other alloy constituents: $p \leq 0,4 \%$

where

$p(\text{Si})$ is the percentage of Si by mass;

$p(\text{Al})$ is the percentage of Al by mass.

NOTE - If the chemical composition is not known, it should be verified before using this method.

The two methods of determination of density described in this standard are applicable to Epstein strips (method A) as specified by IEC 404-2 and IEC 404-10 and to sheets (method B) as specified by IEC 404-3.

For materials not meeting the above range of chemical composition, immersion methods of equivalent accuracy such as those defined in ISO 2738 or ISO 1183 shall be used.

The measurements shall be made at an ambient temperature of $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

3.2 Test specimens

3.2.1 Strip specimens

The strip specimen used in method A (see 3.3.2) shall have the following dimensions:

- width $b = (30 \pm 0,2) \text{ mm}$;
- length $280 \text{ mm} \leq l \leq 320 \text{ mm}$.

It shall be cut with its longitudinal axis parallel to the direction of rolling.

It is not necessary to remove the oxide or other insulating coating except from places where electrical contacts are made.

3.2.2 Sheet specimens

The dimensions of the sheet used for method B (see 3.3.3) shall be as follows:

- width $b = 500 \text{ mm}$;
- length $l = 500 \text{ mm}$.

Ce sont là les dimensions habituelles d'une éprouvette de tôle à grains non orientés utilisée pour l'essai sur tôle unique conformément à la publication CEI 404-3. Toutefois, les dimensions des éprouvettes rectangulaires peuvent varier dans les limites suivantes:

$$300 \text{ mm} \leq b \leq 510 \text{ mm} \text{ et } 500 \text{ mm} \leq l \leq 600 \text{ mm}$$

3.3 Principes de la mesure

3.3.1 Généralités

Pour des matériaux magnétiques comme spécifié à l'article 3, la masse volumique, ρ_m , et la résistivité, ρ , dépendent des concentrations en silicium et en aluminium. L'expérience a montré que la relation entre la masse volumique ρ_m et le produit $\rho_m \cdot \rho$ facile à mesurer (voir 3.3.2 et 3.3.3) est une loi simple quasi linéaire comme indiqué sur la figure 1. Ainsi, il est possible de déterminer la masse volumique en remplaçant sa mesure directe par une mesure du produit $\rho_m \cdot \rho$.

La fonction linéaire représentée à la figure 1, obtenue par régression linéaire à partir des données expérimentales, suit la relation empirique:

$$\rho_m = \rho_o - k_s \cdot \rho_m \cdot \rho \quad (1)$$

où

$$k_s = 89\,200 \text{ (}\Omega \cdot \text{m)}^{-1};$$

ρ_m est la masse volumique, en kilogrammes par mètre cube;

$$\rho_o = 7\,973 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3};$$

ρ est la résistivité, en ohm mètres.

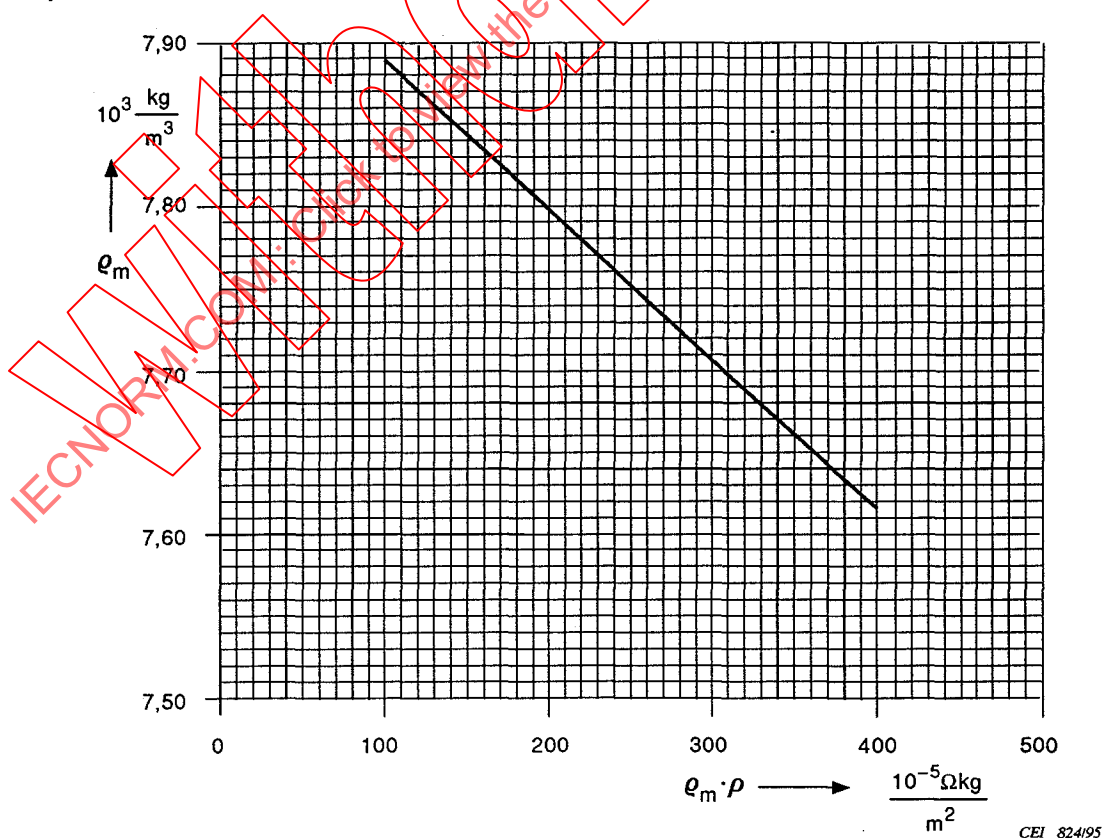


Figure 1 – Masse volumique ρ_m en fonction du produit $\rho_m \cdot \rho$, dans les aciers alliés pour tôles magnétiques

These are the usual dimensions of a non-oriented test specimen for use in a single-sheet tester (SST) conforming with IEC 404-3. However, the dimensions of the rectangular sheets can vary within:

$$300 \text{ mm} \leq b \leq 510 \text{ mm} \text{ and } 500 \text{ mm} \leq l \leq 600 \text{ mm}$$

3.3 Principles of measurement

3.3.1 General

In the case of magnetic material as specified in clause 3, both the density, ϱ_m , and the resistivity, ρ , are functions of the silicon and aluminium contents. Experience has shown that the relationship between the density ϱ_m and the easy-to-measure product $\varrho_m \cdot \rho$ (see 3.3.2 and 3.3.3) is a simple, almost linear one, as shown in figure 1. Thus, it is possible to determine the density by substituting its direct measurement by the measurement of the product $\varrho_m \cdot \rho$.

