

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
646**

Deuxième édition
Second edition
1992-04

Méthodes d'essai des fours à induction à creuset

Test methods for crucible induction furnaces



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 646: 1992

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraires

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraires et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraires à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- IEC web site*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
646

Deuxième édition
Second edition
1992-04

Méthodes d'essai des fours à induction à creuset

Test methods for crucible induction furnaces

© CEI 1992 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.

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



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

M

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 Définitions	6
4 Type et conditions générales des essais	12
4.1 Conditions générales de l'exécution des essais techniques	12
4.2 Liste des essais	14
4.3 Conditions pour la réalisation des essais	14
5 Méthodes d'essais et de mesures	16
5.1 Essai de tenue diélectrique de l'ensemble inducteur	16
5.2 Essai de tenue à la pression des circuits de refroidissement par eau	16
5.3 Essai de débit des circuits de refroidissement par eau	16
5.4 Mesure de l'échauffement du fluide de refroidissement	18
5.5 Détermination de la puissance P_1 et du facteur de puissance $\cos \varphi_1$ du circuit de puissance du four	18
5.6 Détermination de la puissance de maintien P_h	18
5.7 Détermination de la consommation spécifique d'énergie, de la vitesse de fusion et/ou de surchauffe	18
5.8 Mesure de la température des parties constitutives du four	20
Annexe A Schémas explicatifs pour les symboles et définitions relatifs au circuit de puissance des fours	22

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
Clause	
1 Scope and object	7
2 Normative references	7
3 Definitions	7
4 Type of test and general conditions of tests	13
4.1 General conditions for performance of tests	13
4.2 List of tests	15
4.3 Conditions for performing the tests	15
5 Methods for tests and measurements	17
5.1 Electrical withstand test of the inductor assembly	17
5.2 Pressure test of cooling water circuits	17
5.3 Flow test of cooling water circuits	17
5.4 Measurement of temperature rise of the coolant	19
5.5 Determination of power P_1 and power factor $\cos \varphi_1$ of the furnace power circuit	19
5.6 Determination of holding power P_h	19
5.7 Determination of specific energy consumption, melting and/or superheating rate	19
5.8 Measurement of the temperature of furnace structural components	21
Annex A – Explanatory diagrams for symbols and definitions relating to the furnace power circuit	23

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODES D'ESSAI DES FOURS À INDUCTION À CREUSET

AVANT-PROPOS

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La présente Norme internationale a été établie par le Comité d'Etudes n° 27 de la CEI: Chauffage électrique industriel.

Cette deuxième édition de la CEI 646 remplace la première édition parue en 1979.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

DIS	Rapports de vote
27(BC)87	27(BC)92 et 92A

Les rapports de vote indiqués dans le tableau ci-dessus donnent toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

L'annexe A fait partie intégrante de la présente Norme internationale.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

TEST METHODS FOR CRUCIBLE INDUCTION FURNACES

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

This International Standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 27: Industrial electroheating equipment.

This second edition of IEC 646 replaces the first edition issued in 1979.

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

DIS	Reports on Voting
27(CO)87	27(CO)92 and 92A

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

Annex A forms an integral part of this International Standard.

MÉTHODES D'ESSAI DES FOURS À INDUCTION À CREUSET

1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique aux installations électrothermiques comportant des fours industriels à induction à creuset pour la fusion, le maintien et la surchauffe.

Elle a pour objet de normaliser des méthodes d'essai permettant de déterminer les paramètres essentiels et les caractéristiques techniques des installations électrothermiques comportant les fours indiqués ci-dessus.

Exception faite des essais de sécurité des points a), b) et c) de 4.2, la liste des essais recommandés dans la présente norme n'est pas obligatoire et n'est pas limitative. On peut choisir dans cette liste des essais nécessaires à la détermination et à l'évaluation d'un four. Des essais complémentaires peuvent être effectués, mais de préférence en accord entre les constructeurs et les utilisateurs des fours concernés.

2 Références normatives

Les documents normatifs contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. 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 Norme internationale 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 50(101): 1977, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) - Chapitre 101: Mathématiques.*

CEI 50(111): 1982, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) - Chapitre 111: Physique et Chimie. Section 111.01: Notions physiques.*

CEI 50(131): 1978, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) - Chapitre 131: Circuits électriques et magnétiques.*

CEI 50(151): 1978, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) - Chapitre 151: Dispositifs électriques et magnétiques.*

CEI 50(841): 1983, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) - Chapitre 841: Electrothermie industrielle.*

CEI 398: 1972, *Conditions générales d'essai des installations électrothermiques industrielles.*

3 Définitions

Pour les définitions des termes fondamentaux et généraux du domaine de l'électrothermie, le lecteur est invité à se reporter, selon le cas, aux CEI 50(101), 50(111), 50(121), 50(131) et/ou 50(151) et à la CEI 50(841).

TEST METHODS FOR CRUCIBLE INDUCTION FURNACES

1 Scope and object

This International Standard applies to electrical installations comprising industrial crucible induction furnaces for melting, holding and superheating.

Its object is the standardization of test methods to determine the essential parameters and technical characteristics of electroheat installations comprising the type of furnaces indicated above.

