



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Magnetic materials –

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

Matériaux magnétiques –

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20; 29.030

ISBN 978-2-8322-5869-9

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
4 Determination of the resistivity.....	7
4.1 General.....	7
4.2 Principles of measurement.....	7
4.2.1 Method of determining ρ for an Epstein strip specimen (Method R1)	7
4.2.2 Method of determining ρ for a rectangular sheet specimen (Method R2) with supplementary remarks for strip specimen.....	8
4.2.3 Determination of thickness d	9
4.3 Test specimen	10
4.3.1 Epstein strip specimen.....	10
4.3.2 Rectangular sheet specimen.....	10
4.4 Apparatus	10
4.4.1 Common requirements for Method R1 and Method R2	10
4.4.2 Requirements for Method R1	10
4.4.3 Requirements for Method R2	11
4.5 Measuring procedure	11
4.5.1 Determination of the thickness d of the test specimen.....	11
4.5.2 Procedure with strip specimen (Method R1).....	11
4.5.3 Procedure with rectangular sheet specimen (Method R2)	11
4.6 Reproducibility	11
4.7 Test report	12
5 Determination of the density	12
5.1 General.....	12
5.2 Method based on the measurement of resistance (Method D1)	13
5.2.1 Principles of measurement	13
5.2.2 Test specimen	14
5.2.3 Measuring procedure	14
5.2.4 Reproducibility.....	15
5.3 Gas pycnometer method (Method D2).....	15
5.3.1 Principles of measurement	15
5.3.2 Test specimen	15
5.3.3 Test apparatus	15
5.3.4 Measuring procedure	15
5.3.5 Reproducibility.....	15
5.4 Test report	15
6 Determination of the stacking factor.....	16
6.1 General.....	16
6.2 Test specimen	16
6.3 Measuring procedure	16
6.4 Reproducibility	17
6.5 Test report	17
Annex A (informative) An example of the apparatus for the measurement of the resistivity using a rectangular sheet specimen (Method R2).....	19

Annex B (informative) An example of the determination of density using the gas pyknometer method (Method D2)	20
B.1 Overview.....	20
B.2 Test specimen	20
B.3 Apparatus	21
B.4 Calibration	21
B.5 Measuring procedure	21
B.6 Repeatability.....	22
Annex C (informative) Calculation of density based on silicon and aluminium content (Method D4).....	23
Bibliography.....	24
Figure 1 – Circuit for the measurement of resistance of an Epstein strip specimen (Method R1).....	7
Figure 2 – Circuit for the measurement of resistance of a rectangular sheet specimen (Method R2).....	8
Figure 3 – Experimental data and the regression line of the density ρ_m against the product $\rho_m \cdot \rho$ for non-oriented electrical steel sheet [6]	13
Figure 4 – Schematic diagram of stacking specimen and rams.....	17
Figure A.1 – Schematic cross-sectional view of the arrangement of the contact holder	19
Figure B.1 – Diagram illustrating the two-chamber pressure gas pyknometer	21
Table B.1 – Number of test discs of diameter 36 mm	20

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

MAGNETIC MATERIALS –

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

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of 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, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). 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. 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 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 IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60404-13 has been prepared by IEC Technical Committee 68: Magnetic alloys and steels.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1995 and constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) the sequence of the density and resistivity sections is changed and the title of the document revised to reflect this;
- b) the van-der-Pauw method (Method R2) is also applicable to Epstein strip specimens;
- c) the gas pycnometer method is introduced, and the liquid immersion method and the calculation method based on the chemical composition are quoted;

- d) the requirements of the stacking factor section, such as the tolerance of the dimensions of the test specimen and the repeatability of measurement, are changed;
- e) an example of the apparatus for determination of the resistivity using a rectangular sheet, which was previously part of the main body of the text, is moved to constitute informative Annex A;
- f) an example of the determination of the density by using the gas pycnometer method is added as an informative Annex B;
- g) an example of the determination of density based on the calculation of silicon and aluminium contents is added as an informative Annex C.

The text of this International Standard is based on the following documents:

CDV	Report on voting
68/574/CDV	68/586A/RVC

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

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all the parts in the IEC 60404 series, under the general title *Magnetic materials*, can be found on the IEC web site.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

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

MAGNETIC MATERIALS –

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

1 Scope

This part of IEC 60404 specifies the methods used for determining the resistivity, density and stacking factor of grain-oriented and non-oriented electrical steel strip and sheet. These quantities are necessary to establish the physical characteristics of the material. Moreover, the density is necessary to allow specified values of the magnetic polarization, resistivity and stacking factor to be determined.

Since these properties are functions of temperature, the measurements will be made at an ambient temperature of $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ except when specified in this document.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements 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 – Part 121: Electromagnetism*

IEC 60050-221, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 221: Magnetic materials and components*

IEC 60404-2, *Magnetic materials – Part 2: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel sheet and strip by means of an Epstein frame*

IEC 60404-3, *Magnetic materials – Part 3: Methods of measurement of the magnetic properties of magnetic sheet and strip by means of a single sheet tester*

