

107

# NORME INTERNATIONALE 3882

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION • МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ • ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION

## Revêtements métalliques et autres revêtements non organiques — Vue d'ensemble sur les méthodes de mesurage de l'épaisseur

*Metallic and other non-organic coatings — Review of methods of measurement of thickness*

Première édition — 1976-11-15

CDU 669.058 : 531.717

Réf. n° : ISO 3882-1976 (F)

**Descripteurs** : revêtement, revêtement métallique, revêtement d'oxyde, mesurage de dimension, épaisseur.

## AVANT-PROPOS

L'ISO (Organisation Internationale de Normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (Comités Membres ISO). L'élaboration des Normes Internationales est confiée aux Comités Techniques ISO. Chaque Comité Membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du Comité Technique correspondant. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO, participent également aux travaux.

Les Projets de Normes Internationales adoptés par les Comités Techniques sont soumis aux Comités Membres pour approbation, avant leur acceptation comme Normes Internationales par le Conseil de l'ISO.

La Norme Internationale ISO 3882 a été établie par le Comité Technique ISO/TC 107, *Revêtements métalliques et autres revêtements non organiques*, et a été soumise aux Comités Membres en août 1975.

Elle a été approuvée par les Comités Membres des pays suivants :

Afrique du Sud, Rép. d'	Inde	Royaume-Uni
Allemagne	Irlande	Suède
Australie	Israël	Suisse
Autriche	Italie	Tchécoslovaquie
Brésil	Japon	Turquie
Bulgarie	Mexique	U.R.S.S.
Espagne	Nouvelle-Zélande	U.S.A.
France	Pologne	
Hongrie	Roumanie	

Aucun Comité Membre n'a désapprouvé le document.

# Revêtements métalliques et autres revêtements non organiques – Vue d'ensemble sur les méthodes de mesurage de l'épaisseur

## 1 OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

La présente Norme Internationale donne une vue d'ensemble sur les méthodes de mesurage de l'épaisseur de revêtements métalliques ou non organiques déposés sur des substrats métalliques ou non métalliques. Elle se limite aux essais qui ont déjà fait ou feront l'objet de Normes Internationales; elle ne traite pas de certains essais utilisés à des fins spéciales.

Les termes employés dans la présente Norme Internationale sont conformes à l'ISO 2064.

Les méthodes de mesurage de l'épaisseur peuvent se diviser en méthodes destructives et méthodes non destructives (voir tableau 1).

Les chapitres qui suivent donnent un résumé des diverses méthodes et leurs principes d'exécution, tandis que le tableau 2 permet de choisir la méthode qui convient le mieux à un but donné.

## 2 RÉFÉRENCES

ISO 1463, *Revêtements métalliques et couches d'oxyde – Mesurage de l'épaisseur – Méthode par coupe micrographique.*

ISO 2064, *Revêtements métalliques et autres revêtements non organiques – Définitions et conventions concernant le mesurage de l'épaisseur.*

ISO 2128, *Anodisation de l'aluminium et de ses alliages – Détermination de l'épaisseur des couches anodiques – Méthode non destructive, par microscope à coupe optique.*

ISO 2177, *Revêtements métalliques – Mesurage de l'épaisseur – Méthode coulométrique par dissolution anodique.*

ISO 2178, *Revêtements métalliques non magnétiques et émaux vitrifiés sur métal de base magnétique – Mesurage de l'épaisseur du revêtement – Méthode magnétique.*

ISO 2360, *Revêtements non conducteurs sur métal de base non magnétique – Mesurage de l'épaisseur – Méthode des courants de Foucault.*

ISO 2361, *Revêtements électrolytiques de nickel sur métal de base magnétique et non magnétique – Mesurage de l'épaisseur – Méthode magnétique.*

ISO 3497, *Revêtements métalliques – Mesurage de l'épaisseur – Méthodes par spectrométrie de rayons X.*

ISO 3543, *Revêtements métalliques et non métalliques – Mesurage de l'épaisseur – Méthode par rétrodiffusion des rayons bêta.*

ISO 3868, *Revêtements métalliques et autres revêtements non organiques – Mesurage de l'épaisseur – Méthode basée sur le principe de Fizeau d'interférométrie à faisceaux multiples.<sup>1)</sup>*

## 3 MÉTHODES NON DESTRUCTIVES

### 3.1 Méthodes magnétiques

Les méthodes de ce type mesurent soit l'attraction magnétique entre un aimant et le métal de base influencée par la présence du revêtement, soit la réluctance d'un flux magnétique traversant le revêtement et le métal de base.