With the exception of the safety tests of items a), b) and c) of 4.2, the list of tests given in this standard is not mandatory and is not restrictive. Tests may be selected from this list as required for the characterization and evaluation of a furnace. Additional tests may be carried out, preferably in agreement between manufacturers and users of the furnaces concerned.

2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard 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 50(101): 1977, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Chapter 101: Mathematics*.

IEC 50(111): 1982, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Chapter 111: Physics and chemistry. Section 111-01: Physical concepts*.

IEC 50(131): 1978, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Chapter 131: Electric and magnetic circuits*.

IEC 50(151): 1978, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Chapter 151: Electrical and magnetic devices*.

IEC 50(841): 1983, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Chapter 841: Industrial electroheating*.

IEC 398: 1972, *General test conditions for industrial electro-heating equipment*.

3 Definitions

For definitions of fundamental and general terms in the electroheat field, the reader should refer to IEC 50(101), 50(111), 50(121), 50(131) and/or 50(151) and IEC 50(841).

Les définitions suivantes sont applicables dans le cadre de la présente norme.

Pour les schémas explicatifs, voir l'annexe A.

3.1 installation électrothermique d'un four à induction à creuset: Installation composée du four à induction à creuset et du matériel électrique et mécanique nécessaire au fonctionnement et à l'exploitation du four.

Le matériel électrique comprend l'ensemble des éléments constituant électriques, notamment les conducteurs, les appareillages des circuits de puissance du four situés en aval de l'interrupteur principal et les circuits auxiliaires.

3.2 four à induction à creuset: Four de fusion ou de maintien à induction, dans lequel la chaleur est engendrée directement dans la charge ou dans le creuset qui la contient par un ou plusieurs bobines inductrices disposées autour du creuset. [VEI 841-05-18]

3.3 creuset: Récipient destiné à contenir la charge et constitué de matériaux réfractaires ou électriquement conducteurs, tels que l'acier, le cuivre ou le graphite. [VEI 841-10-08]

3.4 ensemble inducteur: Ensemble constitué par les bobines inductrices, l'écran ferromagnétique, s'il existe, le creuset et leurs armatures. [VEI 841-05-22 (modifié)]

3.5 bobine inductrice: Inducteur de chauffage créant le champ magnétique qui engendre des courants induits dans la charge métallique ou dans le creuset en matériau conducteur. [VEI 841-05-10]

3.6 circuit compensé du four: Circuit électrique constitué par l'ensemble inducteur et condensateurs de compensation.

3.7 puissance de l'installation électrothermique (puissance apparente S_1 (kVA) ou puissance active P_1 (kW)): Puissance électrique mesurée à l'entrée de la ligne d'alimentation de l'installation, aux valeurs assignées de la tension et de la fréquence.

3.8 facteur de puissance de l'installation électrothermique $\cos \varphi_1$: Rapport de la puissance active P_1 à la puissance apparente S_1 .

3.9 valeurs assignées électriques de l'installation ou d'une partie de l'installation: Les valeurs assignées de l'installation ou d'une partie de l'installation sont celles pour lesquelles elle est construite et marquée; le marquage comprend au moins:

- la fréquence f_n (Hz) ou bande de fréquence $f_{n1} \dots f_{n2}$ (Hz)
- la tension U_n (V)
- la puissance active P_n (kW).

3.10

a) **tension du circuit compensé du four U_c (V):** Tension aux bornes d'entrée du circuit compensé du four.

b) **tension du four U_F (V):** Tension aux bornes de la bobine inductrice ou de l'ensemble des bobines inductrices du four.

The following definitions apply for the purpose of this standard.

For explanatory diagrams, see annex A.

3.1 electroheat installation with crucible induction furnace: Installation comprising the crucible induction furnace and the electrical and mechanical equipment necessary for the operation and utilization of the furnace.

The electrical equipment comprises all electrical components including conductors and switchgear in the furnace power circuits situated after the supply disconnecting switch and the auxiliary circuits.

3.2 induction crucible furnace: An induction melting or holding furnace, in which the heat is generated directly in the charge, or in the crucible containing it, by means of one or more inductor coils arranged around the crucible. [IEV 841-05-18]

3.3 crucible: A container for the charge being made of refractory or electrical conductive material, e.g. steel, copper or graphite. [IEV 841-10-08]

3.4 inductor assembly: An assembly of inductor coils, a ferromagnetic screen, if any, the crucible and surrounding framework or metal casing. [IEV 841-05-22] (modified)

3.5 inductor coil: A heating inductor for creating the magnetic field, which induces currents in a metal charge or in a crucible of conductive materials. [IEV 841-05-10]

3.6 compensated circuit of the furnace: The electric circuit comprising the inductor and its assembly compensating capacitor bank.

3.7 input power of the furnace power circuit (apparent power S_1 (kVA) or active power P_1 (kW)): The electric power at the supply line to the furnace power circuit with rated values of voltages U_{In} and frequency f_{In} .

3.8 power-factor of the furnace power circuit $\cos \varphi_1$: The ratio of the active power P_1 to the apparent power S_1 .

3.9 rated electrical values of the installation or a part thereof: Rated electrical values of the installation or a part of it are those for which it is designed and marked; the marking comprises at least:

- frequency f_n (Hz) or frequency band $f_{n1} \dots f_{n2}$ (Hz)
- voltage U_n (V)
- active power P_n (kW).