The linear function shown in figure 1, obtained by linear regression from experimental data, follows the empirical relation:

$$\varrho_m = \varrho_o - k_s \cdot \varrho_m \cdot \rho \quad (1)$$

where

$$k_s = 89\,200 \text{ (}\Omega \cdot \text{m)}^{-1};$$

ϱ_m is the density, in kilograms per cubic metre;

$$\varrho_o = 7\,973 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3};$$

ρ is the resistivity, in ohm metres.

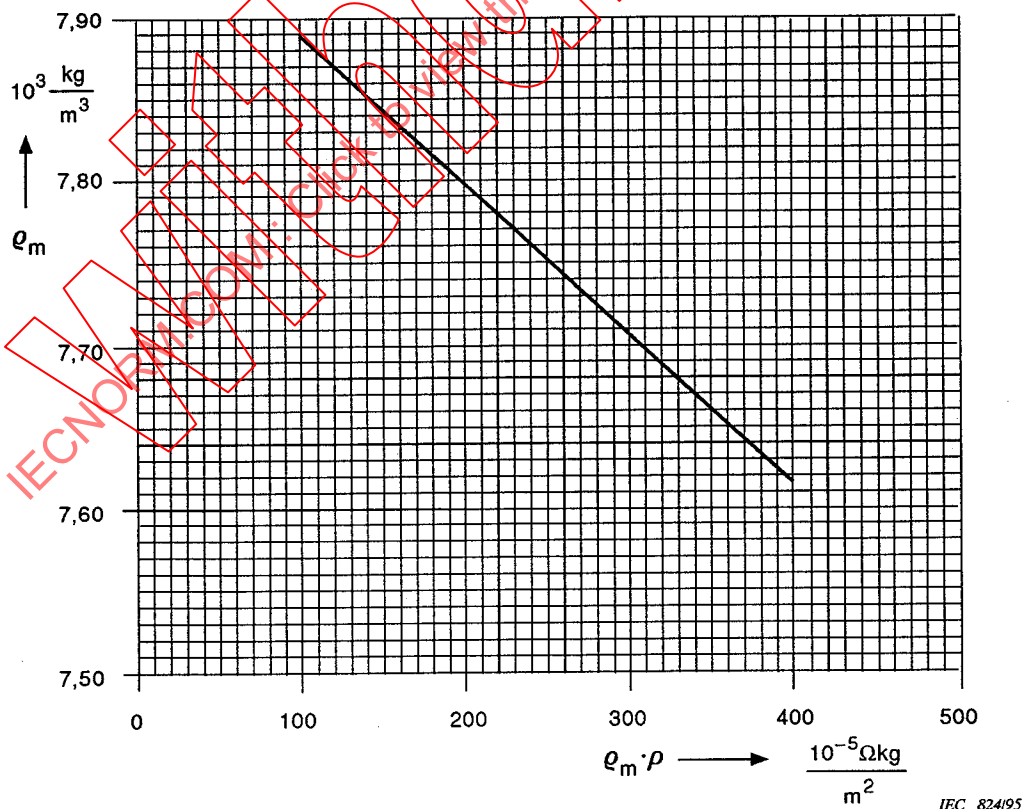


Figure 1 – Density ϱ_m as a function of the product $\varrho_m \cdot \rho$, for alloyed electrical sheet steel

Cette relation a été établie par un traitement statistique soigné de résultats expérimentaux obtenus par la méthode d'immersion [1]* en tenant compte des impuretés habituelles des matériaux non orientés.

Pour les deux types distincts d'éprouvettes, destinées respectivement aux mesures par la méthode Epstein et la méthode du cadre à bande unique, deux méthodes distinctes sont appliquées pour déterminer le produit $\rho_m \cdot \rho$ décrites en 3.3.2 et 3.3.3.

3.3.2 Méthode de mesure du produit $\rho_m \cdot \rho$ en utilisant des bandes éprouvettes Epstein (méthode A)

Si un courant électrique homogène circule dans l'éprouvette, la résistance R d'une longueur de bande Epstein comprise entre deux contacts ponctuels peut être facilement mesurée.

Les relations

$$R = \frac{\rho \cdot l_e}{b \cdot d} \quad (2)$$

et
$$m = l \cdot b \cdot d \cdot \rho_m \quad (3)$$

entraînent
$$\rho_m \cdot \rho = \frac{R \cdot m}{l_e \cdot l} \quad (4)$$

où

b est la largeur de l'éprouvette, en mètres;

d est l'épaisseur de l'éprouvette, en mètres;

l est la longueur totale de l'éprouvette, en mètres;

l_e est la longueur du circuit électrique (distance entre les électrodes de potentiel), en mètres;

m est la masse de l'éprouvette, en kilogrammes;

ρ_m est la masse volumique de l'éprouvette sans isolation, en kilogrammes par mètre cube;

R est la résistance électrique, en ohms;

ρ est la résistivité, en ohm mètres.

La valeur de ρ_m doit être déterminée par lecture directe sur la figure 1 compte tenu de la valeur du produit $\rho_m \cdot \rho$ obtenu en utilisant l'équation (4). On peut aussi le calculer en utilisant l'équation (1).

* Les chiffres entre crochets se rapportent à l'annexe A (Bibliographie).

This relationship has been established by careful and statistical application of the immersion method [1]* taking the usual impurities of non-oriented material into account.