La précision de la méthode est normalement meilleure que  $\pm 10\%$  ou  $\pm 0,7\ \mu\text{m}$ , la plus grande de ces valeurs étant retenue.

En pratique, ces méthodes sont limitées aux revêtements non magnétiques sur métal de base magnétique (voir ISO 2178) et aux dépôts électrolytiques de nickel sur métal de base magnétique ou non magnétique (voir ISO 2361).

### 3.2 Méthode des courants de Foucault

Cette méthode est fondée sur les différences de conductivité électrique entre le revêtement et le substrat. Elle sert principalement pour mesurer l'épaisseur des revêtements non conducteurs déposés sur des métaux et des métaux déposés sur des non-conducteurs. Cette méthode doit être utilisée avec le plus grand soin pour le mesurage de l'épaisseur des revêtements métalliques sur des métaux.

1) Actuellement au stade de projet.

L'ISO 2360 ne traite que du mesurage de l'épaisseur des revêtements non conducteurs, déposés sur des substrats non magnétiques.

La précision de mesurage est de  $\pm 10\%$  ou  $\pm 0,7\ \mu\text{m}$ , la plus grande de ces valeurs étant retenue.

### 3.3 Méthodes par spectrométrie de rayons X

Ces méthodes utilisent la spectrométrie d'émission et d'absorption des rayons X pour déterminer l'épaisseur de revêtements métalliques jusqu'à  $15\ \mu\text{m}$  environ. Cette limite dépend de la nature du revêtement et de l'appareillage utilisé.

Lorsque les rayons X viennent frapper une zone donnée de la surface revêtue, on mesure l'intensité du rayonnement secondaire émis par le revêtement, ou émis par le substrat et atténué par le revêtement. Une corrélation existe entre l'intensité des rayons X et l'épaisseur du revêtement.

La méthode est applicable à tous les systèmes, mais sa précision diminue dans les cas suivants :

- a) lorsque des éléments du revêtement sont présents dans le substrat et vice versa;
- b) lorsque plus de deux revêtements sont déposés les uns sur les autres;
- c) lorsque la composition chimique du revêtement varie fortement.

Des instruments capables de mesurer des épaisseurs de revêtement avec une précision de  $\pm 10\%$  sont disponibles dans le commerce.

Épaisseur minimale mesurable : en général, quelques centièmes de micromètre (voir ISO 3497).

### 3.4 Méthode par rétrodiffusion des rayons bêta

L'appareil utilise un isotope radioactif émettant des rayons bêta et un détecteur servant à mesurer l'intensité du rayonnement bêta rétrodiffusé par l'éprouvette. Certains rayons bêta pénétrant dans le métal entrent en collision avec les atomes de ce métal et sont réfléchis vers la source. L'intensité de ces rayons bêta rétrodiffusés est fonction de l'épaisseur du revêtement et le mesurage est possible si le nombre atomique du métal de revêtement est suffisamment différent de celui du métal de base.

La méthode peut servir à mesurer les revêtements minces ou épais indifféremment, l'épaisseur maximale étant fonction du nombre atomique du revêtement. En principe, les revêtements à nombre atomique élevé, tels que l'or, peuvent être mesurés jusqu'à une épaisseur de  $50\ \mu\text{m}$ ; les revêtements à nombre atomique faible, tels que le cuivre et le nickel, peuvent être mesurés jusqu'à une épaisseur de  $300\ \mu\text{m}$  environ.

La précision de la méthode est normalement meilleure que  $\pm 10\%$ , pour une large gamme d'épaisseurs (voir ISO 3543).

### 3.5 Méthode par mesurage au microscope à coupe optique

Un faisceau de lumière monochromatique, qui a traversé l'objectif d'un microscope est envoyé sur la surface de l'échantillon, généralement sous un angle de  $45^\circ$  par rapport à la normale. Le faisceau est réfléchi par la surface et une ligne peut être observée à l'aide d'un autre objectif. Les rayons lumineux sont déviés pour une partie, celle-ci étant fonction de la rugosité de la surface. Pour mesurer l'épaisseur du revêtement, une petite surface de celui-ci doit être enlevée sauf dans le cas de revêtements transparents. Le décrochement entre la surface du revêtement et celle du métal de base produit un décalage du faisceau réfléchi. La différence entre les rayons réfléchis est une mesure absolue de l'épaisseur du revêtement.

