
**Corrosion des métaux et alliages —
Exigences pour les essais de corrosion
localisée et de fissuration assistée par
l'environnement sur les métaux et
alliages de fabrication additive**

*Corrosion of metals and alloys — Requirements for localised
corrosion and environmentally assisted cracking testing of additively
manufactured metals and alloys*

iTeh STA (standards.iteh.ai)

ISO 23669:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c6fcade4-3a4a-4eee-89f5-b12ffc78cb63/iso-23669-2022>



iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 23669:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c6fcade4-3a4a-4eee-89f5-b12ffc78cb63/iso-23669-2022>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO 2022

Tous droits réservés. Sauf prescription différente ou nécessité dans le contexte de sa mise en œuvre, 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, ou la diffusion sur l'internet ou sur un intranet, sans autorisation écrite préalable. Une autorisation peut être demandée à l'ISO à l'adresse ci-après ou au comité membre de l'ISO dans le pays du demandeur.

ISO copyright office
Case postale 401 • Ch. de Blandonnet 8
CH-1214 Vernier, Genève
Tél.: +41 22 749 01 11
E-mail: copyright@iso.org
Web: www.iso.org

Publié en Suisse

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
Introduction	v
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Caractérisation du matériau	2
5 Propriétés en traction	3
6 Essai de corrosion localisée	3
7 Essai de fissuration assistée par l'environnement	4
8 Rapport d'essai	5
Bibliographie	7

iTeh STANDARD PREVIEW
(standards.iteh.ai)

ISO 23669:2022

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/c6fcade4-3a4a-4eee-89f5-b12ffc78cb63/iso-23669-2022>

Avant-propos

L'ISO (Organisation internationale de normalisation) est une fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation (comités membres de l'ISO). L'élaboration des Normes internationales est en général confiée aux comités techniques de l'ISO. Chaque comité membre intéressé par une étude a le droit de faire partie du comité technique créé à cet effet. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'ISO participent également aux travaux. L'ISO collabore étroitement avec la Commission électrotechnique internationale (IEC) en ce qui concerne la normalisation électrotechnique.

Les procédures utilisées pour élaborer le présent document et celles destinées à sa mise à jour sont décrites dans les Directives ISO/IEC, Partie 1. Il convient, en particulier, de prendre note des différents critères d'approbation requis pour les différents types de documents ISO. Le présent document a été rédigé conformément aux règles de rédaction données dans les Directives ISO/IEC, Partie 2 (voir www.iso.org/directives).

L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et averti de leur existence. Les détails concernant les références aux droits de propriété intellectuelle ou autres droits analogues identifiés lors de l'élaboration du document sont indiqués dans l'Introduction et/ou dans la liste des déclarations de brevets reçues par l'ISO (voir www.iso.org/brevets).

Les appellations commerciales éventuellement mentionnées dans le présent document sont données pour information, par souci de commodité, à l'intention des utilisateurs et ne sauraient constituer un engagement.

Pour une explication de la nature volontaire des normes, la signification des termes et expressions spécifiques de l'ISO liés à l'évaluation de la conformité, ou pour toute information au sujet de l'adhésion de l'ISO aux principes de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) concernant les obstacles techniques au commerce (OTC), voir www.iso.org/avant-propos.

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 156, *Corrosion des métaux et alliages*.

Il convient que l'utilisateur adresse tout retour d'information ou toute question concernant le présent document à l'organisme national de normalisation de son pays. Une liste exhaustive desdits organismes se trouve à l'adresse www.iso.org/fr/members.html.