For the two different types of test specimen used for the Epstein and single-sheet test (SST) method, respectively, two methods of determination of the product $\rho_m \cdot \rho$ are applied, described in 3.3.2 and 3.3.3.

3.3.2 Method of measuring the product $\rho_m \cdot \rho$ using Epstein strips (method A)

If an electric current flows homogeneously through the test specimen the resistance R of a length of an Epstein strip between two point contacts can be easily measured.

The relationships

$$R = \frac{\rho \cdot l_e}{b \cdot d} \quad (2)$$

and

$$m = l \cdot b \cdot d \cdot \rho_m \quad (3)$$

give

$$\rho_m \cdot \rho = \frac{R \cdot m}{l_e \cdot l} \quad (4)$$

where

b is the width of the test specimen, in metres;

d is the thickness of the test specimen, in metres;

l is the total length of the test specimen, in metres;

l_e is the electrical path length (distance between the potential contacts), in metres;

m is the mass of the test specimen, in kilograms;

ρ_m is the density of the test specimen without insulation, in kilograms per cubic metre;

R is the electrical resistance, in ohms;

ρ is the resistivity, in ohm metres.

The value of ρ_m shall be determined by reading from figure 1 the value corresponding to the value of the product $\rho_m \cdot \rho$ determined from equation (4). It can also be calculated using equation (1).

* The figures in square brackets refer to annex A (Bibliography).

3.3.3 Méthode de mesure du produit $\rho_m \cdot \rho$ en utilisant des éprouvettes en forme de tôles uniques (méthode B)

A partir de la théorie des transformations conformes des champs dans un espace à deux dimensions, on montre que [2], pour un solide d'épaisseur constante et de forme quelconque, la relation suivante est satisfaite:

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \cdot \frac{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}}{2} \cdot F_p \quad (5)$$

où

ρ désigne la résistivité, en ohm mètres;

F_p est une fonction du seul rapport $\frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}}$;

$R_{AB,CD}$ est la résistance obtenue à partir de la différence de potentiel $V_C - V_D$ entre les électrodes C et D, pour un courant unité circulant entre les électrodes A et B, les contacts A, B, C et D étant aussi ponctuels que possible et distribués au hasard, à la périphérie de l'éprouvette, en ohms;

$R_{BC,DA}$ est, de la même façon, la résistance correspondant à la différence de potentiel entre les électrodes D et A pour un courant unité circulant entre les électrodes B et C, en ohms;

d est l'épaisseur de l'éprouvette, en mètres.

Si le rapport $\frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}}$ est voisin de l'unité, la fonction F_p devient égale à 1 et n'intervient plus [2]. Pour assurer que ce rapport soit proche de l'unité les électrodes doivent être disposées de façon symétrique au milieu des côtés de l'éprouvette carrée ou rectangulaire, comme indiqué sur la figure 2.

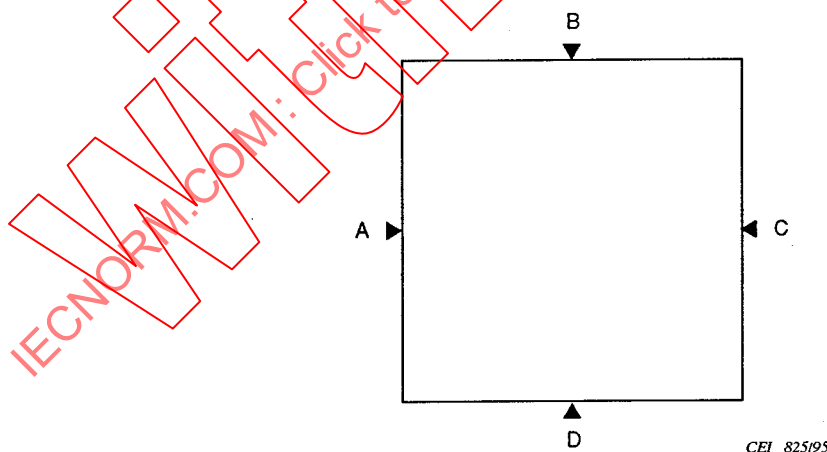


Figure 2 – Disposition des électrodes ponctuelles à la périphérie de l'éprouvette utilisée en méthode B

On obtient encore la relation permettant de déterminer le produit $\rho_m \cdot \rho$ qui ne dépend pas de l'épaisseur d , à partir de l'équation (5) et compte tenu de l'équation (3):

$$\rho_m \cdot \rho = \frac{\pi \cdot m}{l \cdot b \cdot \ln 2} \cdot \frac{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}}{2} \quad (6)$$

3.3.3 Method of measuring the product $\rho_m \cdot \rho$ using sheet specimens (method B)

On the basis of the theory of conformal mapping of two-dimensional fields, it has been shown [2] that, for a body of uniform thickness and arbitrary shape, the following relationship holds:

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \cdot \frac{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}}{2} \cdot F_p \quad (5)$$

where

ρ is the resistivity, in ohm metres;

F_p is a function of the ratio $\frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}}$ only;

$R_{AB,CD}$ is the resistance obtained from the potential difference $V_C - V_D$ between the contacts C and D per unit current through the contacts A and B, the contacts A,B,C and D being as small as possible and randomly distributed over the specimen edge, in ohms;

$R_{BC,DA}$ is, correspondingly, the resistance obtained from the potential difference between contacts D and A per unit current through the contacts B and C, in ohms;

d is the thickness of the test specimen, in metres.

If the ratio $\frac{R_{AB,CD}}{R_{BC,DA}}$ is close to unity, the function F_p becomes 1 so that it can be omitted [2].

To ensure that this ratio is close to unity, the contacts shall be arranged symmetrically at the mid-points of the edges of the square or rectangular test specimen as shown in figure 2.