Pour les revêtements transparents, tels que les couches d'oxydation anodique, cette méthode est non destructive (voir ISO 2128).

Cette méthode est applicable aux revêtements d'épaisseur supérieure ou égale à  $5\ \mu\text{m}$ .

## 4 MÉTHODES DESTRUCTIVES

### 4.1 Méthodes par dissolution

#### 4.1.1 Méthode gravimétrique (dissolution et pesée)

La masse du revêtement est déterminée par pesée de l'éprouvette avant et après dissolution du revêtement sans attaque du substrat, ou par pesée du revêtement après dissolution du substrat sans attaque du revêtement.

Le quotient de la masse du revêtement par le produit de la masse volumique et de la surface du revêtement donne l'épaisseur moyenne du revêtement.

La précision de la méthode gravimétrique est normalement meilleure que  $5\%$ , pour une large gamme d'épaisseurs.

#### 4.1.2 Méthode analytique

La masse du revêtement est déterminée par dissolution du revêtement, avec ou sans dissolution du métal de base, et dosage de la quantité de métal de revêtement par analyse chimique.

Le quotient de la masse du revêtement par le produit de la masse volumique et de la surface du revêtement donne l'épaisseur moyenne du revêtement.

La précision de ces méthodes est normalement meilleure que  $5\%$ , pour une large gamme d'épaisseurs.

La méthode ne peut pas être utilisée avec précision si le même métal se trouve à la fois dans le revêtement et dans le métal de base.

#### 4.1.3 Méthode coulométrique

L'épaisseur de revêtement peut être déterminée par mesurage de la quantité d'électricité nécessaire pour dissoudre le revêtement sur une surface mesurée avec précision, la pièce étant utilisée comme anode dans un électrolyte approprié et dans des conditions convenables.

La variation de potentiel observée au moment où le métal sous-jacent est découvert sert de repère du point final de la dissolution.

La précision de la méthode est normalement meilleure que  $\pm 10\%$ , pour la gamme des épaisseurs comprises entre 0,2 et 50  $\mu\text{m}$  (voir ISO 2177).

#### 4.2 Méthode par coupe micrographique

L'examen au microscope permet de mesurer l'épaisseur du revêtement par grossissement de sa section transversale.

La précision de la méthode est normalement meilleure que  $\pm 10\%$ , avec une erreur minimale de  $\pm 0,8\ \mu\text{m}$  (voir ISO 1463).

#### 4.3 Méthode profilométrique (par palpeur)

On crée un gradin entre la surface du revêtement et celle du métal de base par masquage au cours du dépôt ou en dissolvant une petite surface du revêtement sans attaquer son substrat. Un palpeur est déplacé en travers de ce gradin, dont la hauteur est déterminée par mesurage électronique et enregistrement du déplacement du palpeur.

La précision de la méthode est normalement meilleure que  $\pm 10\%$ , pour une large gamme d'épaisseurs.

Des épaisseurs de l'ordre de quelques centièmes de micromètre peuvent être déterminées selon cette méthode.

#### 4.4 Méthode par mesurage au microscope interférométrique

On observe au microscope les franges d'interférence formées par un faisceau de lumière monochromatique tombant sur un gradin du revêtement. Ce gradin est obtenu

par masquage d'une surface du métal de base avant dépôt ou par masquage du revêtement avant dissolution de la partie de revêtement non protégée.

Un gradin à la surface de l'éprouvette provoque un déplacement du diagramme des franges d'interférence. Le déplacement d'un intervalle entier de frange est équivalent au déplacement d'une demi-longueur d'onde de la lumière monochromatique. Le nombre entier ou fractionnaire d'intervalles de franges occupés par le décalage des franges est déterminé à l'aide d'un micromètre à oculaire.

Pour la description de la méthode interférométrique à faisceaux multiples, voir ISO 3868.

La précision de la méthode à faisceaux multiples est normalement meilleure que 0,1  $\mu\text{m}$ .

TABLEAU 1 — Liste des méthodes de mesurage de l'épaisseur d'un revêtement

Méthodes non destructives	Méthodes destructives
Magnétiques (ISO 2178 et ISO 2361)	Méthodes par dissolution :
Courants de Foucault (ISO 2360)	— gravimétrique (dissolution chimique)
Spectrométrie de rayons X (ISO 3497)	— dosage analytique du métal dissous
Rétrodiffusion des rayons bêta (ISO 3543)	— méthode coulométrique (ISO 2177)
Microscope à coupe optique <sup>1)</sup> (ISO 2128)	Coupe micrographique (ISO 1463)
	Méthode profilométrique <sup>2)</sup>
	Méthodes au microscope interférométrique <sup>2)</sup> (ISO 3868)

1) Peut être destructive dans certains cas d'application.

