

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60680

Première édition
First edition
1980-01

**Méthodes d'essai des installations à plasma
pour applications électrothermiques**

**Test methods of plasma equipment
for electroheat applications**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60680: 1980

Numéros des publications

Depuis le 1er 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 littéraux

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 littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux 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**

60680

Première édition
First edition
1980-01

**Méthodes d'essai des installations à plasma
pour applications électrothermiques**

**Test methods of plasma equipment
for electroheat applications**

© IEC 1980 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

R

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	6
PRÉFACE	6

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

Articles

1. Domaine d'application	8
2. Objet	8
3. Définitions	8
3.1 Chauffage par plasma	8
3.2 Plasma	8
3.3 Plasma d'arc	8
3.4 Gaz plasmagène	8
3.5 Plasma inductif	10
3.6 Torche génératrice de plasma (torche à plasma)	10
3.7 Tuyère	10
3.8 Longueur du canal de la tuyère	10
3.9 Torche à plasma à arc interne indirect ou non transféré	10
3.10 Torche à plasma à arc transféré (ou à arc direct)	10
3.11 Torche à plasma à arc superposé	10
3.12 Flamme de plasma	10
3.13 Jet de plasma	10
3.14 Projection par plasma	10
3.15 Coupage par plasma	10
3.16 Soudage par plasma	10
3.17 Four à plasma	12
3.18 Four de fusion à plasma	12
3.19 Four à plasma du type à creuset ouvert	12
3.20 Four à plasma du type lingotière	12
3.21 Electrode de fond	12
3.22 Dispositif de contrôle de la stabilisation et de la direction du jet de plasma	12
3.23 Température moyenne de plasma	12
3.24 Cathode	12
3.25 Anode	12
3.26 Vortex	12
3.27 Torche à plasma laminaire	12
3.28 Torche à plasma turbulent	14
3.29 Dispositif d'amorçage haute fréquence	14
3.30 Angle d'injection	14
3.31 Angle de la saignée	14
3.32 Régime normal d'une torche à plasma	14
3.33 Intensité spécifiée du courant de la torche à plasma	14
3.34 Puissance utile d'une torche à plasma	14
3.35 Puissance spécifiée d'une torche à plasma	14
3.36 Rendement d'une torche à plasma	14
3.37 Arc pilote	14
3.38 Puissance d'arc pilote	14
3.39 Puissance superposée	14
3.40 Rendement de dépôt de la poudre	16

SECTION DEUX — ESSAIS TECHNIQUES

4. Types et conditions générales des essais	16
4.1 Liste des essais techniques à effectuer sur les installations de projection, de coupage et de soudage par plasma	16
4.2 Liste des essais à effectuer sur les installations de chauffage par plasma	18
4.3 Conditions générales	20

CONTENTS

	Page
FOREWORD	7
PREFACE	7

SECTION ONE — GENERAL

Clause

1. Scope	9
2. Object	9
3. Definitions	9
3.1 Plasma heating	9
3.2 Plasma	9
3.3 Arc plasma	9
3.4 Plasmogenic gas	9
3.5 Inductive plasma	11
3.6 Plasma generating torch (plasma torch)	11
3.7 Nozzle	11
3.8 Nozzle channel length	11
3.9 Non-transferred indirect arc plasma torch	11
3.10 Transferred (or direct) arc plasma torch	11
3.11 Superimposed arc plasma torch	11
3.12 Plasma flame	11
3.13 Plasma jet	11
3.14 Plasma spraying	11
3.15 Plasma cutting	11
3.16 Plasma welding	11
3.17 Plasma furnace	13
3.18 Plasma melting furnace	13
3.19 Open-hearth type plasma furnace	13
3.20 Crystallizer type plasma furnace	13
3.21 Bottom electrode	13
3.22 Equipment for the control of plasma jet stability and direction	13
3.23 Mean plasma temperature	13
3.24 Cathode	13
3.25 Anode	13
3.26 Vortex	13
3.27 Laminar plasma torch	13
3.28 Turbulent plasma torch	15
3.29 High-frequency ignition device	15
3.30 Injection angle	15
3.31 Kerf angle	15
3.32 Normal operation of a plasma torch	15
3.33 Specified current of a plasma torch	15
3.34 Useful power of a plasma torch	15
3.35 Specified power of a plasma torch	15
3.36 Efficiency of a plasma torch	15
3.37 Pilot arc	15
3.38 Pilot arc power	15
3.39 Superimposed power	15
3.40 Powder deposition efficiency	17

SECTION TWO — TECHNICAL TESTS

4. Type and general conditions of tests	17
4.1 List of technical tests to be carried out on plasma spraying, cutting and welding equipment	17
4.2 List of tests to be carried out on plasma heating equipment	19
4.3 General test conditions	21

SECTION TROIS — DESCRIPTION DES ESSAIS TECHNIQUES

Articles	Pages
5. Méthodes d'essais et de mesures	20
5.1 Essais sur installations utilisant une ou des torches à plasma pour la projection, le coupage et le soudage	20
5.2 Essais sur installations de chauffage par plasma	26
ANNEXE A. — Méthode de calcul pour obtenir la température moyenne du plasma	32
FIGURE 1 (diagramme XIX) — Plasma d'argon	34
FIGURE 2 (diagramme XX) — Plasma d'hydrogène	35
FIGURE 3 (diagramme XXI) — Plasma d'azote	37

SECTION THREE — DESCRIPTION OF TECHNICAL TESTS

Clause	Page
5. Testing and measuring methods	21
5.1 Tests applicable to spraying, cutting and welding equipment employing a plasma torch(es)	21
5.2 Tests on plasma heating equipment	27
APPENDIX A. — Calculation method to obtain average plasma temperature	33
FIGURE 1 (Diagram XIX) — Argon plasma	34
FIGURE 2 (Diagram XX) — Hydrogen plasma	35
FIGURE 3 (Diagram XXI) — Nitrogen plasma	37

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODES D'ESSAI DES INSTALLATIONS À PLASMA
POUR APPLICATIONS ÉLECTROTHERMIQUES**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

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

Un projet fut discuté lors de la réunion tenue à Ankara en 1975. A la suite de cette réunion, un projet, document 27(Bureau Central)35, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en octobre 1976. Des modifications, document 27(Bureau Central)45, furent soumises à l'approbation des Comités nationaux selon la Procédure des Deux Mois en septembre 1978.

Les Comités nationaux des pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Italie
Allemagne	Japon
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Pologne
Canada	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
Egypte	Turquie
Espagne	Union des Républiques
France	Socialistes Soviétiques

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

Publications n°s 50(841): Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.),

Chapitre 841: Electrothermie industrielle (*en préparation*).

398: Conditions générales d'essai des installations électrothermiques industrielles.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**TEST METHODS OF PLASMA EQUIPMENT
FOR ELECTROHEAT APPLICATIONS**

FOREWORD

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

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 27: Industrial Electroheating Equipment.

A draft was discussed at the meeting held in Ankara in 1975. As a result of this meeting, a draft, Document 27(Central Office)35, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in October 1976. Amendments, Document 27(Central Office)45, were submitted to the National Committees for approval under the Two Months' Procedure in September 1978.

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

Austria	Netherlands
Belgium	Poland
Canada	Romania
Denmark	South Africa (Republic of)
Egypt	Spain
France	Turkey
Germany	Union of Soviet
Italy	Socialist Republics
Japan	United Kingdom

Other IEC publications quoted in this standard:

- Publications Nos. 50(841): International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.),
Chapter 841: Industrial Electroheating (*being prepared*).
398: General Test Conditions for Industrial Electro-heating Equipment.
-

MÉTHODES D'ESSAI DES INSTALLATIONS À PLASMA POUR APPLICATIONS ÉLECTROTHERMIQUES

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. Domaine d'application

La présente norme définit les méthodes d'essai s'appliquant:

- a) aux installations de projection, de coupage et de soudage utilisant les torches à plasma;
- b) aux installations de chauffage de charges solides, liquides et gazeuses utilisant les torches à plasma.

2. Objet

L'objet de la présente spécification est la normalisation des conditions et des méthodes d'essai permettant de déterminer les paramètres essentiels et les caractéristiques techniques des installations électrothermiques utilisant une ou plusieurs torches à plasma.

Les essais spécifiés ne sont pas tous applicables à chaque type d'installation comprise dans le domaine de la présente norme. Il est nécessaire d'effectuer une sélection des essais applicables à chacune des installations électrothermiques concernées.

3. Définitions

3.1 *Chauffage par plasma*

Mode de chauffage utilisant les propriétés thermiques et/ou électriques d'un gaz ionisé (V.E.I. 841-09-02 *).

3.2 *Plasma*

Milieu gazeux ionisé dans lequel les densités électronique et ionique sont sensiblement égales (V.E.I. 841-09-01).

3.3 *Plasma d'arc*

Plasma où l'ionisation est obtenue par une décharge d'arc.

3.4 *Gaz plasmagène*

Gaz ou vapeur qui est ou peut être ionisé pour former un plasma (V.E.I. 841-09-03).

* Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), chapitre 841 : Electrothermie industrielle (*en préparation*).

TEST METHODS OF PLASMA EQUIPMENT FOR ELECTROHEAT APPLICATIONS

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope

This standard specifies methods of test for:

- a) spraying, cutting and welding equipment using plasma torches;
- b) solid, liquid and gaseous charge heating equipment using plasma torches.

2. Object

The object of this specification is to standardize the test conditions and methods for determining the main parameters and technical characteristics of electroheat equipment using one or more plasma torches.