3.10

a) **input voltage of the compensated circuit U_c (V):** Voltage across the input terminals of the compensated circuit.

b) **furnace voltage U_F (V):** Voltage across the terminals of the inductor coil or system of inductor coils.

3.11 **courant du four I_F (A):** Courant absorbé par la bobine inductrice ou par l'ensemble des bobines inductrices du four.

3.12 **fréquence du four f_F (Hz):** Fréquence du courant I_F du four.

3.13

a) **puissance du circuit compensé du four S_c, P_c :** Puissance électrique apparente S_c (kVA) ou active P_c (kW) mesurée à l'entrée du circuit compensé.

b) **puissance du four S_F, P_F :** Puissance électrique apparente S_F (kVA) ou active P_F (kW) aux bornes de la bobine inductrice ou de l'ensemble des bobines inductrices.

3.14

a) **facteur de puissance du circuit compensé du four $\cos \phi_c$:** Rapport de la puissance active P_c à la puissance apparente S_c à l'entrée du circuit compensé.

b) **facteur de puissance de l'inducteur du four $\cos \phi_F$:** Rapport de la puissance active P_F à la puissance apparente S_F aux bornes de la bobine inductrice ou de l'ensemble des bobines inductrices.

3.15 **capacité assignée du four à induction à creuset V_l (m³):** Volume de la charge liquide spécifiée que peut contenir le four avec la dimension spécifiée du creuset, en fonctionnement normal.

3.16 **charge assignée G (kg):** Poids de la charge liquide spécifiée correspondant à la capacité assignée.

3.17 **charge d'essai:** Poids de métal à fondre et/ou à surchauffer pour déterminer la consommation d'énergie spécifique et la vitesse de fusion et/ou de surchauffe.

3.18 **température de la charge θ (°C):** Température du matériau constituant la charge, à un instant donné du cycle de chauffage.

3.19 **température initiale de la charge θ_{chS} (°C):** Température de la charge au début du cycle de chauffage.

3.20 **température finale de la charge θ_{chF} (°C):** Température atteinte par la charge à la fin du cycle de chauffage, immédiatement avant la coulée.

3.21 **température d'entrée du fluide de refroidissement θ_{Fi} (°C):** Température du fluide de refroidissement à l'entrée du circuit de refroidissement de l'ensemble inducteur.

3.22 **température de sortie du fluide de refroidissement θ_{Fo} (°C):** Température du fluide de refroidissement de l'ensemble inducteur, le four étant en fonctionnement dans les conditions nominales.

3.23 **température ambiante θ_A (°C):** Température de l'air à l'extérieur du four en un point suffisamment éloigné pour que le rayonnement thermique ou la convection naturelle n'exercent aucune influence.

3.11 **furnace current I_F (A):** Current absorbed by the inductor coil or the system of inductor coils.

3.12 **furnace frequency f_F (Hz):** Frequency of the furnace current I_F .

3.13

a) **power of the compensated circuit S_c , P_c :** Electric power (apparent power S_c (kVA) or active power P_c (kW)) at the input of the compensated circuit.

b) **furnace power S_F , P_F :** Electric power (apparent power S_F (kVA) or active power P_F (kW)) at the terminals of the inductor coil or system of inductor coils.

3.14

a) **power-factor of the compensated circuit $\cos \phi_c$:** Ratio of the active power P_c to the apparent power S_c at the input of the compensated circuit.

b) **power-factor of furnace inductor $\cos \phi_F$:** Ratio of active power P_F to the apparent power S_F , at the terminals of the inductor coil or system of inductor coils.

3.15 **rated capacity of a crucible induction furnace V_r (m³):** Volume of the specified molten charge which the furnace may contain with the specified crucible dimensions under normal operating conditions.

3.16 **rated charge G (kg):** Weight of the specified molten charge corresponding to the rated capacity of the furnace.

3.17 **test charge:** Weight of the metal to be melted and/or superheated to establish specific energy consumption and melting and/or superheating rate.

3.18 **charge temperature θ (°C):** Temperature of the charge at a given time of the heating cycle.

3.19 **charge starting temperature θ_{chS} (°C):** Temperature of the charge at the beginning of the heating cycle.

3.20 **charge final temperature θ_{chF} (°C):** Temperature of the charge attained at the end of the heating cycle immediately before tapping.

3.21 **inlet temperature of the coolant θ_{Fi} (°C):** Temperature of the coolant when entering the cooling circuit of the inductor assembly.

3.22 **outlet temperature of the coolant θ_{Fo} (°C):** Temperature of the coolant when leaving the cooling circuit of the inductor assembly, with the furnace operating at rated conditions.

3.23 **ambient temperature θ_A (°C):** Temperature of the air outside the furnace at a point sufficiently remote that heat radiation or natural convection exerts no influence.

3.24 service du four dans les conditions nominales (service nominal du four): Fonctionnement du four aux valeurs assignées de la dimension du creuset, de la charge et de la puissance, et sans que soient dépassées les valeurs maximales de la tension, du courant et de la fréquence.

3.25 régime thermique permanent du four: Régime thermique dans lequel toute l'énergie fournie au four sert à compenser les pertes calorifiques.