2) Peut également être non destructive.

TABLEAU 2 — Applicabilité des diverses méthodes de mesure de l'épaisseur d'un revêtement (tableau établi compte tenu de la pratique courante en 1973)

Revêtements Substrats	Cuivre	Nickel	Chrome	Nickel chimique	Zinc	Cadmium	Or	Palladium	Rhodium	Argent	Étain	Plomb	Alliages étain-plomb	Oxydes anodiques	Non métalliques	Émaux vitrifiés
Aciers magnétiques (y compris aciers résistant à la corrosion)	CM	CM <sup>1)</sup>	CM	C <sup>2)</sup> M <sup>1)</sup>	BCM	BCM	BM	BM	BM	BCM	BCM	BCM	B <sup>3)</sup> C <sup>3)</sup> M	—	BM	M
Aciers inoxydables non magnétiques	CE <sup>4)</sup>	CM <sup>1)</sup>	C	BC <sup>2)</sup>	BC	BC	B	B	B	BCE <sup>4)</sup>	BC	BC	B <sup>3)</sup> C <sup>3)</sup>	—	BE	E
Cuivre et alliages	C seulement sur laiton et Cu-Be	CE <sup>1)</sup>	C	C <sup>2)</sup>	C	BC	B	B	B	BC	BC	BC	B <sup>3)</sup> C <sup>3)</sup>	—	BE	E
Zinc et alliages	C	M <sup>1)</sup>	—	—	—	B	B	B	B	B	B	B	B <sup>3)</sup>	—	BE	—
Aluminium et alliages	BC	BCM <sup>1)</sup>	BC	BC <sup>2)</sup> E <sup>1)2)</sup>	BC	BC	B	B	B	BC	BC	BC	B <sup>3)</sup> C <sup>3)</sup>	E	E	E
Magnésium et alliages	B	BM <sup>1)</sup>	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B <sup>3)</sup>	—	E	—
Nickel	C	—	C	—	C	BC	B	B	B	BC	BC	BC	B <sup>3)</sup> C <sup>3)</sup>	—	BE	—
Argent	B	BM <sup>1)</sup>	B	B	B	—	B	—	—	—	—	—	B <sup>3)</sup>	—	BE	E
Alliages de nickel-cobalt-fer	M	CM <sup>1)</sup>	M	C <sup>2)</sup> M <sup>1)</sup>	BM	BM	BM	BM	BM	BM	BM	BCM	B <sup>3)</sup> C <sup>3)</sup> M	—	BM	—
Non métalliques	BCE <sup>4)</sup>	BCM <sup>1)</sup>	BC	BC <sup>2)</sup>	BC	BC	B	B	B	BC	BC	BC	B <sup>3)</sup> C <sup>3)</sup>	—	—	—
Titane	B	BM <sup>1)</sup>	—	BE <sup>1)2)</sup>	B	B	B	B	B	B	B	B	B <sup>3)</sup>	—	BE	—

B = rétrodiffusion des rayons bêta

C = coulométrique

E = courants de Foucault

M = magnétique ou électromagnétique

- 1) Méthode sensible aux variations de perméabilité du revêtement.
- 2) Méthode sensible aux variations de la teneur en phosphore du revêtement.
- 3) Méthode sensible à la composition de l'alliage.
- 4) Méthode sensible aux variations de la conductivité du revêtement.

Ce tableau indique les méthodes d'essai le plus couramment utilisées pour mesurer les épaisseurs de revêtement. D'autres méthodes peuvent également être utilisées : coupe micrographique, spectrométrie de rayons X, profilométrie, interférométrie, coupe optique, gravimétrie et dosage; elles sont applicables à la plupart des combinaisons de revêtements et de substrats. Chacune de ces méthodes a ses limites, qui sont spécifiées dans les Normes Internationales correspondantes, normes nationales, notices d'emploi des appareils de mesure d'épaisseur, ouvrages sur l'électrodeposition, ainsi que dans la présente Norme Internationale.

**iTeh STANDARD PREVIEW**  
**(standards.iteh.ai)**

ISO 3882:1976

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c81fd7e3-a7b0-40b8-86a9-aa48ae4e0275/iso-3882-1976>