Introduction

La fabrication additive (FA) permet de générer de façon rapide et délocalisée des produits finis, souvent de formes complexes, sans recourir à un usinage important, avec l'objectif de réduire les coûts, la durée et les déchets. Dans le cas des métaux, les produits de FA peuvent être élaborés grâce à des procédés basés ou non sur la fusion de matière – cette dernière démarche est cependant plus rarement utilisée. Les méthodes de fabrication additive à base de fusion les plus employées sont la fusion sur lit de poudre, la fusion par projection de poudre et le dépôt de fil fondu, en fonction des dimensions, de la vitesse et de la complexité requises. La fusion sur lit de poudre tend à être utilisée pour des produits relativement petits de forme complexe, et implique d'étaler la poudre sur le lit de poudre et de la fondre à la forme requise au moyen d'un faisceau laser programmé (sous atmosphère inerte – par exemple d'argon ou d'azote) ou d'un faisceau d'électrons (sous vide). La couche de poudre suivante est uniformément répartie sur le lit de poudre, et le procédé est répété jusqu'à construire l'intégralité de la pièce. La fusion par projection de poudre consiste à projeter de la poudre à travers une buse sur la surface à construire, sous atmosphère inerte. Le faisceau crée un bain de fusion dans lequel la poudre est projetée, et les étapes sont répétées couche après couche jusqu'à obtenir la forme désirée. Avec la fusion par dépôt de fil, la matière est apportée sous forme de fil, mais la source d'énergie peut être un faisceau d'électrons, un faisceau laser ou un arc plasma, sous atmosphère inerte ou sous vide, selon le cas. Initialement, un seul cordon de matériau est déposé et la pièce est ensuite construite par passes successives d'apport de matériau. Les systèmes à dépôt de fil sont utilisés lorsque la construction de gros volumes est souhaitée.

Lors de l'utilisation des produits ainsi obtenus, il est important de bien prendre en compte leurs potentielles spécificités qui sont de potentielles difficultés, dont une microstructure non homogène avec gradients, la distribution microstructurale de la taille des grains/dendrites, la distribution des phases, la forte texture cristallographique, les ségrégations chimiques, l'existence de contraintes résiduelles, leur état de surface, la présence de fissures de retrait et de porosités, et les propriétés mécaniques anisotropes. Certaines de ces caractéristiques affectent la résistance à la corrosion et à la fissuration assistée par l'environnement (voir la référence^[1]), ainsi que la façon de l'évaluer. Généralement, des traitements thermiques sont appliqués après la fabrication afin d'homogénéiser le matériau. Ils permettent de réduire l'impact sur cette résistance dans certains cas. En outre, le degré selon lequel les facteurs cités ci-dessus affectent les propriétés dépend fortement du procédé de FA utilisé et des paramètres de procédé adoptés, ainsi que de l'expertise et de l'expérience de l'opérateur. La variabilité en qualité des produits finis devrait diminuer progressivement avec le gain en maturité de ces technologies.

Corrosion des métaux et alliages — Exigences pour les essais de corrosion localisée et de fissuration assistée par l'environnement sur les métaux et alliages de fabrication additive

1 Domaine d'application

Le présent document établit les exigences pour concevoir des essais et des éprouvettes et réaliser des essais afin d'évaluer la sensibilité des métaux et alliages de fabrication additive à la corrosion localisée et à la fissuration assistée par l'environnement en solutions aqueuses.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 6892-1, *Matériaux métalliques — Essai de traction — Partie 1: Méthode d'essai à température ambiante*

ISO 6892-2, *Matériaux métalliques — Essai de traction — Partie 2: Méthode d'essai à température élevée*

ISO 7539-1, *Corrosion des métaux et alliages — Essais de corrosion sous contrainte — Partie 1: Lignes directrices générales relatives aux méthodes d'essai*

ISO 7539-6, *Corrosion des métaux et alliages — Essais de corrosion sous contrainte — Partie 6: Préparation et utilisation des éprouvettes pré-fissurées pour essais sous charge constante ou sous déplacement constant*

ISO 8044, *Corrosion des métaux et alliages — Vocabulaire*

ISO 15158, *Corrosion des métaux et alliages — Méthode de mesure du potentiel de piqûre des aciers inoxydables par contrôle potentiodynamique en solution de chlorure de sodium*

ISO/ASTM 52900, *Fabrication additive — Principes généraux — Fondamentaux et vocabulaire*