Not all the tests specified are applicable to every type of equipment, covered by this standard. It is necessary to select those tests which are applicable to any one specified electroheat installation.

3. Definitions

3.1 *Plasma heating*

Method of heating using the thermal and/or electrical properties of ionized gas (I.E.V. 841-09-02*).

3.2 *Plasma*

An ionized gaseous medium in which the electron and ion densities are approximately equal (I.E.V. 841-09-01).

3.3 *Arc plasma*

Plasma which is ionized by an arc discharge.

3.4 *Plasmogenic gas*

A gas or vapour which is or may be ionized to form a plasma (I.E.V. 841-09-03).

* International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), Chapter 841: Industrial Electroheating (*being prepared*).

3.5 *Plasma inductif*

Plasma où l'ionisation est obtenue par l'action d'un champ électromagnétique alternatif d'origine inductive.

3.6 *Torche génératrice de plasma (torche à plasma)*

Appareil dans lequel, par transfert d'énergie électrique, un gaz est porté à l'état de plasma, puis soufflé à l'extérieur (V.E.I. 841-09-10).

3.7 *Tuyère*

Pièce constituant généralement une électrode servant à la contraction du plasma en vue d'accroître sa densité d'énergie (V.E.I. 841-09-18).

3.8 *Longueur du canal de la tuyère*

Longueur de la partie cylindrique de la tuyère.

3.9 *Torche à plasma à arc interne indirect ou non transféré*

Torche dans laquelle l'arc principal s'établit généralement entre deux ou plusieurs électrodes à l'intérieur de la torche (V.E.I. 841-09-11).

3.10 *Torche à plasma à arc transféré (ou à arc direct)*

Torche dans laquelle l'arc principal s'établit entre l'électrode intérieure et une électrode extérieure à la torche (pièce à traiter) (V.E.I. 841-09-12).

3.11 *Torche à plasma à arc superposé*

Torche à arc interne dans laquelle le plasma émis sert de vecteur à un courant électrique entre la tuyère et une électrode extérieure à la torche (pièce à traiter) (V.E.I. 841-09-13).

3.12 *Flamme de plasma*

Courant de plasma soufflé par la tuyère d'une torche ou d'un dispositif utilisant une décharge d'arc non transférée.

3.13 *Jet de plasma*

Plasma dans lequel la vitesse joue un rôle important dans le processus, soufflé par la tuyère d'une torche à plasma d'arc, profitant de la décharge d'arc non transférée.

3.14 *Projection par plasma*

Recouvrement d'une surface par projection d'un matériau introduit sous forme de poudre ou de fil, et fondu dans un jet de plasma.

3.15 *Coupage par plasma*

Coupage par fusion localisée, suivi d'éjection du matériau fondu, sous l'action d'un jet de plasma.

3.16 *Soudage par plasma*

Procédé de soudage sous gaz (généralement inerte), avec ou sans métal d'apport, dans lequel l'énergie est fournie par un jet de plasma.

3.5 *Inductive plasma*

Plasma which is ionized through the effect of an alternating electromagnetic field of inductive origin.

3.6 *Plasma generating torch (plasma torch)*

An appliance in which a gas is changed into plasma by electrical energy transfer prior to its emission (I.E.V. 841-09-10).

3.7 *Nozzle*

A device which constitutes an electrode which is used to contract the stream of plasma, in order to increase its energy density (I.E.V. 841-09-18).

3.8 *Nozzle channel length*

Length of the cylindrical part of the nozzle.

3.9 *Non-transferred indirect arc plasma torch*

A plasma torch in which the main arc is generally maintained between two or more internal electrodes (I.E.V. 841-09-11).

3.10 *Transferred (or direct) arc plasma torch*

A plasma torch in which the main arc is maintained between the internal electrode and an external electrode (workpiece) (I.E.V. 841-09-12).

3.11 *Superimposed arc plasma torch*

A non-transferable arc plasma torch in which the emitted plasma carries a superimposed electric current between the nozzle and an external electrode (workpiece) (I.E.V. 841-09-13).

3.12 *Plasma flame*

Flow of plasma from the nozzle of the plasma torch or from an appliance making use of non-transferred arc discharge.

3.13 *Plasma jet*

Plasma in which the speed plays an important part in the process, emitted from the nozzle of an arc plasma torch, making use of non-transferred arc discharge.

3.14 *Plasma spraying*

Coating process in which a material introduced in the form of powder or wire and melted in a plasma jet is sprayed onto a surface.

3.15 *Plasma cutting*

Cutting by localized melting followed by the ejection of the molten material by the effect of a plasma jet.

3.16 *Plasma welding*

Gas (generally inert gas) welding process, with or without filler metal, in which the energy is supplied by a plasma jet.

3.17 *Four à plasma*

Appareil de chauffage comportant une chambre chauffée au moyen d'une ou de plusieurs torches à plasma (V.E.I. 841-09-16).

3.18 *Four de fusion à plasma*

Four dans lequel le phénomène de fusion est obtenu en utilisant des torches à plasma.

3.19 *Four à plasma du type à creuset ouvert*

Four à plasma revêtu d'un matériau réfractaire pour traiter de grands volumes de matériau fondu.

3.20 *Four à plasma du type lingotière*

Installation de refusion à plasma dans laquelle le métal est refondu dans une lingotière verticale ou horizontale en cuivre.

3.21 *Electrode de fond*

Electrode conduisant le courant à la charge dans un four à plasma du type à creuset ouvert.

3.22 *Dispositif de contrôle de la stabilisation et de la direction du jet de plasma*

Système permettant de stabiliser et de diriger le jet de plasma en utilisant des champs électriques et magnétiques.

3.23 *Température moyenne de plasma*

Température définie en partant de la méthode de mesure utilisée (voir l'annexe A de la présente norme).

3.24 *Cathode*

Habituellement, électrode interne d'une torche à plasma d'arc à courant continu. Elle se présente le plus souvent sous forme d'une baguette en métal réfractaire éventuellement refroidie (tungstène, par exemple).

3.25 *Anode*

Habituellement, tuyère d'une torche à plasma d'arc non transféré en courant continu. Elle est le plus souvent en matériau à hautes conductivités thermique et électrique (cuivre, par exemple), percée d'un orifice et refroidie. Dans une torche à arc transféré, la pièce à traiter elle-même joue le rôle d'anode.

3.26 *Vortex*

Régime d'écoulement dans lequel on fait subir au gaz un mouvement hélicoïdal avant sa transformation en plasma.

3.27 *Torche à plasma laminaire*

Torche dont le fonctionnement est caractérisé par un écoulement laminaire du jet de plasma (V.E.I. 841-09-14).

3.17 *Plasma furnace*

A heating appliance comprising a chamber which is heated by one or several plasma torches (I.E.V. 841-09-16).

3.18 *Plasma melting furnace*

Furnace in which the melting effect is achieved using plasma torches.

3.19 *Open-hearth type plasma furnace*

Plasma furnace lined with refractory material designed to process large volumes of molten material.

3.20 *Crystallizer type plasma furnace*

Plasma remelting equipment in which metal is remelted into a vertical or horizontal copper crystallizer.

3.21 *Bottom electrode*

Electrode conducting current into the charge of an open-hearth type plasma furnace.

3.22 *Equipment for the control of plasma jet stability and direction*

System enabling the stabilization and directing of plasma jet using electric and magnetic fields.

3.23 *Mean plasma temperature*

Temperature defined on the basis of the measuring method used (see Appendix A of this standard).

3.24 *Cathode*

Normally the internal electrode of a direct current arc plasma torch, usually a refractory metal rod eventually cooled (such as tungsten).

3.25 *Anode*

Normally the nozzle of a direct current non-transferred arc plasma torch, usually made of material (such as copper) having high thermal and electrical conductivity, provided with an orifice and cooled. The workpiece itself acts as anode in the transferred arc plasma torch.

3.26 *Vortex*

State of flow in which the gas is subjected to a helical movement before its transformation into plasma.

3.27 *Laminar plasma torch*

Plasma torch whose operation is characterized by a laminar flow of the plasma jet (I.E.V. 841-09-14).

3.28 *Torche à plasma turbulent*

Torche dont le fonctionnement est caractérisé par un écoulement turbulent du jet de plasma (V.E.I. 841-09-15).

3.29 *Dispositif d'amorçage haute fréquence*

Dispositif utilisé dans une torche à plasma d'arc, pour l'amorçage de l'arc par une décharge électrique haute fréquence entre les électrodes (V.E.I. 841-09-20).

3.30 *Angle d'injection*

Angle formé par la direction d'introduction de la poudre ou du fil dans le jet de plasma et l'axe de ce jet de plasma dans le sens de l'écoulement.

3.31 *Angle de la saignée*

Angle formé par les deux bords coupés. Il est positif dans le cas où la saignée est plus large sur la face côté torche.

3.32 *Régime normal d'une torche à plasma*

Régime caractérisé par des conditions de travail reproductibles définies par la nature du gaz, le débit du gaz (l/s ou l/min), l'intensité du courant (A), la tension (V) et la configuration des électrodes.

3.33 *Intensité spécifiée du courant de la torche à plasma*

Intensité maximale du courant qui devrait être mise en œuvre avec un gaz spécifié.

3.34 *Puissance utile d'une torche à plasma*

Différence entre la puissance absorbée par la torche, munie de ses conduits de refroidissement, et la puissance dissipée dans le circuit de fluide de refroidissement.

3.35 *Puissance spécifiée d'une torche à plasma*

Puissance maximale que peut absorber une torche à plasma pour un gaz donné.