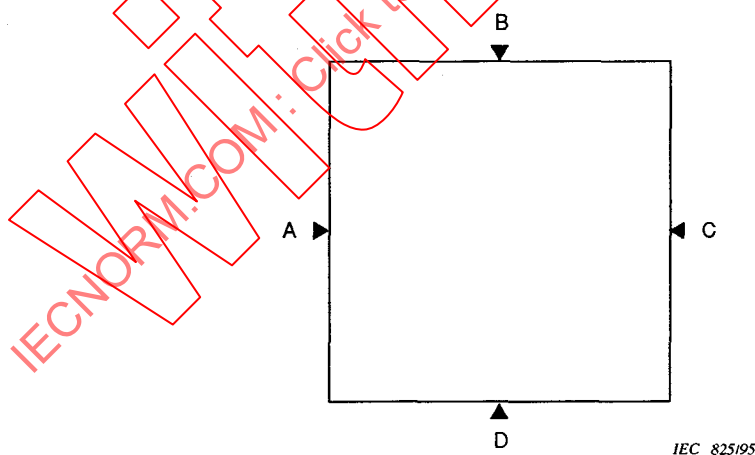


Figure 2 – Arrangement of contacts on the test specimen for method B

Again the relationship is obtained for the determination of the product $\rho_m \cdot \rho$, which is independent of the thickness d , from equation (5) using equation (3):

$$\rho_m \cdot \rho = \frac{\pi \cdot m}{l \cdot b \cdot \ln 2} \cdot \frac{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}}{2} \quad (6)$$

La valeur de ρ_m doit être déterminée par lecture directe sur la figure 1 compte tenu de la valeur du produit $\rho_m \cdot \rho$ obtenu à partir de l'équation (6). On peut aussi la calculer en utilisant l'équation (1).

NOTE – On a montré que la méthode décrite dans ce paragraphe équivaut à la méthode A appliquée à des bandes et décrite en 3.3.2, les écarts observés entre les deux méthodes étant inférieurs à la dispersion entre des échantillons distincts de même provenance mesurés par la méthode A [3].

3.4 Appareillage

3.4.1 Conditions requises pour utiliser les méthodes A et B

Les équipements suivants sont nécessaires:

- une balance permettant de mesurer la masse, m , de l'éprouvette à $\pm 0,1$ g;
- un instrument de mesures dimensionnelles, permettant de mesurer la longueur l et la largeur b de l'éprouvette à mieux de $\pm 0,5$ %;
- une alimentation de puissance consistant en une source de courant alternatif stable sous une tension faible, capable de délivrer un courant de l'ordre de 1 A à 10 A (ou sinon on peut utiliser un ohm mètre à quatre bornes, comme indiqué à l'alinéa suivant);
- un système de mesure de la résistance (par exemple une résistance étalon et un voltmètre digital de précision 0,1 % ou meilleure, ou un pont de Kelvin ou un ohm mètre à quatre bornes de précision analogue) permettant de mesurer la résistance, R , de l'éprouvette avec une précision meilleure que ± 1 %;
- un appareillage permettant d'assurer les contacts électriques avec l'éprouvette, consistant en une plaque de base portant des contacts électriques (voir 3.4.2 et 3.4.3), et, entre ces contacts une plaque support d'éprouvette plane de dimensions inférieures à celles de l'éprouvette, d'au plus 5 mm de chaque côté (10 mm pour l'éprouvette en forme de tôle unique). L'épaisseur du support doit permettre d'assurer les contacts électriques entre les électrodes et l'éprouvette reposant sur le support.

3.4.2 Conditions requises pour utiliser la méthode A

L'appareillage nécessite l'utilisation de quatre contacts électriques avec la bande éprouvette: deux électrodes de potentiel (pointes) fixées sur un support amovible et deux amenées de courant fixées à la plaque de base. Ces quatre contacts sont disposés de telle sorte que les deux électrodes de prise de potentiel se situent entre les amenées de courant et sur l'axe de la bande. Les amenées de courant sont réalisées par deux lames de ressort assurant le contact électrique avec la bande éprouvette sur toute sa largeur. La distance séparant les deux électrodes de potentiel doit être supérieure à 200 mm. La distance minimale entre une électrode de potentiel et une amenée de courant ne doit pas être inférieure à la largeur de l'éprouvette (la distance l_e entre les pointes doit être déterminée une fois pour toutes à mieux que $\pm 0,5$ mm).

Il n'est pas nécessaire d'enlever le revêtement d'oxyde ou de tout autre isolant sauf aux endroits précis où des contacts électriques sont établis.

3.4.3 Conditions requises pour utiliser la méthode B

Pour la méthode B, quatre contacts électriques présentant une arête relativement fine (par exemple un rayon de courbure de 1 mm) doivent être mis en place sur un support, fixé lui-même sur la plaque de base. Les contacts électriques doivent être disposés symétriquement par rapport aux axes de l'échantillon à mieux de ± 1 mm (voir figure 2).

The value of ρ_m shall be determined by reading it off from figure 1 corresponding to the value of the product $\rho_m \cdot \rho$ determined from equation (6). It can also be calculated using equation (1).

NOTE – It has been shown that the method described in this subclause is equivalent to method A for strips described in 3.3.2, within limits which are smaller than the dispersion between individual strip samples of one grade of material, when method A is applied [3].

3.4 Apparatus

3.4.1 Requirements for methods A and B

The following equipment is required:

- a balance, capable of measuring the mass, m , of the test specimen to within $\pm 0,1$ g;
- a length measuring device, capable of measuring the length l and the width b of the test specimen to within $\pm 0,5$ %;
- a power supply consisting of a stable low voltage d.c. current source capable of supplying a current of the order 1 A to 10 A (unless a 4-terminal ohm meter is used, see next paragraph);
- a resistance measuring device (e.g. standard resistor and digital voltmeter of accuracy 0,1% or better or a Kelvin bridge or a 4-terminal ohm meter of corresponding accuracy) capable of measuring the resistance, R , of the test specimen to within ± 1 %;
- an apparatus for making contact to the test specimen consisting of a base plate carrying contacts (see 3.4.2 and 3.4.3) and, between the contacts, a supporting flat plate smaller than the test specimen (on sides where contacts are arranged) but not by more than 5 mm (10 mm for sheet specimens) on each side. The thickness of the support shall allow the contacts to touch the specimen lying on the support.