ISO/ASTM 52921, *Terminologie normalisée pour la fabrication additive — Systèmes de coordonnées et méthodes d'essai*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de ISO 7539-1, ISO 7539-6, ISO 8044, ISO/ASTM 52900 ainsi que les suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <https://www.electropedia.org/>

3.1
fabrication additive
FA

procédé d'assemblage de matériaux pour fabriquer des pièces à partir des données d'un modèle 3D, en général couche après couche, à l'inverse des méthodologies d'élaboration soustractive ou de fabrication avec mise en forme

3.2
produit fini

produit ayant subi toutes les phases de la fabrication, conformément aux spécifications nominales

3.3
coupon

pièce obtenue d'après les mêmes spécifications nominales que le produit/composant, choisie pour avoir les mêmes caractéristiques et propriétés que le produit/composant, et prévue pour servir de base aux essais, soit directement, soit après usinage jusqu'à la configuration d'éprouvette désirée, telle que spécifiée dans la norme d'essai appropriée

4 Caractérisation du matériau

4.1 La caractérisation du matériau doit être effectuée sur un échantillon prélevé dans la pièce brute (coupon ou produit fini) après traitement post-fabrication – éventuel traitement thermique, usinage ou traitement de surface inclus – de telle manière que l'échantillon examiné soit représentatif du matériau appelé à être exposé à l'environnement et donc susceptible de subir une corrosion localisée ou une fissuration assistée par l'environnement. Il convient d'être particulièrement attentif à l'orientation de l'échantillon prélevé pour caractérisation vis-à-vis de l'orientation de fabrication initiale par FA, et son emplacement précis dans le volume de fabrication, conformément à l'ISO/ASTM 52921, doit être enregistré.

NOTE Des variations de la microstructure et des propriétés du matériau peuvent exister dans les pièces obtenues en FA. Elles proviennent des gradients de température qui peuvent se manifester tout au long de la fabrication – c'est le cas, par exemple, de la première couche fondue par rapport à la dernière, ou d'une section mince par rapport à une section épaisse. Les traitements thermiques post-fabrication susceptibles de produire une homogénéisation seulement incomplète introduisent une autre source de variabilité.

4.2 Avant de soumettre l'éprouvette à l'essai, la microstructure du matériau doit être caractérisée, conformément à la norme applicable au métal ou à l'alliage, le cas échéant, avec les informations suivantes: orientation de la microstructure par rapport à la direction de fabrication, taille des grains et tout indice d'hétérogénéité de leurs dimensions, phases présentes, présence de porosité ou d'autres défauts physiques, comme des fissures de retrait, en prêtant une attention particulière aux défauts et pores à proximité de la surface et débouchant en surface.

NOTE Les coupons construits dans les directions X/Y, conformément à l'ISO/ASTM 52921, peuvent présenter un niveau de porosité différent de ceux construits dans la direction Z.

4.3 Il convient de réaliser le mesurage de la distribution de la taille des porosités et de leur fraction volumique.

NOTE La distribution des tailles de porosités peut être obtenue via des techniques métallographiques, par exemple celles décrites dans l'ISO 4499-4.^[2] Une tomographie numérique à rayons X peut être utilisée pour obtenir une imagerie en 3D des pores et des grains infondus, et la fraction volumique peut être estimée par des méthodes comme celle d'Archimède (voir la Référence^[3]).

4.4 Les contraintes résiduelles proches de la surface doivent être déterminées, par exemple par diffraction aux rayons X^[4] dans différentes orientations par rapport à la direction initiale de fabrication, avant d'entreprendre le moindre programme d'essais de fissuration assistée par l'environnement et être comparées aux mesures réalisées sur le produit fini, lorsque ces données sont disponibles. Les mesurages doivent être effectués sur une éprouvette représentative de l'état final du matériau.