3.36 *Rendement d'une torche à plasma*

Rapport entre la puissance utile et la puissance active absorbée.

3.37 *Arc pilote*

Arc de faible intensité établi entre les électrodes internes, destiné à amorcer et, éventuellement, à maintenir l'arc principal (V.E.I. 841-09-07).

3.38 *Puissance d'arc pilote*

Puissance requise pour le maintien du courant superposé dans une torche à plasma d'arc transféré ou superposé.

3.39 *Puissance superposée*

Puissance dissipée par la superposition d'un courant sur un ou plusieurs jets de plasma dans une installation à plasma.

3.28 *Turbulent plasma torch*

Plasma torch whose operation is characterized by a turbulent flow of the plasma jet (I.E.V. 841-09-15).

3.29 *High-frequency ignition device*

A device used in an arc plasma torch to ignite the arc by a high-frequency electric discharge between the electrodes (I.E.V. 841-09-20).

3.30 *Injection angle*

Angle between the direction of introduction of powder or wire into the plasma jet and the axis of this plasma jet in the direction of flow.

3.31 *Kerf angle*

Angle formed by the two cut edges. The included angle is positive if the cut is larger on the face nearest to the torch.

3.32 *Normal operation of a plasma torch*

Operation characterized by reproducible working conditions defined by the nature of the gas, its rate of flow (l/s or l/min), the current (A), voltage (V) and electrode configuration.

3.33 *Specified current of a plasma torch*

Maximum current which should be used with a specified gas.

3.34 *Useful power of a plasma torch*

Difference between the power input to the torch fitted with cooling pipes and the power dissipation in the cooling liquid circuit.

3.35 *Specified power of a plasma torch*

Maximum power which can be used by a plasma torch for a specified gas.

3.36 *Efficiency of a plasma torch*

Ratio of useful power to active input power.

3.37 *Pilot arc*

An arc of low intensity between internal electrodes which is used to initiate the ignition of the main arc and, possibly, maintain it (I.E.V. 841-09-07).

3.38 *Pilot arc power*

Power required to maintain superimposed current flow in a transferred arc or superimposed arc plasma torch.

3.39 *Superimposed power*

Power dissipated by superimposition of a current on one or several plasma jets in a plasma equipment.

3.40 Rendement de dépôt de la poudre

Rapport de la masse de la poudre déposée sur un substrat, à convenir entre le constructeur et l'utilisateur, et la masse de matériau introduite dans la torche.

SECTION DEUX — ESSAIS TECHNIQUES

4. Types et conditions générales des essais

4.1 Liste des essais techniques à effectuer sur les installations de projection, de coupage et de soudage par plasma

Les essais suivants sont à effectuer sur une installation à une ou plusieurs torches à plasma utilisées pour la projection, le soudage et le coupage.

4.1.1 Caractéristiques de l'alimentation électrique

- a) Détermination de la caractéristique tension/courant.
- b) Mesure de la puissance utile et de la puissance absorbée.
- c) Détermination du rendement.
- d) Mesure de la résistance d'isolement et essai de tenue diélectrique.

4.1.2 Caractéristiques du circuit d'amorçage

- a) Mesure du niveau de perturbations radioélectriques.
- b) Contrôle de l'aptitude à l'amorçage dans différents gaz.

4.1.3 Caractéristiques du circuit de refroidissement

- a) Mesure de la température d'entrée et de sortie du fluide de refroidissement en fonction de son débit à la puissance continue maximale de l'installation.
- b) Détermination de la caractéristique débit/pression.

4.1.4 Caractéristiques du circuit de gaz

Détermination de la caractéristique débit/pression du ou des circuits de gaz.

4.1.5 Caractéristiques des produits d'apport

4.1.5.1 Poudre utilisée pour les essais

- a) Détermination de la plage granulométrique.
- b) Détermination de la fluidité.
- c) Détermination de la caractéristique débit/pression du circuit de gaz de transport.
- d) Détermination du débit maximal en fonction de la puissance maximale de l'installation.
- e) Détermination du rendement du dépôt de poudre en fonction du débit de poudre (kg/s) et de la puissance de la torche (kW).

4.1.5.2 Fil

- a) Détermination du diamètre du fil.
- b) Détermination du débit maximal en fonction de la puissance maximale de l'installation.

3.40 *Powder deposition efficiency*

The ratio of the mass of powder consolidated on a substrate agreed upon by the manufacturer and the user, to the mass of powder fed to the torch.

SECTION TWO — TECHNICAL TESTS

4. **Type and general conditions of tests**

4.1 *List of technical tests to be carried out on plasma spraying, cutting and welding equipment*

Spraying, cutting and welding equipment comprising one or more plasma torches shall be subjected to the following tests:

4.1.1 *Electric power unit characteristics*

- a) Determination of the voltage/current characteristic.
- b) Measurement of useful power and input power.
- c) Determination of efficiency.
- d) Measurement of insulation resistance and dielectric strength test.

4.1.2 *Ignition circuit characteristics*

- a) Measurement of radio interference level.
- b) Control of ignition capability in various gases.

4.1.3 *Cooling circuit characteristics*

- a) Measurement of cooling liquid inlet and outlet temperature as a function of its rate of flow at maximum continuous power of the equipment.
- b) Determination of the flow/pressure characteristics.

4.1.4 *Gas circuit characteristics*

Determination of the flow/pressure characteristics of the gas circuit(s).

4.1.5 *Deposited material characteristics*

4.1.5.1 *Powder used for the tests*

- a) Determination of range of particle size.
- b) Determination of ease of flow.
- c) Determination of the carrier gas circuit flow/pressure characteristics.
- d) Determination of maximum feed rate as a function of the maximum power of the equipment.
- e) Determination of the powder deposition efficiency as a function of the powder feed rate (kg/s) and torch power (kW).

4.1.5.2 *Wire*

- a) Determination of the wire diameter.
- b) Determination of maximum feed rate as a function of the maximum power of the equipment.

4.1.6 *Caractéristiques de la torche à plasma*

- a) Détermination de la caractéristique tension/courant pour les différents régimes de fonctionnement.
- b) Détermination de la puissance utile et de la puissance absorbée aux différents régimes.
- c) Détermination du rendement.
- d) Mesure de la résistance d'isolement et essai de tenue diélectrique.
- e) Mesure de la température des parties accessibles de la torche.
- f) Mesure du niveau de bruit à différents régimes.
- g) Détermination de la concentration des composés toxiques éventuels en service normal de la torche.
- h) Mesure de l'usure des électrodes et de la tuyère.

Les essais prévus aux points *b)* et *c)* sont obligatoires pour les torches utilisées dans les fours à plasma. Pour les torches utilisées pour le soudage, le coupage et la projection, ces essais peuvent être utiles et peuvent être réalisés en accord entre le constructeur et l'utilisateur.

4.2 *Liste des essais à effectuer sur les installations de chauffage par plasma*

Les essais suivants sont à effectuer sur une installation de four à plasma utilisant une ou plusieurs torches à plasma.

4.2.1 *Caractéristiques de l'alimentation électrique*

Voir paragraphe 4.1.1.

4.2.2 *Caractéristiques du circuit d'amorçage*

Voir paragraphe 4.1.2.

4.2.3 *Caractéristiques du circuit de refroidissement*

4.2.3.1 *Circuit des torches*

Voir paragraphe 4.1.3.

4.2.3.2 *Circuit du four*

- a) Mesure de la température d'entrée et de sortie du fluide de refroidissement en fonction du débit à la puissance continue maximale de l'installation.
- b) Détermination de la caractéristique débit/pression.

4.2.4 *Caractéristiques des torches à plasma*

4.2.4.1 *Fonctionnement à arc interne et transféré*

Voir paragraphe 4.1.6.

Note. — Les essais des points *b)* et *c)* prévus au paragraphe 4.1.6 doivent être entrepris en accord entre le constructeur et l'utilisateur.

4.2.4.2 *Fonctionnement à arc superposé*

- a) Détermination de la puissance utile d'arc pilote et de la puissance absorbée d'arc pilote.
- b) Détermination de la puissance utile superposée et de la puissance absorbée superposée.
- c) Détermination du rapport entre la puissance superposée et la puissance d'arc pilote.
- d) Détermination du rendement.
- e) Mesure de la résistance d'isolement et essai de tenue diélectrique.

4.1.6 *Plasma torch characteristics*

- a) Determination of the voltage/current characteristics under different operating conditions.
- b) Determination of useful power and input power under different operating conditions.
- c) Determination of efficiency.
- d) Measurement of insulation resistance and dielectric strength test.
- e) Temperature measurement of accessible parts of the torch.
- f) Noise level measurement under different operating conditions.
- g) Determination of the concentration of possible toxic compounds evolved in normal operation of the torch.
- h) Measurement of electrode and nozzle wear.

The tests specified under Items *b)* and *c)* are compulsory for plasma furnaces. For torches used for welding, cutting and spraying, these tests may be useful and may be carried out in agreement between the manufacturer and the user.

4.2 *List of tests to be carried out on plasma heating equipment*

Plasma furnace equipment comprising one or more plasma torches, shall be subjected to the following tests.

4.2.1 *Electric power unit characteristics*

See Sub-clause 4.1.1.

4.2.2 *Ignition circuit characteristics*

See Sub-clause 4.1.2.

4.2.3 *Cooling circuit characteristics*

4.2.3.1 *Torch circuit*

See Sub-clause 4.1.3.