ISO 1183-3, *Plastics – Methods for determining the density of non-cellular plastics – Part 3: Gas pycnometer method*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	28
1 Domaine d'application	30
2 Références normatives	30
3 Termes et définitions	30
4 Détermination de la résistivité	31
4.1 Généralités	31
4.2 Principes de mesure	31
4.2.1 Méthode pour déterminer ρ dans une bande Epstein (Méthode R1)	31
4.2.2 Méthode pour déterminer ρ pour une tôle rectangulaire (Méthode R2) avec des remarques supplémentaires pour les bandes	32
4.2.3 Détermination de l'épaisseur d	33
4.3 Epreuve d'essai	34
4.3.1 Bande Epstein	34
4.3.2 Tôle rectangulaire	34
4.4 Appareillage	34
4.4.1 Exigences communes à la Méthode R1 et à la Méthode R2	34
4.4.2 Exigences de la Méthode R1	34
4.4.3 Exigences de la Méthode R2	35
4.5 Procédure de mesure	35
4.5.1 Détermination de l'épaisseur d de l'éprouvette d'essai	35
4.5.2 Procédure avec une bande (Méthode R1)	35
4.5.3 Procédure avec une tôle rectangulaire (Méthode R2)	35
4.6 Reproductibilité	36
4.7 Rapport d'essai	36
5 Détermination de la masse volumique	36
5.1 Généralités	36
5.2 Méthode basée sur la mesure de la résistance (Méthode D1)	37
5.2.1 Principes de mesure	37
5.2.2 Epreuve d'essai	38
5.2.3 Procédure de mesure	39
5.2.4 Reproductibilité	39
5.3 Méthode utilisant un pycnomètre à gaz (Méthode D2)	39
5.3.1 Principes de mesure	39
5.3.2 Epreuve d'essai	39
5.3.3 Appareillage d'essai	39
5.3.4 Procédure de mesure	39
5.3.5 Reproductibilité	40
5.4 Rapport d'essai	40
6 Détermination du facteur de foisonnement	40
6.1 Généralités	40
6.2 Epreuve d'essai	40
6.3 Procédure de mesure	40
6.4 Reproductibilité	41
6.5 Rapport d'essai	41
Annexe A (informative) Exemple d'appareillage pour la mesure de la résistivité sur une éprouvette de tôle rectangulaire (Méthode R2)	43

Annexe B (informative) Exemple de détermination de la masse volumique par la méthode utilisant un pycnomètre à gaz (Méthode D2).....	44
B.1 Vue d'ensemble	44
B.2 Eprouvette d'essai	44
B.3 Appareillage.....	45
B.4 Etalonnage	45
B.5 Procédure de mesure.....	45
B.6 Répétabilité	46
Annexe C (informative) Calcul de la masse volumique à partir de la teneur en silicium et en aluminium (Méthode D4).....	47
Bibliographie.....	48
Figure 1 – Circuit de mesure de la résistance d'une bande Epstein (Méthode R1).....	31
Figure 2 – Circuit de mesure de la résistance d'une tôle rectangulaire (Méthode R2).....	32
Figure 3 – Données expérimentales et ligne de régression de la masse volumique ρ_m en fonction du produit $\rho_m \cdot \rho$ pour une tôle d'acier électrique à grains non orientés [6]	37
Figure 4 – Schéma de l'empilage des bandes et des mâchoires.....	41
Figure A.1 – Schéma en coupe du montage du porte-contact.....	43
Figure B.1 – Schéma représentant le pycnomètre à gaz à deux chambres sous pression.....	45
Tableau B.1 – Nombre d'éprouvettes circulaires de 36 mm de diamètre.....	44

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

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

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60404-13 a été établie par le comité d'études 68 de l'IEC: Matériaux magnétiques tels qu'alliages et aciers.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1995, dont elle constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) l'ordre des articles traitant de la masse volumique et de la résistivité a été modifié, ce qui a nécessité une révision du titre du document afin de refléter ce changement;
- b) la méthode Van der Pauw (Méthode R2) est également applicable aux bandes Epstein;

- c) la méthode utilisant un pycnomètre à gaz a été introduite, et la méthode en milieu liquide ainsi que la méthode de calcul basée sur la composition chimique sont citées;
- d) les exigences de l'article traitant du facteur de foisonnement, comme la tolérance concernant les dimensions de l'éprouvette d'essai et la répétabilité des mesures, ont été modifiées;
- e) un exemple de l'appareillage utilisé pour la détermination de la résistivité sur tôle rectangulaire, qui était intégré au corps du document dans l'édition précédente, a été déplacé pour former l'Annexe A informative;
- f) un exemple de détermination de la masse volumique par la méthode utilisant un pycnomètre à gaz a été ajouté à l'Annexe B informative;
- g) un exemple de détermination de la masse volumique par le calcul des teneurs en silicium et en aluminium a été ajouté à l'Annexe C informative.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
68/574/CDV	68/586A/RVC

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60404, publiées sous le titre général *Matériaux magnétiques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "http://webstore.iec.ch" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

MATÉRIAUX MAGNÉTIQUES –

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

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60404 spécifie les méthodes utilisées pour déterminer la résistivité, la masse volumique et le facteur de foisonnement des bandes et tôles en acier électrique à grains orientés et à grains non orientés. Ces grandeurs sont nécessaires pour établir les caractéristiques physiques du matériau. De plus, la masse volumique est nécessaire pour déterminer les valeurs spécifiées pour la polarisation magnétique, la résistivité et le facteur de foisonnement.

Comme ces propriétés dépendent de la température, les mesures seront prises à une température ambiante de (23 ± 5) °C sauf spécification contraire dans le présent document.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences 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).

IEC 60050-121, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 121: Electromagnétisme*

IEC 60050-221, *Vocabulaire électrotechnique international – Partie 221: Matériaux et composants magnétiques*

IEC 60404-2, *Matériaux magnétiques – Partie 2: Méthodes de mesure des propriétés magnétiques des tôles et bandes magnétiques au moyen d'un cadre Epstein*

IEC 60404-3, *Matériaux magnétiques – Partie 3: Méthodes de mesure des caractéristiques magnétiques des tôles et feuillards magnétiques à l'aide de l'essai sur tôle unique*

ISO 1183-3, *Plastiques – Méthodes pour déterminer la masse volumique des plastiques non alvéolaires – Partie 3: Méthode utilisant un pycnomètre à gaz*