3.4.2 Requirements for method A

The apparatus for making electrical contact with the strip specimen employs four contacts: two potential contacts (tips) arranged on a removable bridge and two current contacts fixed to the base plate. The four contacts are arranged so that the two potential contacts lie between the current contacts and are on the axis of the strip. The current contacts consist of two leaf springs making contact with the test specimen over the whole width. The distance between the potential contacts shall exceed 200 mm. The minimum distance between the potential contacts and the current contacts shall be not less than the width of the test specimen (the distance l_e between the tips shall be determined once and for all within $\pm 0,5$ mm).

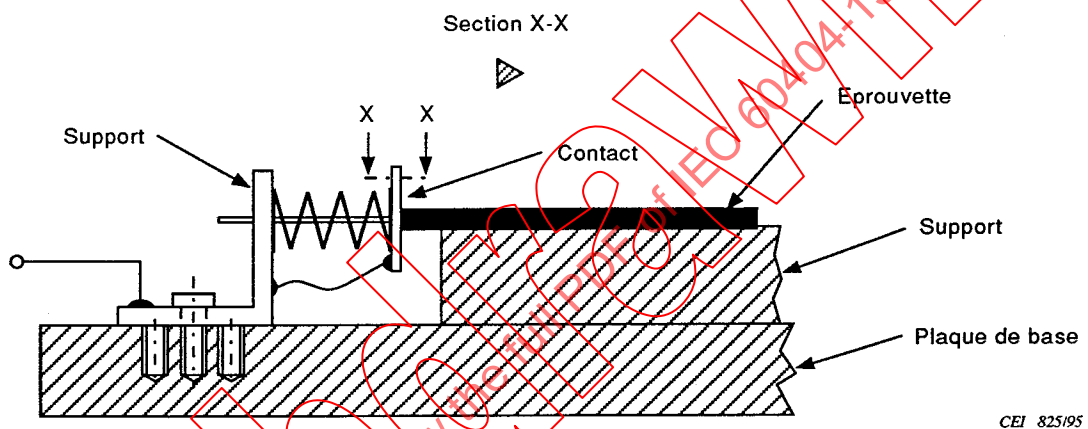
It is not necessary to remove the oxide or other insulating coating except from places where electrical contact is made.

3.4.3 Requirements for method B

For method B four contacts with a relatively sharp edge (e.g. with a radius of curvature of 1 mm) shall each be mounted on a holder which is fixed to the base plate. The contacts shall be arranged symmetrically about the sample axes, within ± 1 mm (see figure 2).

Il peut être envisagé de modifier les positions d'une paire de ces contacts disposés en vis-à-vis de part et d'autre de l'éprouvette, de façon à changer la distance qui les sépare mais en leur conservant des positions symétriques par rapport à l'axe défini par les deux autres contacts. Cela permet d'opérer avec des éprouvettes de longueur variable, ce qui peut éventuellement entraîner la nécessité de modifier la taille de la plaque support. Des trous filetés en différents points de la plaque de base ou une fente de réglage permettent d'obtenir différentes positions pour les supports de contacts. Les contacts électriques doivent être pressés élastiquement sur l'éprouvette par des ressorts. L'arête de chaque contact doit être perpendiculaire au bord de l'éprouvette. Cela peut être réalisé à l'aide d'un petit bloc de contact, qui peut glisser par rapport à son support et qui est pressé contre l'éprouvette par un ressort placé entre le support et le bloc contact. Chaque contact mobile doit être relié au support de contact ou à une embase fixée au support par un câble conducteur flexible soudé à ses deux extrémités. (Voir figure 3.)

NOTE - D'autres dispositions comme des soudures peuvent être utilisées pour assurer un bon contact électrique.



CEI 825/95

Figure 3 - Vue schématique en coupe de la disposition du support de contact

3.5 Mode opératoire

3.5.1 Généralités

L'éprouvette doit être pesée. Sa longueur et sa largeur doivent être déterminées à l'aide de l'instrument de mesures dimensionnelles. Les mesures doivent être effectuées à température ambiante de $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$. La température doit être maintenue constante pendant toute la mesure.

3.5.2 Mode opératoire avec les éprouvettes en forme de bandes (méthode A)

Les connexions électriques du circuit doivent être réalisées et un courant d'intensité comprise entre 1 A et 5 A, selon l'épaisseur de l'éprouvette et les propriétés du matériau doit parcourir l'éprouvette. Au cas où on utilise un ohm mètre à quatre bornes donnant la même précision, une intensité du courant inférieure à 1 A est permise. La tension et le courant doivent être notés. Le courant doit être ensuite inversé et ajusté à la même intensité que précédemment et la tension lue à nouveau. On calcule la résistance R à partir de la valeur moyenne des deux tensions qu'on divise par l'intensité du courant.

Le produit $\rho_m \cdot \rho$ doit être calculé à partir de l'équation (4).

The position of one pair of these contacts, arranged opposite each other, should be able to be changed in such a way that the distance between them can be changed but they remain symmetrical about the axis between the other two contacts. This allows for the varying length of the test specimens, which might possibly involve the need to vary the size of the supporting plate. Tapped holes at different points or adjustment slots enable the contact holders to be placed in different positions. The contacts shall be elastically pressed against the test specimen with the help of springs. The edge of the contacts shall be perpendicular to the specimen's edges. This can be achieved by means of a small contact block which can slide relative to its holder and which is pressed against the test specimen by a spring placed between the holder and the contact block. The movable contact shall be connected to the holder, or a plug-in socket on it, by means of a flexible conductor welded to both. (See figure 3.)

NOTE - Other methods such as soldering may be used to provide good electrical contact.