4.2.3.2 *Furnace circuit*

- a) Measurement of cooling liquid inlet and outlet temperatures as a function of the rate of flow at maximum continuous power of the equipment.
- b) Determination of the flow/pressure characteristics.

4.2.4 *Plasma torch characteristics*

4.2.4.1 *Non-transferred and transferred arc operation*

See Sub-clause 4.1.6.

Note. — Tests under Items *b)* and *c)* foreseen in Sub-clause 4.1.6 shall be made by agreement between the manufacturer and the user.

4.2.4.2 *Superimposed arc operation*

- a) Determination of useful pilot arc power and input pilot arc power.
- b) Determination of useful superimposed power and superimposed power inputs.
- c) Determination of the ratio of superimposed power to pilot arc power.
- d) Determination of efficiency.
- e) Measurement of the insulation resistance and dielectric strength test.

4.2.5 *Caractéristiques de l'installation*

4.2.5.1 *Détermination de l'étanchéité*

4.2.5.2 *Détermination de la caractéristique débit pression du circuit de gaz, à l'exclusion des gaz utilisés pour la ou les torches*

4.2.5.3 *Mesure du niveau de bruit*

4.2.5.4 *Mesure de la température des parties accessibles du four*

4.2.5.5 *Détermination de la concentration en composés toxiques*

4.3 *Conditions générales*

Voir la Publication 398 de la CEI: Conditions générales d'essai des installations électrothermiques industrielles.

SECTION TROIS — DESCRIPTION DES ESSAIS TECHNIQUES

5. **Méthodes d'essais et de mesures**

5.1 *Essais sur installations utilisant une ou des torches à plasma pour la projection, le coupage et le soudage*

5.1.1 *Caractéristiques de l'alimentation électrique*

a) *Détermination de la caractéristique tension/courant*

Elle est déterminée avec un voltmètre raccordé aux bornes de sortie de la source d'alimentation et un ampèremètre branché en série avec une charge non inductive réglable. Lorsqu'on utilise la torche à plasma comme charge, il est recommandé de ne raccorder les appareils de mesure qu'après l'amorçage de la torche, ou de les exclure du circuit d'amorçage.

b) *Mesure de la puissance utile et de la puissance active absorbée*

Il est d'usage pour une alimentation à courant continu de définir la puissance utile comme le produit de la tension par l'intensité du courant, sans tenir compte du taux d'ondulation résiduel. Pour une alimentation à courant alternatif, la puissance utile doit être mesurée par un wattmètre. Pour la mesure de la puissance absorbée, se référer au paragraphe 4.3.

c) *Détermination du rendement*

Le rendement pour un régime donné est le rapport de la puissance utile à la puissance absorbée active.

d) *Mesure de la résistance d'isolement et essai de tenue diélectrique*

1) *Mesure de la résistance d'isolement*

Une tension continue de 500 V doit être appliquée pendant 1 min sans claquage:

- i) entre les parties sous tension et les parties métalliques accessibles;
- ii) entre les parties sous tension et une feuille métallique ayant une surface ne dépassant pas 200 mm × 100 mm appliquée sur la surface externe des parties extérieures en matière isolante.

La résistance d'isolement doit au moins être égale à 2 MΩ.

4.2.5 *Equipment characteristics*

4.2.5.1 *Determination of effectiveness of sealing*

4.2.5.2 *Determination of the gas circuit flow/pressure characteristic, excluding gas(es) used by the torch(es)*

4.2.5.3 *Noise level measurement*

4.2.5.4 *Temperature measurement of accessible furnace parts*

4.2.5.5 *Determination of the concentration of toxic compounds evolved*

4.3 *General test conditions*

See IEC Publication 398: General Test Conditions of Industrial Electro-heating Equipment.

SECTION THREE — DESCRIPTION OF TECHNICAL TESTS

5. **Testing and measuring methods**

5.1 *Tests applicable to spraying, cutting and welding equipment employing a plasma torch(es)*

5.1.1 *Electric power unit characteristics*

a) *Determination of the voltage/current characteristic*

This shall be determined by means of a voltmeter connected to the output terminals of the power unit and an ammeter connected in series with a non-inductive adjustable load. If the plasma torch is used as load, it is advisable to connect the measuring instruments after ignition of the torch, or to exclude them from the ignition circuit.

b) *Measurement of useful power and active input power*

With a d.c. supply it is usual to define the useful power as the product of voltage multiplied by the current, irrespective of the residual ripple ratio. With an a.c. supply the useful power shall be measured by means of a wattmeter. For measurement of input power, see Sub-clause 4.3.

c) *Determination of efficiency*

The efficiency is the ratio of useful power to active input power.

d) *Measurement of insulation resistance and dielectric strength test*

1) *Measurement of the insulation resistance*

A voltage of 500 V d.c. shall be applied for 1 min without breakdown:

- i) between the live parts and the accessible metal parts;
- ii) between the live parts and a metal sheet not larger than 200 mm × 100 mm applied to the outer surface of the external parts made of insulating material.

The insulation resistance shall be not less than 2 MΩ.

2) Essai de tenue diélectrique

Une tension pratiquement sinusoïdale de fréquence égale à celle du réseau 50-60 Hz et dont la valeur est spécifiée ci-après est appliquée pendant 1 min.

Au début de l'essai, la tension appliquée ne dépasse pas la moitié de la valeur prescrite ; puis elle est amenée rapidement à la valeur d'essai.

Les valeurs spécifiées sont les suivantes :

- i) installations fonctionnant à une tension inférieure ou égale à 50 V ; tension d'essai : 500 V ;
- ii) installation d'une tension nominale U supérieure à 50 V ; tension d'essai : $2 U + 1000$ (avec un minimum de 1500 V).

L'essai est effectué :

- i) entre les pièces de contact des interrupteurs dans la position « ouvert » ;
- ii) entre les parties sous tension et les parties métalliques accessibles (selon la construction de l'interrupteur) ;
- iii) entre les parties sous tension et une feuille métallique appliquée sur la surface externe des parties extérieures en matière isolante.

Note. — Pendant l'essai, certaines résistances du circuit haute fréquence, directement connectées à la masse en service normal, pourront être, pour des raisons de fonctionnement, déconnectées.

Lors de l'essai entre les pièces de contact des interrupteurs, on prendra soin de ne pas appliquer des contraintes exagérées aux condensateurs qui peuvent se trouver incorporés à l'installation.

Les effluves ne coïncidant pas avec une chute de tension ne seront pas retenus lors de l'essai.

5.1.2 Caractéristiques du circuit d'amorçage

a) Mesure du niveau de perturbations radioélectriques

Le niveau de perturbations radioélectriques générées par le circuit d'amorçage h.f. est mesuré suivant les prescriptions en vigueur dans le pays d'utilisation. Ce niveau doit satisfaire à la réglementation locale.

b) Contrôle de l'aptitude à l'amorçage dans différents gaz

Le circuit d'amorçage étant raccordé aux bornes d'une torche à électrodes réglables, faire varier, pour un gaz donné, la distance entre électrodes dans des limites admissibles et dépendant de l'isolement de cette torche suivant les spécifications du constructeur de la torche. Pour la distance maximale entre électrodes, on fait varier le débit de gaz jusqu'à la disparition de l'étincelle h.f. Ce seuil définit l'aptitude à l'amorçage du système circuit-torche.

5.1.3 Caractéristiques du circuit de refroidissement

a) Mesure de la température d'entrée et de sortie du fluide de refroidissement en fonction de son débit et de la puissance continue maximale de l'installation

La mesure de la différence de température du fluide de refroidissement est effectuée aux bornes de la torche, y compris sa canalisation. Dans le cas où l'on utilise des capteurs électriques (thermocouples ou thermistors), ceux-ci doivent être isolés électriquement par rapport au fluide de refroidissement. Ces mesures se feront au débit et à la pression recommandés par le constructeur de la torche.

b) Détermination de la caractéristique débit/pression

Le manomètre sera placé à l'entrée de la tuyauterie du circuit de refroidissement de la torche, canalisation comprise. La mesure du débit se fait à partir de la mesure du volume ou en insérant un débitmètre dans le circuit en amont du manomètre.

2) *Dielectric strength test*

A practically sinusoidal voltage of mains frequency 50-60 Hz, the value of which is specified below, is applied for 1 min.

At the beginning of the test, the voltage applied is less than half of the prescribed value, and is then rapidly raised to the test value.

The specified values are as follows:

- i) installation with a rated voltage lower than or equal to 50 V; test voltage: 500 V;
- ii) installation with a rated voltage U above 50 V; test voltage $2 U + 1000$ (minimum 1500 V).

The test is carried out:

- i) between the contact pieces of the switches in the "open" position;
- ii) between the live parts and the accessible metal parts (depends on the switch construction);
- iii) between the live parts and a metal sheet applied to the outer surface of the external parts made of insulating material.

Note. — Certain resistances of the high-frequency circuit which are normally connected to the frame may be disconnected during the test for operational reasons.

Overstress to capacitors which may be incorporated in the installation shall be avoided during the test between the switch contact pieces.

Leakage phenomena which do not cause a voltage drop shall be ignored.

5.1.2 *Ignition circuit characteristics*

a) *Measurement of radio interference level*

The level of radio interference generated by the high-frequency ignition circuit shall be measured in accordance with the regulations in force in the country in which the equipment is to be used. It shall comply with local regulations.

b) *Control of ignition capability in various gases*

After connecting the ignition circuit to the terminals of adjustable electrodes plasma torch operated with a given type of gas, the electrode spacing shall be varied within the permissible limits and dependent on the torch insulation as specified by the torch manufacturer. At the maximum electrode spacing the gas flow shall be varied till the high-frequency spark has disappeared. This threshold defines the ignition capability of the circuit/torch system.