3.26 état chaud du four: Régime thermique permanent du four à la température finale de la charge.

3.27 état froid du four: Régime thermique du four dans lequel la température de l'ensemble des éléments de construction du four est égale à la température ambiante.

3.28 service intermittent du four: Fonctionnement pendant lequel la nouvelle charge n'est mise dans le four qu'après coulée de la charge précédente.

3.29 service continu du four: Fonctionnement pendant lequel on complète la charge fondue au fur et à mesure que le métal liquide est soutiré.

3.30 puissance de maintien P_h (kW): Puissance active P_h , exprimée en kilowatts, absorbée par l'installation pour maintenir la charge assignée à la température nominale.

3.31 consommation d'énergie (consommation d'énergie active E_{ai} (kWh) ou consommation d'énergie réactive E_r (kVARh): Energie fournie au circuit de puissance du four.

3.32 consommation spécifique d'énergie (kWh/kg): Rapport de la quantité totale d'énergie électrique (kWh) consommée par l'installation électrothermique pour le chauffage, la fusion et/ou la surchauffe de la charge d'essai, de sa température initiale (voir 3.19) à sa température finale (voir 3.20), au poids de la charge assignée (kg) (voir 3.17).

3.33 vitesse de fusion et/ou de surchauffe (kg/h): Rapport du poids de la charge d'essai (kg), portée de la température initiale (voir 3.19) à la température finale (voir 3.20), au temps total (h) nécessaire pour le chauffage, la fusion et/ou la surchauffe de la charge.

4 Type et conditions générales des essais

4.1 Conditions générales de l'exécution des essais techniques

Voir la CEI 398.

Les éléments constituant des installations électrothermiques doivent être conformes aux spécifications les concernant.

NOTE - Il convient d'attirer l'attention sur les différents paramètres à considérer en ce qui concerne les valeurs assignées d'un four à creuset ainsi que sur les essais destinés à les vérifier; quelle que soit la dimension du four, ses performances dépendent:

- de la construction du four lui-même,
- du type et de l'utilisation du couvercle,

3.24 furnace duty at rated conditions (rated furnace duty): Furnace operation with rated crucible dimensions, charge and power without exceeding maximum voltage, current and frequency.

3.25 thermal steady-state of furnace: Thermal state in which the whole energy input into the furnace is used for the compensation of thermal losses.

3.26 hot state of furnace: Thermal steady-state of the furnace at charge final temperature.

3.27 cold state of furnace: Thermal state in which the temperature of the furnace constructional component parts is equal to the ambient temperature.

3.28 intermittent (batch) operation of furnace: Operation in which a new melting cycle is started only after the tapping of the preceding charge.

3.29 continuous operation of furnace: Operation during which the molten charge is continually withdrawn, and a charge is continually added.

3.30 holding power P_h (kW): Active power P_h (kW) supplied to the furnace power circuit, in order to maintain the rated charge at the rated temperature.

3.31 energy consumption (active energy consumption E_{ai} (kWh) or reactive energy consumption E_{ri} (kVARh): Electric energy supplied to the furnace power circuit.

3.32 specific energy consumption (kWh/kg): Ratio of the total amount of electric energy (kWh) supplied to the furnace power circuit for heating, melting and/or superheating of the test charge from its starting temperature (see 3.19) to its final temperature (see 3.20), to the weight of the test charge (kg) (see 3.17).

3.33 melting and/or superheating rate (kg/h): Ratio of weight of the test charge (kg) brought from the starting temperature (see 3.19) to its final temperature (see 3.20) to the total time (h) necessary for heating, melting and/or superheating of the test charge.

4 Type of test and general conditions of tests

4.1 General conditions for performance of tests

See IEC 398.

Components of the electroheat installations shall comply with their respective specifications.

NOTE - Attention should be drawn to the different parameters to be considered as regards the rated values of an induction crucible furnace and to the tests intended for their verification; irrespective of the size of furnace, its performance depends on:

- the design of the furnace itself,
- type and use of cover,

- du type et de l'utilisation de l'extraction de fumées,
- du matériau constituant la charge, c'est-à-dire de la nature du matériau et des dimensions des pièces chargées,
- du type et de la fréquence de la source servant à l'alimentation électrique du four,
- du type du système de régulation de la source d'alimentation du four,
- de l'aptitude de la source d'alimentation du four à supporter des variations rapides de puissance réactive.

4.2 Liste des essais

- a) Essai de tenue diélectrique de l'ensemble inducteur avant installation du revêtement réfractaire (voir 5.1).
- b) Essai de tenue à la pression des circuits de refroidissement par eau (voir 5.2).
- c) Essai de débit des circuits de refroidissement par eau (voir 5.3).
- d) Mesurage de l'échauffement du fluide de refroidissement (voir 5.4).
- e) Détermination de la puissance et du facteur de puissance du circuit de puissance du four (voir 5.5).
- f) Détermination de la puissance de maintien (voir 5.6).
- g) Détermination de la consommation spécifique d'énergie, de la vitesse de fusion et/ou de surchauffe (voir 5.7).
- h) Mesurage de la température des parties constitutives du four (voir 5.8).

NOTE - Les essais a), b), c) sont obligatoires.

Les essais d), e), f), g), h) ne sont pas obligatoires.