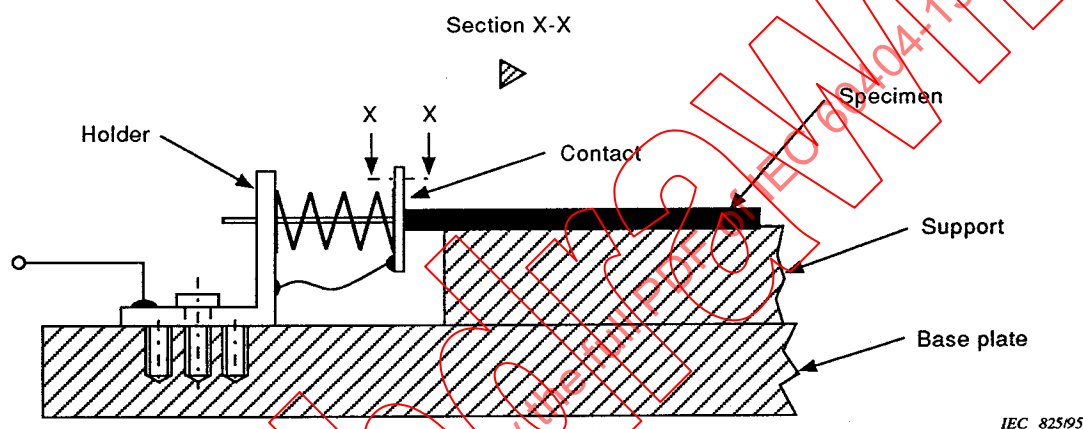


Figure 3 - Schematic cross-sectional view of the arrangement of the contact holder

3.5 Procedure

3.5.1 General

The test specimen shall be weighed. The length and width of the test specimen shall be determined using the length measuring device. Measurements shall be made at an ambient temperature of $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$. The temperature shall be kept constant throughout the measurement.

3.5.2 Procedure with strip specimens (method A)

The circuit connections shall be made, and a current having a value between 1 A and 5 A depending on the thickness of the material and the material properties, shall be fed through the test specimen. If a 4-terminal ohm meter having the same accuracy of measurement is used, a lower value of the current is permitted. The voltage and the current shall be read. The current shall then be reversed and set to the same value, and the voltage read again. The resistance R is then calculated from the average of the two voltages divided by the current value.

The product $\rho_m \cdot \rho$ shall be calculated using equation (4).

3.5.3 Mode opératoire avec les éprouvettes en forme de tôles uniques (méthode B)

Les connexions électriques du circuit doivent être réalisées conformément à la figure 4. Un courant d'intensité comprise entre 2 A et 10 A, suffisante pour permettre une lecture de la tension à la précision requise, doit être établi entre les contacts A et B à travers l'éprouvette. Au cas où on utilise un ohm mètre à quatre bornes donnant la même précision, une intensité du courant inférieure à 2 A est permise. La tension et le courant doivent être notés puis le courant doit être inversé et ajusté à la même intensité que précédemment et la tension lue à nouveau. La résistance $R_{AB,CD}$ sera alors calculée à partir de la valeur moyenne des deux tensions, divisée par l'intensité du courant. En permutant les connexions aux deux contacts A et C en vis-à-vis, on détermine de façon similaire la résistance $R_{BC,DA}$.

Le produit $\rho_m \cdot \rho$ doit être calculé à partir de $R_{AB,CD}$ et $R_{BC,DA}$ en utilisant l'équation (6).

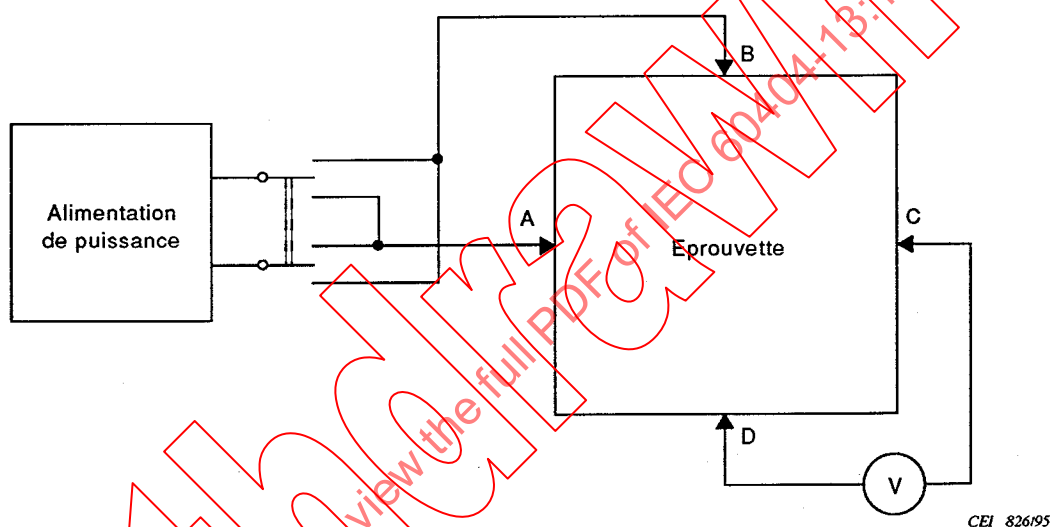


Figure 4 – Circuit pour la mesure de la résistance $R_{AB,CD}$ sur une tôle unique carrée

3.5.4 Détermination de la masse volumique

A partir de la droite représentée à la figure 1, on lit la masse volumique ρ_m qui correspond au produit $\rho_m \cdot \rho$ calculé. On peut aussi calculer ρ_m en utilisant l'équation (1).

3.6 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit faire référence à la présente norme et contenir les détails suivants:

- le type ou la classification du matériau, son épaisseur nominale et son identité;
- la méthode d'échantillonnage;
- la largeur b et la longueur totale l en mètres, la masse m de l'éprouvette en kilogrammes;
- la masse volumique ρ_m , en kilogrammes par mètre cube, arrondie aux 10 kg/m³ les plus proches;
- la température ambiante à laquelle le mesurage a été réalisé.

3.5.3 Procedure with sheet specimens (method B)

The circuit connections shall be made as shown in figure 4. A current having a value between 2 A and 10 A sufficient to give a voltage reading of the specified accuracy shall be fed via the contacts A and B through the test specimen. If a 4-terminal ohm meter having the same accuracy of measurement is used, a lower value of the current is permitted. The voltage and the current shall be read. The current shall then be reversed and set to the same value, and the voltage read again. The resistance $R_{AB,CD}$ is then calculated from the average of the two voltages divided by the current value. After exchanging connections to the two opposite contacts A and C, the resistance $R_{BC,DA}$ is similarly determined.