5.1.3 *Cooling circuit characteristics*

a) *Measurement of cooling liquid inlet and outlet temperature as a function of its rate of flow and of the maximum continuous power of the equipment*

The cooling water temperature difference shall be measured at the terminals of the torch inclusive of its hoses. If thermoelectric sensors such as thermocouples or thermistors are used, they shall be electrically insulated from the cooling liquid. The measurements shall be made at the rate and pressure recommended by the torch manufacturer.

b) *Determination of the flow/pressure characteristics*

The pressure gauge shall be placed at the inlet of the cooling circuit pipeline of the torch inclusive of the pipes. The flow shall be measured either volumetrically or by means of a flowmeter inserted in the cooling circuit ahead of the pressure gauge.

5.1.4 Caractéristiques du circuit de gaz

Détermination de la caractéristique débit/pression du ou des circuits à gaz

Le débit de gaz est relevé en mètres cubes par minute. Le rapport entre la pression et le débit de gaz est mesuré en plaçant un manomètre à l'entrée du circuit de la torche, canalisations comprises, et un débitmètre dans le circuit en amont du manomètre. Les mesures doivent de préférence être prises sur une torche fonctionnant aux intensités de courant et débits gazeux recommandés par le constructeur.

5.1.5 Caractéristiques des produits d'apport

5.1.5.1 Poudre utilisée pour les essais

a) *Détermination de la plage granulométrique*

Cette caractéristique est déterminée en utilisant des tamis standardisés*. Elle se mesure habituellement en micromètres.

b) *Détermination de la fluidité*

Elle se définit comme étant le rapport de la quantité de poudre au temps d'écoulement par un orifice calibré (à titre d'exemple, cet orifice mesurera 3 mm de diamètre et 5 mm de longueur).

c) *Détermination de la caractéristique débit/pression du circuit de gaz de transport*

Cet essai doit se faire en utilisant une poudre adaptée à la conception et aux applications de l'installation. En général, une poudre qui convient est l'alumine (99,5% Al_2O_3) dont la granulométrie est adaptée au débit maximal et à la puissance de la torche indiquée par le constructeur de la torche. Le manomètre doit être placé en amont du système d'injection de poudre et le débitmètre en amont du manomètre.

d) *Détermination du débit maximal en fonction de la puissance de la torche*

Cet essai doit se faire en utilisant une poudre adaptée à la conception et aux applications de l'installation. En général, on peut utiliser l'alumine (99,5% Al_2O_3) de granulométrie appropriée.

On déterminera le débit maximal en prenant celui de la poudre juste avant l'engorgement de la tuyère ou des canalisations.

e) *Détermination du rendement de dépôt*

L'essai doit se faire en utilisant une poudre adaptée à la conception de l'installation. En général on utilise la poudre d'alumine (99,5% Al_2O_3) dont la granulométrie a été spécifiée par le constructeur. La puissance utile de la torche et le débit de gaz doivent être déterminés en même temps que le débit de poudre afin d'obtenir un rendement optimal. La masse de poudre déposée et la masse introduite dans la torche doivent être mesurées et le rendement est déterminé en faisant le rapport de ces deux masses conformément au paragraphe 3.40.

5.1.5.2 Fil

a) *Détermination du diamètre*

Cette mesure se fait par les moyens conventionnels aux tolérances admises par le constructeur de la torche.

b) *Détermination du débit maximal en fonction de la puissance maximale de l'installation*

Cet essai se fera en utilisant un fil d'acier inoxydable au diamètre indiqué par le constructeur de la torche. On déterminera le débit maximal de fil avant l'engorgement.

* Cette méthode n'est applicable que pour des poudres de granulométrie supérieure à 20 μm . En dessous de cette limite, la méthode est indiquée par le fabricant de poudres.

5.1.4 Gas circuit characteristics

Determination of the flow/pressure characteristics of the gas circuit(s)

The gas flow is measured in cubic metres per minute. The ratio of gas pressure and flow shall be determined by means of a pressure gauge placed at the inlet of the torch, pipes included, and a flowmeter inserted in the circuit ahead of the pressure gauge. The measurements shall preferably be taken on a torch operating with the currents and gas flows recommended by the manufacturer.

5.1.5 Deposited material characteristics

5.1.5.1 Powder used in tests

a) *Determination of range of particle size*

Standard type sieves shall be used*. The latter are usually measured in micrometres.

b) *Determination of ease of flow*

It is determined as the ratio of the powder quantity and time of flowing through a gauge orifice (e.g. diameter 3 mm, length 5 mm).

c) *Determination of the carrier gas circuit flow/pressure characteristics*

This test shall be carried out using a powder suitable for the design and applications of the installation. Generally, powdered alumina (99.5% Al_2O_3) with a range of particle size suitable for the maximum flow and torch power specified by the torch manufacturer is suitable. The pressure gauge shall be inserted ahead of the powder feeding system and the flowmeter ahead of the pressure gauge.

d) *Determination of maximum feed rate as a function of the torch power*

This test shall be carried out using a powder suitable for the design and applications of the installation. Generally, powdered alumina (99.5% Al_2O_3) with an appropriate range of particle size is suitable.

The maximum powder feed rate shall be determined before obstruction of the nozzle or pipes.

e) *Determination of deposition efficiency*

This test shall be carried out using a powder suitable for the design of the installation. Generally, powdered alumina (99.5% Al_2O_3) with a range of particle size as specified by the manufacturer is used. The torch useful power and the gas flow shall be determined at the same time as the powder flow in order to obtain optimum efficiency. The mass of powder deposited and the mass fed to the torch shall be measured and the efficiency determined as the ratio of these two masses according to Sub-clause 3.40.

5.1.5.2 Wire

a) *Determination of diameter*

The wire diameter shall be measured by conventional means with the permissible limits specified by the torch manufacturer.

b) *Determination of maximum feed rate as a function of the maximum power of the equipment*

This test shall be carried out using a stainless steel wire with the diameter specified by the torch manufacturer. The maximum wire feed rate shall be determined before obstruction of the torch.

* This method is applicable only to powders with particle sizes greater than 20 μm . Below this limit the method should be as stated by the powder manufacturer.

5.1.6 Caractéristiques de la torche à plasma

- a) *Détermination de la caractéristique tension/intensité pour les différents régimes de fonctionnement*
A l'étude.
- b) *Détermination de la puissance utile et de la puissance absorbée aux différents régimes*
A l'étude.
- c) *Détermination du rendement*
A l'étude.
- d) *Mesure de la résistance d'isolement et essai de tenue diélectrique*

1) *Mesure de la résistance d'isolement*

La mesure de la résistance d'isolement de la torche à plasma est effectuée dans les conditions spécifiées au point *d*) du paragraphe 5.1.1 relatif à l'alimentation électrique, le circuit de refroidissement étant en fonctionnement.

La résistance d'isolement doit être au moins égale à 2 M Ω pour les parties munies d'une isolation fonctionnelle et à 7 M Ω pour les parties munies d'une isolation renforcée et susceptibles d'être tenues à la main pendant l'usage de la torche.

2) *Essai de tenue diélectrique*

Cet essai est effectué dans les conditions spécifiées au point *d*) du paragraphe 5.1.1 avec, en supplément, un essai entre les parties sous tension et les parties extérieures à isolation renforcée (une feuille métallique est appliquée sur la surface externe des parties extérieures en matière isolante renforcée). Tension d'essai: 4000 V.

En plus de ces prescriptions, les torches à plasma devront satisfaire à des essais de tenue à la tension haute fréquence utilisée à l'amorçage: à l'écartement maximal des électrodes, indiqué par le fabricant, aucune fuite de courant haute fréquence ne peut se produire entre d'autres parties de la torche que les électrodes.

e) *Mesure de la température des parties accessibles de la torche*

Cette mesure s'effectue en régime permanent à la puissance maximale de l'installation par une méthode conventionnelle de mesure de la température de surface aux différents points accessibles de la torche.

f) *Mesure du niveau de bruit à différents régimes*

Cette mesure s'effectue en conformité avec les règlements de la sécurité du travail en vigueur dans le pays d'utilisation.

g) *Détermination de la concentration des composés toxiques*

Cette mesure s'effectue en conformité avec les réglementations de la sécurité du travail en vigueur dans le pays d'utilisation.

h) *Mesure de l'usure des électrodes et de la tuyère*

L'usure des électrodes s'exprime en masse de métal (mg) par unité de temps (h) dans des conditions d'exploitation fixées en accord entre l'utilisateur et le constructeur. Elle doit être déterminée en pesant les électrodes et en mesurant le volume de gaz utilisé.

Note. — Le fonctionnement peut être continu ou discontinu. Le débit de gaz et la densité du courant affectent l'usure des électrodes et de la tuyère.

5.2 Essais sur installations de chauffage par plasma

5.2.1 Caractéristiques de l'alimentation électrique

Voir paragraphe 5.1.1.

5.1.6 Plasma torch characteristics

a) *Determination of the voltage/current characteristic under different operating conditions*

Under consideration.

b) *Determination of useful power and input power under different operating conditions*

Under consideration.

c) *Determination of efficiency*

Under consideration.

d) *Measurement of the insulation resistance and dielectric strength test*

1) *Measurement of the insulation resistance*

The plasma torch insulation resistance shall be measured under the same conditions as that specified in Item d) of Sub-clause 5.1.1 relating to electric power unit characteristics, the cooling circuit being in operation.