4.3 Conditions pour la réalisation des essais

Les essais a), b) et c) doivent être effectués après la construction ou après la réparation d'un four.

Les essais d), e), f), g) et h) doivent être effectués avec un nouveau creuset de dimensions spécifiées et avec des matériaux conformes à l'accord convenu entre le constructeur et l'utilisateur.

Le poids et le type de la charge d'essai, qui doit être sèche et propre, ainsi que le processus technologique de fusion et de maintien doivent être fixés en accord entre l'utilisateur et le constructeur. Par type de charge on entend la composition du matériau, la forme et les dimensions des pièces ainsi que le taux d'impuretés. Les processus technologiques englobent le chargement, le décrassage, l'échantillonnage, l'analyse métallurgique et le mesurage de la température.

Dans le cas d'installations de fours (par exemple des installations distributrices), comportant des dispositifs de production, qui peuvent avoir une influence sur un ou plusieurs des essais énumérés en 4.2, des essais supplémentaires appropriés doivent être prévus en accord entre le constructeur et l'utilisateur.

Les données à déterminer par les essais des points e), f) et g) de 4.2 se rapportent à la tension nominale U_{In} et à la fréquence nominale f_{In} . Les écarts acceptables de la tension et de la fréquence nominale doivent être choisis en accord avec le constructeur du four et l'utilisateur. Si, au cours de l'essai, ces écarts sont dépassés, on doit en tenir compte dans l'évaluation des essais.

- type and use of fume extraction,
- the material constituting the charge, i.e. the nature of the material and the size of the charge pieces,
- the type and frequency of the power supply unit used to feed the furnace,
- the type of regulating system of the power supply unit for the furnace,
- the ability of the power supply unit of the furnace to react to rapid variations of reactive power.

4.2 List of tests

- a) Electrical withstand test of inductor assembly before installation of refractory lining (see 5.1).
- b) Pressure test of cooling water circuits (see 5.2).
- c) Flow test of cooling water circuits (see 5.3).
- d) Measurement of temperature rise of the coolant (see 5.4).
- e) Determination of power and power factor of the furnace power circuit (see 5.5).
- f) Determination of holding power (see 5.6).
- g) Determination of specific energy consumption, melting and/or superheating rate (see 5.7).
- h) Measurement of temperature of the furnace structural components (see 5.8).

NOTE - Tests a), b), c), are mandatory.

Tests d), e), f), g), h) are not mandatory.

4.3 Conditions for performing the tests

Tests a), b) and c) shall be undertaken after manufacture or repair.

Tests d), e), f), g) and h) are to be undertaken with a new crucible of specified dimensions and materials as agreed between manufacturer and user.

The weight and type of the test charge, which should be dry and clean, and the technological process for melting and holding are to be agreed between manufacturer and user. Type of charge means material composition, shape and size of pieces and the content of impurities. The technological processes include charging, deslagging, sampling, metallurgical analysis and temperature measurement.

In the case of furnace installations e.g. dispensing units, where production facilities may affect one or more of the listed tests (see 4.2) additional appropriate tests are to be arranged as agreed between manufacturer and user.

The data to be established by the tests of items e), f) and g) of 4.2 are related to the rated voltage U_{ln} and rated frequency f_{ln} . Admissible deviations from the rated voltage and frequency shall be agreed on between the manufacturer and the user. If during the test these deviations are exceeded, this shall be taken into account in the evaluation.

Lorsque le transformateur du réseau est utilisé uniquement pour l'alimentation de l'installation électrothermique, on prendra comme valeurs électriques à l'entrée de la ligne d'alimentation les valeurs correspondantes mesurées côté secondaire du transformateur en tenant compte de sa caractéristique.

Toutes les mesures doivent être effectuées avec soin, en utilisant les dispositifs appropriés et en suivant avec précision les instructions d'utilisation. Les tolérances dans la précision de tous les dispositifs de mesure (de valeurs électriques, de température et de poids) doivent être établies en accord entre le constructeur et l'utilisateur.

Lorsque des essais doivent être effectués à chaud, le four doit être en fonctionnement depuis 24 h au moins et s'il démarre avec un nouveau garnissage, il doit être en fonctionnement depuis trois jours au moins avant la réalisation des essais.

5 Méthodes d'essais et de mesures

5.1 Essai de tenue diélectrique de l'ensemble inducteur

L'essai doit être effectué à la fréquence du réseau, avec une tension pratiquement sinusoïdale et de valeur égale à $2 U_n + 1\,000\text{ V}$ (avec un minimum de $2\,000\text{ V}$), U_n étant la tension assignée de la bobine inductrice. La tension doit être appliquée entre les éléments qui se trouvent sous tension pendant le fonctionnement normal du four et la totalité des autres éléments métalliques de l'ensemble inducteur qui, pour cet essai, sont raccordés les uns aux autres et mis à la terre. La tension doit être élevée progressivement pendant 10 s jusqu'à la valeur d'essai, puis maintenue à cette valeur pendant 1 min.

L'essai de tenue diélectrique des ensembles inducteurs est effectué avant la confection du revêtement réfractaire. Dans le cas de bobines refroidies par eau, la canalisation d'eau est débranchée pour que les éléments normalement sous tension pendant le fonctionnement du four ne soient pas reliés électriquement à la carcasse métallique du four par l'intermédiaire de l'eau.