The product $\rho_m \cdot \rho$ shall be calculated using $R_{AB,CD}$ and $R_{BC,DA}$ and equation (6).

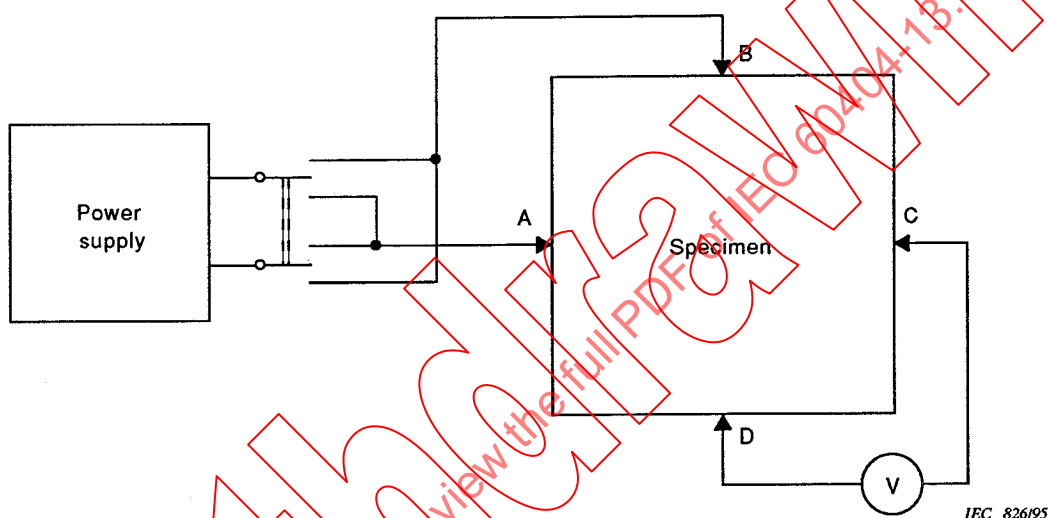


Figure 4 - Circuit for the measurement of resistance $R_{AB,CD}$ on sheet specimen of square shape

3.5.4 Determination of the density

From the straight line in figure 1, the density ρ_m corresponding to the product $\rho_m \cdot \rho$ is read. It can also be calculated using equation (1).

3.6 Test report

The test report shall refer to this standard and give the following details:

- the type or grade of material, its nominal thickness and its identity;
- the sampling method;
- the width b and total length l in metres, the mass m of the test specimen in kilograms;
- the density ρ_m , in kilograms per cubic metre, rounded to the nearest 10 kg/m³;
- the ambient temperature at which the measurement was made.

3.7 Reproductibilité

La reproductibilité de chacune des deux méthodes décrites en 3.3.2 et 3.3.3 et la différence des résultats fournis par les deux méthodes sont caractérisées par un écart type relatif de 0,1 % concernant la masse volumique.

4 Détermination de la résistivité

4.1 Objet

Cet article a pour objet de définir une méthode de mesure de la résistivité.

4.2 Domaine d'application

La méthode de détermination de la résistivité ρ , basée sur la détermination du produit $\rho_m \cdot \rho$ décrite à l'article 3, s'applique aux échantillons de tôles et de bandes. Elle reste limitée toutefois aux matériaux spécifiés en 3.1. La méthode basée sur la mesure des dimensions géométriques de l'éprouvette, y compris son épaisseur, s'applique à tous les types de matériaux.

La résistivité dépendant de la température, la courbe de la figure 1 ou l'équation (1) ne sont utilisables que pour des mesures à $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$. Si des mesures à une température extérieure à cet intervalle sont nécessaires, la méthode décrite en 4.4.2 doit être utilisée.

4.3 Eprouvette

L'éprouvette doit être réalisée conformément à 3.2.

4.4 Principe de la mesure

4.4.1 Méthode basée sur la détermination du produit $\rho_m \cdot \rho$

Quand la méthode électrique décrite de 3.3 à 3.5 est utilisée pour mesurer la masse volumique, avec la relation donnant ρ_m en fonction de $\rho_m \cdot \rho$, la résistivité est obtenue automatiquement en divisant la valeur de l'abscisse par l'ordonnée correspondante sur la figure 1. En raison de la difficulté à obtenir une mesure suffisamment précise de l'épaisseur, cette méthode est recommandée.

4.4.2 Méthode basée sur la détermination de l'épaisseur d

Pour déterminer la résistivité des produits qui ne satisfont pas aux conditions énoncées en 3.1, l'épaisseur d doit être déterminée en utilisant la valeur de la masse volumique ρ_m du matériau qu'on obtient à partir des tables de propriétés physiques disponibles dans la littérature ou qui sont fournies par les fabricants. La masse m , la largeur b , et la longueur l d'un échantillon du produit doivent être déterminées à la précision de 0,1 % et l'épaisseur d déduite de l'équation suivante:

$$d = \frac{m}{\rho_m \cdot b \cdot l} \quad (7)$$

où

d est l'épaisseur de l'éprouvette, en mètres;

m est la masse de l'éprouvette, en kilogrammes;

3.7 Reproducibility

The reproducibility of each of the two methods described in 3.3.2 and 3.3.3 and the difference between the result of the two methods is characterized by a relative standard deviation of the density of 0,1 %.

4 Determination of the resistivity

4.1 Object

The object of this clause is to define a method for measuring resistivity.

4.2 Field of application

The method of determination of the resistivity ρ , based on the determination of the product $\rho_m \cdot \rho$ as described in clause 3, can be applied to sheet and strip specimens. However, it is restricted to the materials specified in 3.1. The method based on the measurement of the geometric dimensions of the sample, including the thickness can be applied to all types of material.

Because the resistivity is a function of temperature, the curve in figure 1 (or equation (1)) shall only be used for measurements at $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$. If measurements at temperatures outside this range are required the method described in 4.4.2 shall be used.

4.3 Test specimen

The test specimen shall be in accordance with 3.2.