The insulation resistance shall be not less than 2 MΩ for the parts provided with functional insulation, or 7 MΩ for parts with reinforced insulation and likely to be held by hand when using the torch.

2) *Dielectric strength test*

This test is carried out under the same conditions as that in Item d) of Sub-clause 5.1.1 with an additional test between live parts and the external parts having reinforced insulation (a metal sheet is applied to the outer surface of the external parts of insulating material). Test voltage: 4000 V.

In addition to these requirements, the plasma torches shall satisfy tests carried out at the high-frequency ignition voltage: with the maximum admissible electrode spacing specified by the manufacturer, no high-frequency current shall flow between parts of the torch other than electrodes.

e) *Temperature measurement of accessible parts of the plasma torch*

The surface temperature at different points of accessible parts of the torch shall be measured when conditions of steady state at the maximum continuous power of the equipment have been obtained during operation by a conventional method.

f) *Noise level measurement under different operating conditions*

These measurements shall comply with the safety regulations in force in the country in which the equipment is to be used.

g) *Determination of concentration of toxic compounds evolved*

These measurements shall comply with the safety regulations in force in the country in which the equipment is to be used.

h) *Measurement of electrode and nozzle wear*

Electrode and nozzle wear may be expressed by metal weight (mg) per unit time (h) during operating conditions established by agreement between the manufacturer and the user. It shall be determined by weighing the electrodes and measuring the gas volume used.

Note. — Operating conditions may be continuous or intermittent; the volume of gas flow and current density affect electrode and nozzle wear.

5.2 Tests on plasma heating equipment

5.2.1 Electric power supply characteristics

See Sub-clause 5.1.1.

5.2.2 *Caractéristiques du circuit d'amorçage*

Voir paragraphe 5.1.2.

5.2.3 *Caractéristiques du circuit de refroidissement*

5.2.3.1 *Circuit de la torche*

Voir paragraphe 5.1.3.

5.2.3.2 *Circuit du four*

- a) *Mesure de la température d'entrée et de sortie du fluide de refroidissement en fonction du débit et de la puissance de l'installation*

La mesure de la différence de température du fluide de refroidissement est effectuée au niveau des brides d'admission et d'évacuation de chacun des éléments de l'installation, canalisations comprises. Dans le cas où l'on utilise des capteurs électriques (thermocouples ou thermistors), ceux-ci doivent être isolés électriquement par rapport au fluide de refroidissement. Ces mesures se feront au débit et à la pression recommandés par le constructeur de l'installation.

- b) *Détermination de la caractéristique débit/pression*

Le manomètre devra être placé à l'entrée du circuit de refroidissement de chacun des constituants de l'installation, et la mesure du débit se fera à partir de la mesure de volume ou en insérant un débitmètre dans le circuit, en amont du manomètre.

5.2.4 *Caractéristiques des torches à plasma*

5.2.4.1 *Fonctionnement à arc interne ou non transféré*

Voir paragraphe 5.1.6.

5.2.4.2 *Fonctionnement à arc superposé*

- a) *Détermination de la puissance utile d'arc pilote et de la puissance active absorbée d'arc pilote*
Voir point b) du paragraphe 5.1.6.

- b) *Détermination de la puissance utile superposée et de la puissance active absorbée superposée*

La puissance utile est définie au paragraphe 3.39.

La puissance absorbée en courant continu superposé est le produit de la tension aux bornes des câbles par l'intensité du courant sans tenir compte du taux d'ondulation résiduel.

Note. — Lorsque la puissance active superposée l'est en courant alternatif, la puissance absorbée est mesurée par un ou plusieurs wattmètres.

La puissance dissipée dans le circuit de refroidissement est obtenue en faisant le produit du débit q (kg/s) du fluide de refroidissement par l'augmentation de la différence de température $\Delta\theta$ (K) entre l'entrée et la sortie du circuit de refroidissement, différence de température provoquée par la superposition de courant, et par le coefficient de chaleur massique C_p (J/kg K) du fluide (à titre indicatif, pour l'eau: $C_p = 4200$ J/kg K).

$$P \text{ (kW)} = C_p \text{ (J/kg K)} \times \Delta\theta \text{ (K)} \times q \text{ (kg/s)} \times 10^{-3}$$

- c) *Détermination du rapport entre la puissance superposée et la puissance d'arc pilote*

Ce rapport est celui de la puissance active absorbée totale superposée au total des puissances absorbées d'arc pilote.

5.2.2 Ignition circuit characteristics

See Sub-clause 5.1.2.

5.2.3 Cooling circuit characteristics

5.2.3.1 Torch circuit

See Sub-clause 5.1.3.

5.2.3.2 Furnace circuit

a) *Measurement of cooling liquid inlet and outlet temperatures as a function of rate of flow and equipment power*

The cooling liquid temperature difference shall be measured at the inlet and outlet terminals of each of the equipment elements, including pipes. If thermoelectric sensors such as thermocouples or thermistors are used, they shall be electrically insulated from the cooling liquid. The measurements shall be made at the rate of flow and pressure recommended by the equipment manufacturer.

b) *Determination of the flow/pressure characteristics*

The pressure gauge shall be placed at the inlet of the cooling circuit of each of the equipment components. The flow shall be measured either volumetrically or by means of a flowmeter inserted in the circuit ahead of the pressure gauge.

5.2.4 Plasma torch characteristics

5.2.4.1 Non-transferred arc operation

See Sub-clause 5.1.6.

5.2.4.2 Superimposed arc operation

a) *Determination of useful pilot arc power and pilot arc active power input*

See Item b) of Sub-clause 5.1.6.

b) *Determination of useful superimposed power and superimposed active power input*

The useful superimposed power is that defined in Sub-clause 3.39.

With a d.c. supply, the superimposed power input is the product of the voltage across cable terminals multiplied by the current, irrespective of the residual ripple ratio.

Note. — With an a.c. supply the superimposed active power input shall be measured by means of one or more wattmeters.

The power dissipation in the cooling circuit is the product of cooling liquid flow rate q (kg/s) multiplied by increase of temperature difference $\Delta\theta$ (K) between the cooling circuit inlet and outlet caused by the superimposition of current and the specific heat C_p (J/kg K) of the cooling liquid (e.g. for water, $C_p = 4200$ J/kg K).

$$P \text{ (kW)} = C_p \text{ (J/kg K)} \times \Delta\theta \text{ (K)} \times q \text{ (kg/s)} \times 10^{-3}$$

c) *Determination of the ratio of the superimposed power to pilot arc power*

This ratio is equal to the ratio of total superimposed active power input to total pilot arc power input.

d) Détermination du rendement

Voir paragraphe 3.36.

La puissance à prendre pour le calcul du rendement est le total des puissances d'arc pilote et superposé.

e) Mesure de la résistance d'isolement et essai de tenue diélectrique

Voir point d) du paragraphe 5.1.1.

5.2.5 Caractéristiques de l'installation

5.2.5.1 Détermination de l'étanchéité

Quand il est utilisé dans une ligne de fabrication de produits toxiques, le four doit satisfaire aux conditions habituelles d'étanchéité, en vigueur dans le pays d'utilisation. Un des tests sera celui de la détection des produits chlorofluorés, comme cela se fait dans les installations devant travailler sous vide.

5.2.5.2 Détermination de la caractéristique débit/pression du circuit de gaz à l'exclusion des gaz utilisés pour les torches

Le débit de gaz est relevé en mètres cubes par seconde ou en mètres cubes par heure. La relation entre la pression et le débit de gaz est mesurée en plaçant un manomètre à l'entrée du circuit de l'installation, canalisations comprises, et un débitmètre dans le circuit en amont du manomètre.

Sur la caractéristique débit/pression devra figurer le point correspondant à la puissance spécifiée et au débit de gaz spécifié indiqués par le constructeur.

5.2.5.3 Mesure du niveau de bruit

Cette mesure s'effectue en conformité avec les règlements de la sécurité du travail en vigueur dans le pays d'utilisation.

5.2.5.4 Mesure de la température des parties accessibles du four

Cette mesure s'effectue en fonctionnement normal à la puissance continue maximale par une méthode conventionnelle de mesure de la température de surface aux différents points accessibles du four en régime permanent.

5.2.5.5 Détermination de la concentration en composés toxiques

Cette mesure s'effectue en conformité avec les réglementations de la sécurité du travail en vigueur dans le pays d'utilisation.

d) Determination of efficiency

See Sub-clause 3.36.

The powers to be taken into account for the calculation of efficiency shall be the sum of pilot arc and superimposed powers.

e) Measurement of the insulation resistance and dielectric strength test

See Item d) of Sub-clause 5.1.1.

5.2.5 Equipment characteristics

5.2.5.1 Determination of effectiveness of sealing

If the furnace is to be used for the manufacture of toxic products, it shall meet the standard sealing requirements prescribed in the country in which the furnace is to be used. Tests for sealing shall include the detection of chlorofluorine products as in vacuum furnaces.

5.2.5.2 Determination of the gas circuit flow/pressure characteristic, excluding gas used for the torches

The gas flow shall be measured in cubic metres per second or cubic metres per hour. The relation between gas pressure and flow rate shall be measured by means of a pressure gauge placed at the equipment circuit inlet, including pipes, and a flowmeter inserted in the circuit before the pressure gauge.

On the flow/pressure characteristic, the point corresponding to the specified power and specified gas flow given by the manufacturer shall be noted.

5.2.5.3 Noise level measurement

The noise level shall be measured in compliance with the safety regulations in force in the country in which the furnace is to be used.