Il ne doit y avoir au cours de ces essais ni amorçage ni contournement de l'isolation.

5.2 Essai de tenue à la pression des circuits de refroidissement par eau

Cet essai consiste à vérifier l'étanchéité des circuits de refroidissement par eau. Après avoir obturé la sortie des circuits d'eau, on augmente la pression de l'eau jusqu'à une valeur égale à 150% de la pression définie par le constructeur du four. Cette pression est maintenue pendant au moins 5 min. On ne doit au cours de ces essais constater aucune fuite d'eau dans le circuit de refroidissement.

5.3 Essai de débit des circuits de refroidissement par eau

L'essai consiste à vérifier que les circuits de refroidissement par eau permettent le passage du débit d'eau spécifié sans dépasser la chute de pression spécifiée.

Le débit d'eau du circuit de refroidissement doit être mesuré au moyen d'un débitmètre ou déterminé par le volume d'eau débité pendant un certain laps de temps divisé par la durée de cette période.

In the case where the mains transformer is used solely for the electroheat installation the electrical values at the input of the supply line will be determined from the corresponding values on the secondary side of the transformer taking into account its characteristic.

All measurements are to be taken with care, using appropriate devices and following accurately the instructions for their use. The tolerances of accuracy of all measuring devices (for values of electrical data, temperature and weight) are to be established and agreed between manufacturer and user.

Where tests are to be performed in the hot state the furnace shall have been in operation for at least 24 h prior to the test and in the case where it starts with a new lining, it shall have been in operation for at least three days prior to the test.

5 Methods for tests and measurements

5.1 *Electrical withstand test of the inductor assembly*

This test shall be performed at mains frequency with a substantially sine wave voltage of $2 U_n + 1\,000\text{ V}$ (with a minimum of $2\,000\text{ V}$) where U_n is the rated voltage of the inductor coil. The voltage shall be applied between components which are live when the furnace is in normal operation and all other metal parts of the inductor assembly which are connected together and earthed for this test. The voltage shall be raised progressively within 10 s to its test value, which should be maintained for 1 min.

The electrical withstand test for inductor assemblies is performed before the refractory lining is fitted. In the case of water-cooled coils the cooling water hoses are disconnected so that the components which are normally live during the service of the furnace are not connected electrically to the metal casing of the furnace via the water.

No breakdown or flashover of the insulation shall occur during these tests.

5.2 *Pressure test of cooling water circuits*

The test is to verify the integrity of the cooling water circuits. After closing the outlet of water circuits, the water pressure is raised to 150 % of the pressure specified by the furnace manufacturer. This pressure is maintained for at least 5 min. No water leakages shall occur during this test.

5.3 *Flow test of cooling water circuits*

The test is to verify that the cooling water circuits will carry the specified flow without exceeding a specified pressure drop.

The water flow of the circuit shall be measured by use of a flowmeter or determined by the volume of flowing-out water during a certain time period divided by the time.

5.4 Mesure de l'échauffement du fluide de refroidissement

Cet essai doit être effectué à l'état chaud du four (voir 3.26) travaillant dans les conditions nominales (voir 3.24) à la fin de l'essai défini en 5.7. La température doit être mesurée au moyen de thermomètres, ou de dispositifs équivalents, placés dans le fluide de refroidissement à l'entrée et la sortie des circuits de refroidissement du four. La différence entre les températures mesurées à l'entrée et à la sortie du circuit donnera élévation de la température du fluide de refroidissement. La température de sortie et l'élévation de température de ce fluide doivent se situer dans les limites fixées par le constructeur.

NOTE - Il est recommandé que plusieurs lectures soient relevées, par exemple toutes les 5 min vers la fin de la période d'essai indiquée en 5.7, pour s'assurer que le four a atteint un régime thermique stable à l'état chaud.

5.5 Détermination de la puissance P_1 (voir 3.7) et du facteur de puissance $\cos \phi_1$ (voir 3.8) du circuit de puissance du four

La puissance active P_1 doit être mesurée et la puissance apparente S_1 peut être déterminée à partir des mesures du courant I_1 et de la tension U_1 en régime nominal (voir 3.24) et à l'état chaud du four (voir 3.26). Le facteur de puissance peut être calculé en faisant le rapport de la puissance active à la puissance apparente.

La classe de précision des instruments de mesure doit être $\leq 1,5$.

NOTES

1 Un taux d'harmoniques de tension ou de courant suffisamment réduit ne fausse pas le résultat des mesures; dans ces conditions, le facteur de puissance défini en 3.8 devient pratiquement égal au $\cos \phi$ mesuré par un $\cos \phi$ -mètre. En cas d'alimentation triphasée, il convient de s'assurer que, pendant l'essai, les courants sur les trois phases ne présentent pas de déséquilibre notable. A titre indicatif, on peut considérer que cette condition est remplie quand l'écart entre les valeurs des courants et leur valeur moyenne ne dépasse pas $\pm 10 \%$. Lorsque le déséquilibre entre les trois phases dépasse cette valeur, on utilise une méthode appropriée donnant des résultats plus précis.