4.4 Principle of measurement

4.4.1 Method based on the determination of the product $\rho_m \cdot \rho$

When using the electrical method for measuring density described in 3.3 to 3.5, with the relationship ρ_m against $\rho_m \cdot \rho$, the resistivity is automatically obtained by dividing the abscissa by the ordinate of the values in figure 1. Because of the difficulty of measuring thickness with sufficient accuracy, this method is to be preferred.

4.4.2 Method based on the determination of thickness d

For the determination of the resistivity of products not falling within the scope of 3.1 the thickness d shall be determined using the value of density ρ_m of the product obtained from tables of physical properties published in the literature or supplied by manufacturers. The mass m , width b and length l of the test specimen shall be determined with an accuracy of 0,1 %, and the thickness d determined from the following equation:

$$d = \frac{m}{\rho_m \cdot b \cdot l} \quad (7)$$

where

d is the thickness of the test specimen, in metres;

m is the mass of the test specimen, in kilograms;

- ρ_m est la masse volumique de l'éprouvette, en kilogrammes par mètre cube;
 b est la largeur de l'éprouvette, en mètres;
 l est la longueur de l'éprouvette, en mètres.

NOTE - S'il n'est pas possible d'obtenir la valeur réelle de la masse volumique (distincte de la valeur conventionnelle ρ_m relevée dans la littérature ou fournie par le fabricant), alors il convient que la masse volumique soit déterminée par la méthode d'immersion. Il est nécessaire d'éliminer le revêtement isolant avant la mesure (une évaluation moins précise de la masse volumique peut être obtenue en mesurant l'épaisseur de l'échantillon en un certain nombre de points, avec un micromètre à grande résolution, mais la reproductibilité annoncée en 4.6 ne peut vraisemblablement pas être atteinte).

4.4.2.1 Mesures utilisant une éprouvette en forme de bande

On doit utiliser une éprouvette en forme de bande conforme aux indications de 3.2.1.

La largeur de la bande et sa résistance doivent être mesurées en suivant le mode opératoire décrit en 3.5.1 et 3.5.2, en utilisant les équipements décrits en 3.4.1 et 3.4.2. La résistivité doit alors être déterminée à partir de l'équation (2).

Afin d'obtenir des résultats comparables, il est nécessaire de contrôler au moins quatre éprouvettes et de retenir la moyenne des résultats.

4.4.2.2 Mesures utilisant une éprouvette en forme de tôle unique

On doit utiliser une éprouvette en forme de tôle unique conforme aux indications de l'article 3.2.2. Les valeurs des résistances $R_{AB,CD}$ et $R_{BC,DA}$ pour l'éprouvette (voir 3.3.3) doivent être mesurées conformément au mode opératoire décrit en 3.5.1 et 3.5.3, en utilisant les équipements décrits en 3.4.1 et 3.4.3.

La résistivité doit alors être déterminée en utilisant l'équation suivante:

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \cdot \frac{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}}{2} \quad (8)$$

où

ρ est la résistivité, en ohm mètres;

$R_{AB,CD}$ est la résistance obtenue à partir de la différence de potentiel $V_C - V_D$ entre les contacts C et D, pour un courant unité circulant entre les contacts A et B, les contacts A, B, C et D étant aussi ponctuels que possible (voir figure 2) et disposés de façon symétrique à la périphérie de l'éprouvette, en ohms;

$R_{BC,DA}$ est, de façon équivalente, la différence de potentiel entre les contacts D et A, pour un courant unité circulant entre les contacts B et C, en ohms;

d est l'épaisseur de l'éprouvette, en mètres.

4.5 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit faire référence à la présente norme et contenir les détails suivants:

- le type ou la classification du matériau, son épaisseur nominale et son identité;
- la méthode d'échantillonnage;
- la largeur b et la longueur totale l en mètres, la masse m de l'éprouvette en kilogrammes;
- la résistivité ρ , en ohm mètres, arrondie à la valeur $0,1 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$ la plus proche;
- la température ambiante à laquelle le mesurage a été réalisé.

ρ_m is the density of the test specimen, in kilograms per cubic metre;

b is the width of the test specimen, in metres;

l is the length of the test specimen, in metres.

NOTE – If it is not possible to obtain the actual value of density (as distinct from conventional values of density ρ_m from reference literature or from the manufacturer), then the density should be determined by the immersion method. It will be necessary to remove any insulating coating before the test. (A less accurate assessment of density can be obtained by measuring the thickness at a number of places with a high-resolution micrometer, but the reproducibility given in 4.6 is not likely to be achieved.)

4.4.2.1 Measurements using a strip specimen

A strip specimen in accordance with 3.2.1 shall be used.

The width of the strip and the resistance shall be measured following the procedures described in 3.5.1 and 3.5.2 using the devices described in 3.4.1 and 3.4.2. The resistivity shall then be determined using equation (2).

In order to obtain comparable results, it is necessary to test at least four test specimens and to average the results.

4.4.2.2 Measurements using a sheet specimen

A sheet specimen in accordance with 3.2.2 shall be used. The resistance values $R_{AB,CD}$ and $R_{BC,DA}$ (see 3.3.3) of the test specimen shall be measured following the procedure described in 3.5.1 and 3.5.3 using the devices described in 3.4.1 and 3.4.3.

The resistivity shall then be determined using the following equation:

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \cdot \frac{R_{AB,CD} + R_{BC,DA}}{2} \quad (8)$$

where

ρ is the resistivity, in ohm metres;

$R_{AB,CD}$ is the resistance obtained from the potential difference $V_C - V_D$ between the contacts C and D per unit current through the contacts A and B, the contacts A, B, C and D (see figure 2) being as small as possible and symmetrically distributed over the specimen's edges, in ohms;

$R_{BC,DA}$ is, correspondingly, the resistance obtained from the potential difference between contacts D and A per unit current through the contacts B and C, in ohms;

d is the thickness of the specimen, in metres.

4.5 Test report

The test report shall refer to this standard and give the following details:

- the type or grade of material, its nominal thickness and its identity;
- the sampling method;
- the width b and total length l in metres, the mass m of the test specimen in kilograms;
- the resistivity ρ , in ohm metres, rounded to the nearest $0,1 \cdot 10^{-8} \Omega \cdot m$;
- the ambient temperature at which the measurement was made.