5.2.5.4 Temperature measurement of accessible furnace parts

This measurement shall be made during normal operation of the furnace, at maximum continuous power, using a conventional surface temperature measuring method at various points in conditions of steady state.

5.2.5.5 Determination of the concentration of toxic compounds evolved

The measurements shall comply with the safety regulations in force in the country in which the furnace is to be used.

ANNEXE A

MÉTHODE DE CALCUL POUR OBTENIR LA TEMPÉRATURE MOYENNE DU PLASMA *

La température moyenne d'un plasma ne peut être mesurée par les moyens conventionnels.

Elle peut être obtenue en évaluant la puissance nette dissipée dans le jet de plasma. Cette puissance ramenée à la mesure de gaz par unité de temps représente l'énergie massique et, par le diagramme de Mollier correspondant à ce gaz pour une pression déterminée, on peut retrouver la température approximative du jet de plasma.

Exemple :

Une torche à plasma à courant continu fonctionnant en régime d'azote sous 80 V et 300 A = 24 kW.

Les pertes dans le circuit de refroidissement représentent 7,3 kW. La puissance nette dissipée dans le gaz représente $24 \text{ kW} - 7,3 \text{ kW} = 16,7 \text{ kW}$.

Le débit de gaz de $15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min} = 0,31 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$; la pression est de 1 bar.

L'énergie massique fournie au gaz sera donc de :

$$\frac{16,7}{0,31} 10^3 \frac{\text{kWs}}{\text{kg}} = 53,870 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Le diagramme de Mollier — voir les figures 1, 2 et 3, pages 34, 35 et 37 (diagrammes XIX, XX et XXI extraits de *Technische Thermodynamik II*, par F. Bošnjaković, Edition Theodor Steinkopf, Dresde et Leipzig) — de l'azote indique pour cette énergie massique une température de l'ordre de 10000 °C.

* Le calcul de la température du plasma est donné à titre indicatif comme méthode de référence bien que cette température ne soit pas un paramètre important d'évaluation. La quantité de chaleur contenue et disponible ainsi que le coefficient de transfert de chaleur sont les valeurs les plus usuellement utilisées pour évaluer l'efficacité d'un plasma. La quantité de chaleur contenue est obtenue par calcul et mesure des pertes dans les circuits de refroidissement. Le coefficient de transfert de chaleur est déterminé par l'expérience.

APPENDIX A

CALCULATION METHOD TO OBTAIN AVERAGE PLASMA TEMPERATURE *

Plasma average temperature cannot be measured by conventional means.

It may be obtained by evaluating the net power dissipation in the plasma jet. This power, expressed by gas mass per unit of time represents the mass energy; by means of the Mollier diagram corresponding to the gas concerned, it is possible to find the approximate temperature of the plasma jet for a given pressure.

Example:

A d.c. torch using nitrogen operates at 80 V and 300 A = 24 kW.

Losses in the cooling circuit account for 7.3 kW. The net power dissipation in the gas is:
 $24 \text{ kW} - 7.3 \text{ kW} = 16.7 \text{ kW}$.

Gas flow rate: $15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{min}$, i.e. $0.31 \cdot 10^{-3} \text{ kg/s}$; pressure 1 bar.

The mass energy supplied to the gas will be hence:

$$\frac{16.7}{0.31} 10^3 \frac{\text{kWs}}{\text{kg}} = 53.870 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

The Mollier diagram — see Figures 1, 2 and 3, pages 34, 35 and 37 (diagrams XIX, XX and XXI from *Technische Thermodynamik II*, by F. Bošnjaković, published by Theodor Steinkopf, Dresden and Leipzig) — for nitrogen shows a temperature in the order of 10000 °C, for this mass energy.

* The calculation of plasma temperature is given here by way of a reference method although this temperature is not an important evaluation parameter. The quantity of heat contained and available as well as the thermal transfer coefficient are the values most usually used to assess the efficiency of a plasma. The quantity of heat contained is obtained by calculation and by measurement of the losses in the cooling circuits. The thermal transfer coefficient is determined experimentally.

Diagramme représentant l'enthalpie/entropie (i/s) pour 1 kg de plasma d'argon en équilibre thermique jusqu'à 100 000 °C entre 0,01 et 100 bar.

La pression partielle, l'enthalpie et l'entropie du rayonnement spatial interne n'ont pas été prises en considération.

Ces facteurs sont traités dans l'article suivant: F. Bosnjaković, W. Springs et K. F. Knoche: «Mollier-Enthalpie-Entropie-Diagramme für Hochtemperatur-Plasmen», *Zeitschrift für Flugwissenschaft*, 10, 413 (1962).

Enthalpie	i	en kJ/kg
Entropie	s	en kJ/kg K
Température	T	en °C
Pression	p	en bar
Masse volumique		en kg/m ³
Vitesse iso-entropique du son	w_s	en m/s

Diagramme par F. Bošnjaković, *op. cit.*

Enthalpy/entropy (i/s) diagram for 1 kg of an argon plasma in thermal equilibrium up to 100 000 °C between 0.01 and 100 bar.

The partial pressure, enthalpy and entropy of the internal spatial radiation have not been taken into consideration.

These factors are dealt with in the following article: F. Bošnjaković, W. Springs and K. F. Knoche: "Mollier-Enthalpie, Entropie-Diagramme für Hochtemperatur-Plasmen", *Zeitschrift für Flugwissenschaft*, 10, 413 (1962).

Enthalpy	i	in kJ/kg
Entropy	s	in kJ/kg K
Temperature	T	in °C
Pressure	p	in bar
Density		in kg/m ³
Iso-entropic sound velocity	w_s	in m/s

Diagram by F. Bosnjaković, *op. cit.*

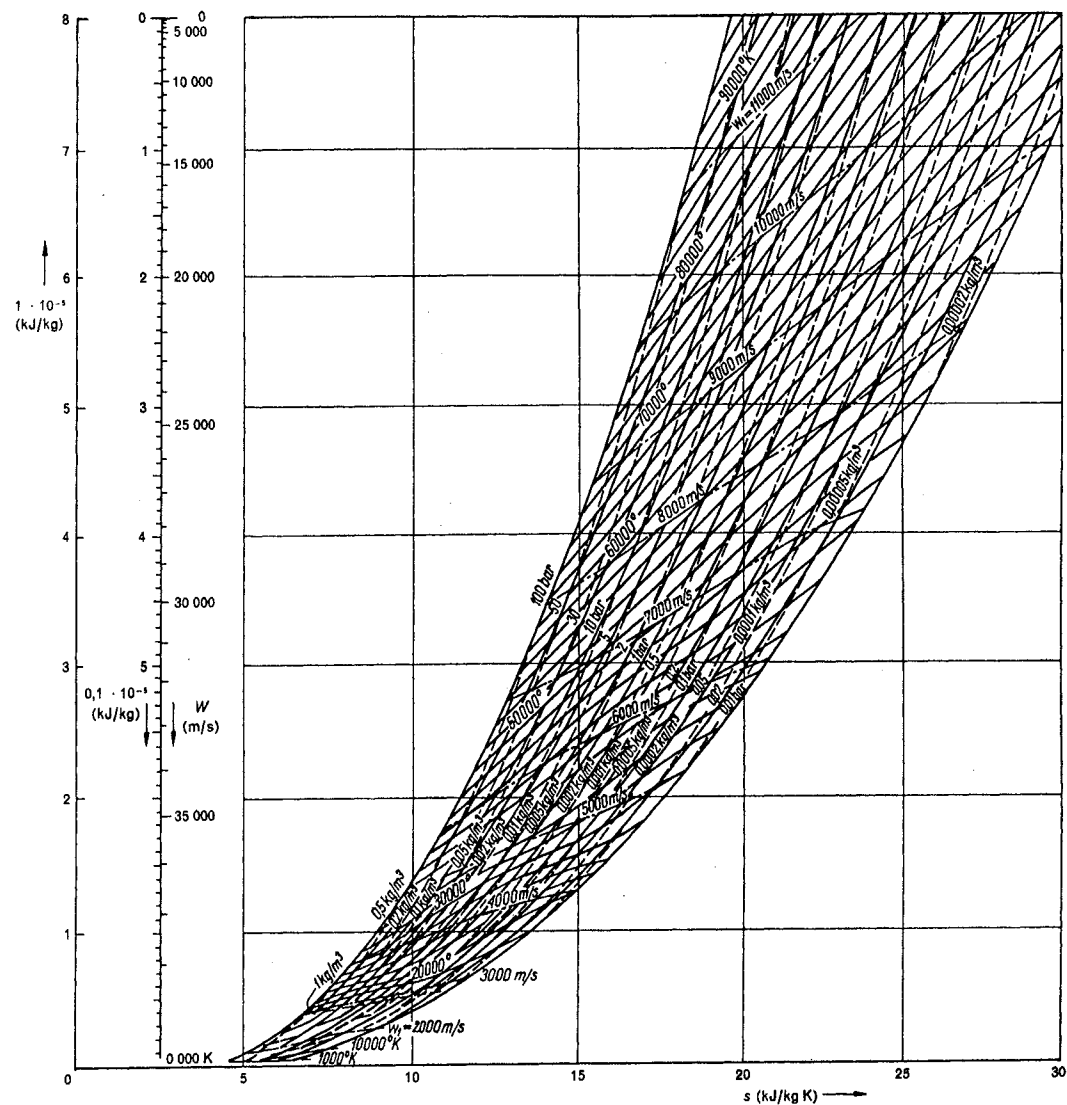


FIG. 1. (diagramme XIX). — Plasma d'argon.
(Diagram XIX). — Argon plasma.