2 Du fait que les puissances active et réactive restent relativement constantes pendant cet essai, on peut aussi déterminer la puissance active à partir de l'énergie active (mesurée par un compteur d'énergie) consommée pendant un temps donné et divisée par ce temps; de même, le facteur de puissance $\cos \phi_1$ peut être déterminé en mesurant, au moyen de compteurs d'énergie appropriés, les énergies actives et réactives consommées durant la même période.

5.6 Détermination de la puissance de maintien P_h (voir 3.30)

Le four, contenant la charge assignée doit avoir fonctionné en service normal pendant un temps suffisant pour être à l'état chaud (voir 3.26). Pendant toute la durée des essais, la température finale de la charge doit être maintenue aussi constante que possible.

Outre la température de la charge, on mesure l'énergie consommée par le four ainsi que le temps de maintien. L'énergie doit être mesurée à l'entrée du circuit de puissance du four. On calcule la puissance de maintien en faisant le quotient de l'énergie par le temps.

La classe de précision des instruments de mesure doit être $\leq 1,5$.

5.7 Détermination de la consommation spécifique d'énergie (voir 3.32), de la vitesse de fusion et/ou de surchauffe (voir 3.33)

La mesure ne peut commencer qu'après que le four a fonctionné pendant un temps suffisant pour être sûr qu'il soit à l'état chaud.

5.4 Measurement of temperature rise of the coolant

This test shall be carried out in the hot state (see 3.26) of the furnace operating under rated conditions (see 3.24) at the end of the test given in 5.7. The temperature shall be measured by thermometers or equivalent devices inserted in the coolant at the inlet and outlet of the cooling circuits of the furnace. The difference between the inlet and outlet temperatures will give the value of the temperature rise of the coolant. During the test the outlet temperature and the temperature rise shall be within the manufacturer's specification.

NOTE - It is recommended that several readings be taken, e.g. every 5 min towards the end of the test period given in 5.7, to ascertain that the furnace has attained a stable hot state condition.

5.5 Determination of power P_1 (see 3.7) and power factor $\cos \phi_1$ (see 3.8) of the furnace power circuit

The active power P_1 is to be measured and the apparent power S_1 can be determined by the measurement of the current I_1 and voltage U_1 at rated duty (see 3.24) and at the hot state of the furnace (see 3.26). The power factor can be calculated as the ratio of the active power and the apparent power.

The accuracy class of the measuring instruments shall be $\leq 1,5$.

NOTES

1 The content of voltage and current harmonics when sufficiently reduced does not affect the test result; in these conditions the power factor defined in 3.8 becomes practically equal to the $\cos \phi$ measured by means of a $\cos \phi$ -meter. In the case of a three-phase supply, it should be ensured that, during these measurements currents in the three phase show no significant unbalance. It should be considered as a guideline that this requirement is met when the deviation of the current values from their mean value does not exceed $\pm 10 \%$. Where the out-of-balance of the three-phase line currents exceeds $\pm 10 \%$, an appropriate and more accurate method should be employed.

2 Active and reactive power remaining relatively constant during this test, active power may also be determined by the active energy (measured by an energy-meter) consumed in a given time divided by this time. Similarly, power-factor $\cos \phi_1$ may be determined by measuring, by means of adequate energy-meters, the active and reactive energy consumed in the same time period.

5.6 Determination of holding power P_h (see 3.30)

The furnace containing the rated charge shall have been in normal operation for a sufficient time to ensure that it is in the hot state (see 3.26). Throughout the test period, the final temperature of the charge shall be maintained as constant as practicable.

In addition to the temperature of the charge, the energy consumption of the furnace and the holding time are measured. The energy shall be measured at the input to the furnace power circuit. The holding power is calculated by dividing the energy by the time.

The accuracy class of the measuring instruments shall be $\leq 1,5$.

5.7 Determination of specific energy consumption (see 3.32), melting and/or superheating rate (see 3.33)

The measurement is started after the furnace has been in operation for a sufficient time to ensure that it is in the hot state.

Avant que l'essai ne commence, une charge de poids égal à celui de la charge d'essai doit être coulée, le plus rapidement possible en une seule fois, du four contenant sa charge totale. Si la charge d'essai est inférieure à la charge nominale, on doit s'assurer que la charge résiduelle est bien à la température finale désirée (voir 3.20). Dans tous les cas, le chargement doit commencer immédiatement après la coulée ou après que la charge résiduelle ait été portée à la température finale.

Immédiatement après le chargement de tout ou partie de la charge d'essai, le four est mis sous tension et la période d'essai commence, au cours de laquelle le four est chargé de façon continue jusqu'à atteindre la charge d'essai. Dès que la charge atteint sa température finale, le four est déclenché et la période d'essai s'achève.

L'énergie électrique consommée pendant la période d'essai doit être mesurée à la ligne d'alimentation du circuit de puissance du four. Il convient également de noter le temps pendant lequel le four est resté sous tension ainsi que le température de la charge au début de l'essai et avant la coulée. Afin d'éviter une surchauffe excessive, plusieurs mesures doivent être effectuées avant que la charge n'ait atteint la température finale. C'est alors qu'elle doit être coulée.