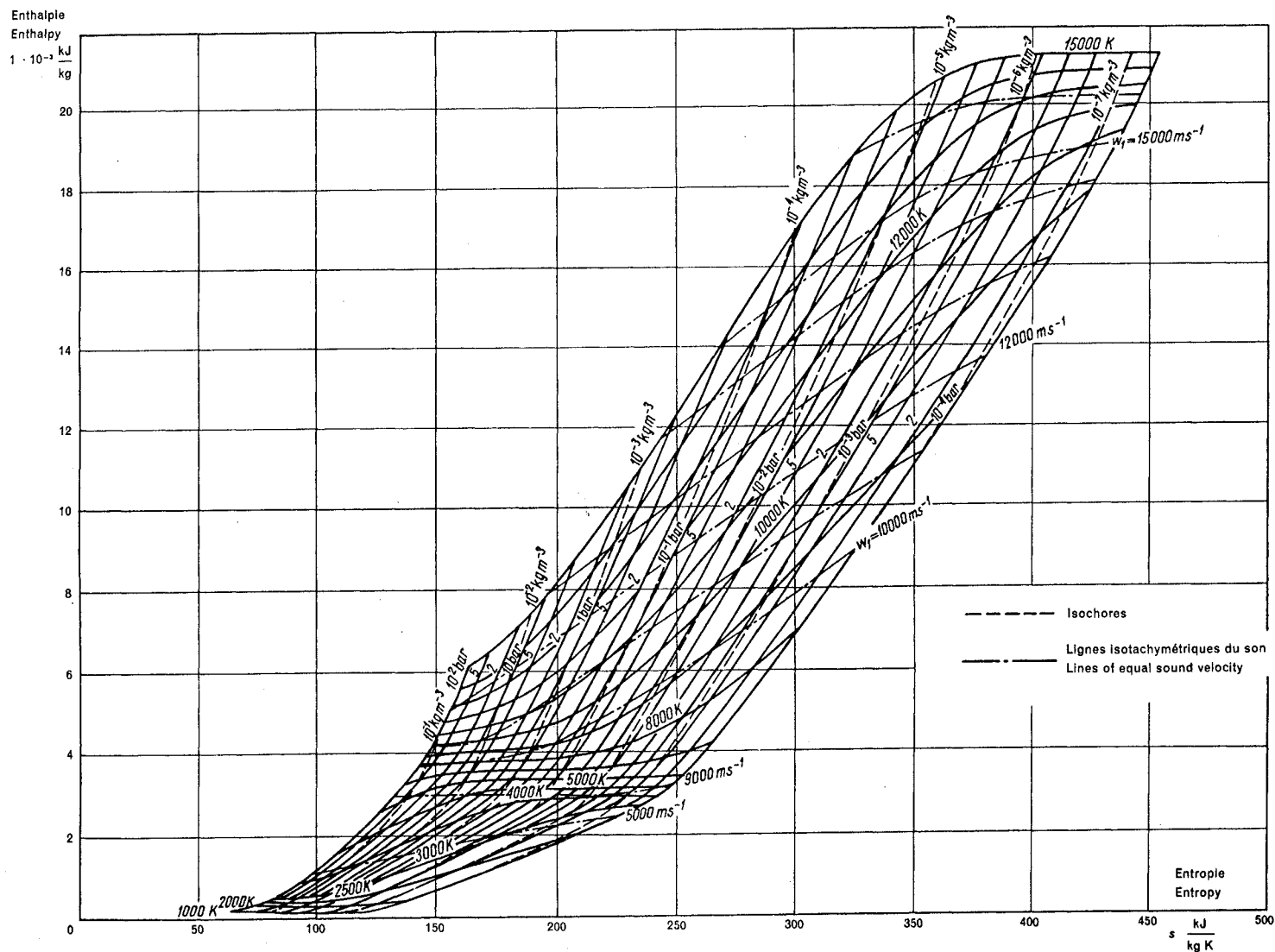


FIG. 2. (diagramme XX). — Plasma d'hydrogène.
(Diagram XX). — Hydrogen plasma.

Diagramme représentant l'enthalpie/entropie (*i/s*) pour 1 kg de plasma d'hydrogène en équilibre thermique jusqu'à 15000 °C entre 10⁻⁴ et 100 bar.

Etabli par K. F. Knoche et P. Wüst à l'Institut de thermodynamique aérospatiale de l'Université technique de Stuttgart sous la direction de F. Bošnjaković.

Enthalpie	<i>i</i> en kJ/kg
Entropie	<i>s</i> en kJ/kg K
Température	<i>T</i> en °C
Pression	<i>p</i> en bar
Masse volumique	en kg/m ³
Vitesse iso-entropique du son	<i>w_s</i> en m/s

Diagramme par F. Bošnjaković, *op. cit.*

Enthalpy/entropy (*i/s*) diagram for 1 kg of a hydrogen plasma in thermal equilibrium up to 15 000 °C between 10⁻⁴ and 100 bar.

Plotted by K. F. Knoche and P. Wüst at the Aerospace Thermodynamics Institute of the Technical University of Stuttgart under the direction of F. Bošnjaković.

Enthalpy	<i>i</i> in kJ/kg
Entropy	<i>s</i> in kJ/kg K
Temperature	<i>T</i> in °C
Pressure	<i>p</i> in bar
Density	in kg/m ³
Iso-entropic sound velocity	<i>w_s</i> in m/s

Diagram by F. Bošnjaković, *op. cit.*

— Page blanche —

— Blank page —

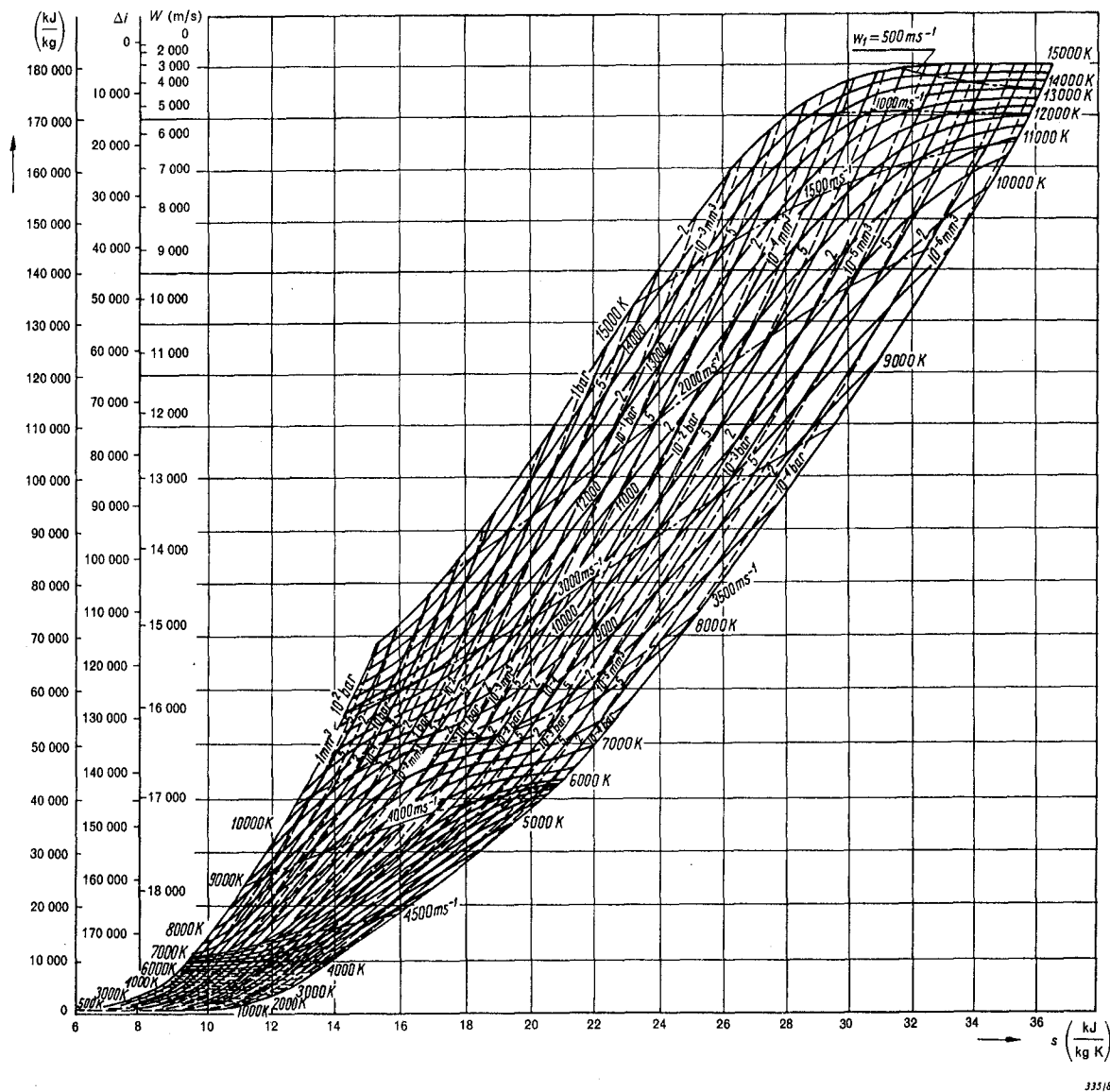


FIG. 3. (diagramme XXI). — Plasma d'azote.
 (Diagram XXI). — Nitrogen plasma.

ICS 25.180.10