La consommation spécifique d'énergie est déterminée en faisant le quotient de l'énergie déterminée conformément à l'alinéa ci-dessus (déduction faite de l'énergie absorbée pour compenser les pertes thermiques résultant du déclenchement de l'alimentation pendant la période d'essai) par le poids de la charge d'essai contenue dans le four pendant cette même période.

La vitesse de fusion et/ou de surchauffe du four est déterminée en faisant le quotient du poids de la charge d'essai par le temps pendant lequel le four est resté sous tension au cours de la période d'essai (déduction faite du temps utilisé pour compenser les pertes thermiques résultant du déclenchement de l'alimentation pendant la période d'essai).

Il est recommandé de répéter l'essai ci-dessus pendant plusieurs cycles successifs de fusion et/ou surchauffe (par exemple trois) et d'adopter la moyenne des résultats pour la consommation spécifique d'énergie et pour la vitesse de fusion et/ou de surchauffe.

NOTE - Les pertes thermiques dues à l'ouverture du couvercle et aux temps morts peuvent avoir une influence sur les résultats. Il convient qu'elles soient réduites au minimum et prises en compte pour l'évaluation des résultats.

La quantité de pied de bain peut influencer les résultats des essais. Elle doit faire l'objet d'un accord entre constructeur et utilisateur.

5.8 *Mesure de la température des parties constitutives du four*

Cet essai doit être effectué immédiatement après l'essai défini en 5.7. On doit mesurer, au moyen d'un couple thermoélectrique de contact, d'un thermomètre ou de dispositifs équivalents, les températures à différents points de la surface extérieure de la carcasse du four.

Before the test starts, a charge equal to the weight of the test charge has to be poured as quickly as possible in one delivery from the furnace containing its total charge. If the test charge is less than the rated charge, the remaining charge shall be at the final temperature (see 3.20). In any case, charging should be started immediately after tapping or after the remaining charge has been heated up to its final temperature.

Immediately after loading the test charge or part of it, the power is switched on and the test period is started, during which charging continues until the test charge has been completely introduced into the furnace. As soon as the charge has been heated up to final temperature, the furnace is switched off and the test period is over.

The electrical energy consumed during the test period shall be measured at the supply line to the furnace power circuit. The power-on time should also be noted for the test period, as well as the charge temperature at the start and at tapping. In order to prevent excessive overheating of the charge, several temperature measurements should be made before final temperature is attained, at which time the charge should be tapped.

The specific energy consumption is calculated by dividing the energy as measured according to the previous paragraph of this subclause (subtracting the additional energy consumption that compensates the thermal losses occurring by switching-off power during the test period) by the weight of the test charge in the furnace during this time.

The melting and/or superheating rate of the furnace is calculated by dividing the weight of the test charge by the power-on time for the test period (subtracting the time used to compensate for the thermal losses occurring when power has been switched off during the test period).

It is recommended to repeat the above test for several successive melts and/or superheating cycles (e.g. three) and to adopt the average of the results for specific energy consumption and melting and/or superheating rate.

NOTE - Thermal losses due to opening of lids and power-off-times during the tests may influence the results. They should be kept to a minimum and taken into consideration when evaluating the results.

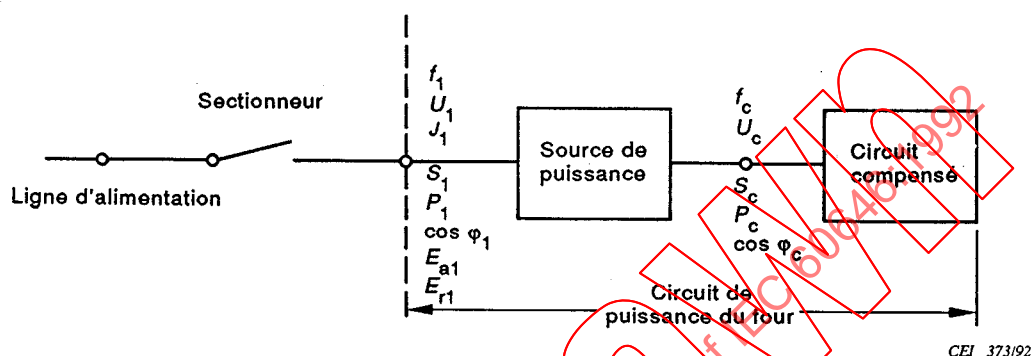
The amount of the heel may influence the test results and should be agreed between manufacturer and user.

5.8 *Measurement of the temperature of furnace structural components*

This test shall be carried out immediately after the test defined in 5.7. The temperature at different points of the external surfaces of the furnace casing shall be measured by means of a contact thermocouple, thermometer, or equivalent device.

Annexe A (normative)

Schémas explicatifs pour les symboles et définitions relatifs au circuit de puissance des fours



Exemples d'installation des sources de puissance :

- I Alimentation monophasée, four monophasé à la fréquence de réseau. Transformateur à changeur de prises en charge ou autre système de régulation de tension + appareils de connexions de charge.
- II Alimentation triphasée, four monophasé à la fréquence du réseau. En plus de I : équipement symétriseur de phases.
- III Alimentation triphasée, four monophasé à fréquence autre que celle du réseau.
Équipement convertisseur de fréquence, y compris les appareils de connexion et éventuellement transformateur-abaisseur de tension réseau.