NOTE Alors qu'un traitement de recuit de mise en solution à haute température tend à réduire efficacement les contraintes résiduelles lorsqu'il est appliqué, les traitements thermiques effectués à plus faibles températures peuvent ne pas être complètement efficaces et former des phases néfastes. Bien que les traitements thermiques à basse température réduisent les contraintes résiduelles, ils peuvent ne pas permettre de régénérer la microstructure brute de fabrication et autoriser le maintien d'une microstructure brute et affectée par des ségrégations de composition chimique.

4.5 La rugosité de surface de l'éprouvette doit être caractérisée (par exemple par profilométrie ou au moyen d'une cartographie 3D par microscopie confocale), puis comparée à celle de la pièce finie. L'éprouvette doit avoir subi à l'identique tous les usinages et traitements de surface post-fabrication du produit fini.

5 Propriétés en traction

5.1 Avant tout essai de fissuration assistée par l'environnement, la réponse de l'alliage en contrainte-déformation doit être déterminée selon l'ISO 6892-1 ou l'ISO 6892-2; la limite conventionnelle d'élasticité, la limite à rupture et l'allongement à la rupture doivent être quantifiés. Les essais doivent être réalisés en choisissant une orientation de la microstructure par rapport à l'axe de la contrainte cohérente avec celle adoptée pour les essais de fissuration assistée par l'environnement.

NOTE 1 Les éprouvettes pour essai de traction peuvent être préparées directement par fabrication additive ou par usinage et meulage (conformément à la norme d'essai de traction adoptée) de coupons obtenus par fabrication additive (voir aussi 4.2).

NOTE 2 Des contraintes résiduelles peuvent exister dans le coupon. Leur niveau dépend des paramètres du procédé et du traitement post-fabrication, qui peut inclure un traitement de détensionnement, un recuit complet de mise en solution et des traitements de vieillissement.

NOTE 3 Les macro-contraintes résiduelles de traction et de compression sont équilibrées dans l'éprouvette et ne peuvent pas modifier les propriétés mécaniques moyennes; par contre, une déformation plastique localisée dans le matériau peut produire une réponse saccadée sur la courbe contrainte-déformation.

6 Essai de corrosion localisée

6.1 Pour les alliages sensibles à la corrosion, comme les aciers inoxydables austénitiques, il convient de réaliser une évaluation préliminaire de la sensibilisation induite par l'appauvrissement en éléments d'alliage lors de la fabrication au moyen de méthodes normalisées, comme l'essai de réactivation électrochimique potentiocinétique par la méthode de la double boucle (voir l'ISO 12732^[5]), ou par des méthodes reposant sur la perte de masse, comme dans l'ISO 3651-1^[6].

6.2 Il convient que les essais de sensibilisation soient effectués sur un matériau ayant subi une préparation de surface identique à celle appliquée au produit fini. Cependant, afin d'examiner les variations de comportement entre le cœur de la pièce et sa surface, il convient de réaliser d'autres essais sur un état de surface obtenu par meulage, compatible avec les spécifications de la norme d'essai adoptée.

6.3 Les essais de corrosion par piqûres, comme le mesurage de la température critique de piqûration, TCP (voir par exemple l'ISO 17864^[7]) ou de détermination du potentiel de piqûration par polarisation potentiodynamique (voir par exemple l'ISO 15158) doivent être réalisés sur un état de surface reproduisant celui du produit fini, car la corrosion localisée est très sensible à l'état de surface, notamment à la présence de défauts physiques et d'oxydes de surface.

NOTE 1 Il est courant dans les essais de résistance à la piqûration d'utiliser un état de surface bien défini, souvent obtenu par polissage fin ou poli miroir, afin d'obtenir des résultats répétables et reproductibles. Toutefois, de tels essais ne permettent qu'un classement de la sensibilité des matériaux et pas forcément une bonne estimation de la probabilité de piqûration lors de l'utilisation en service. Ils peuvent aussi exagérer l'influence de certaines caractéristiques de la composition chimique locale de l'alliage sur la piqûration, comme les inclusions de sulfure de manganèse MnS dans l'acier inoxydable, alors qu'en service, les défauts physiques de surface ou les oxydes spécifiques formés en cours de procédé peuvent avoir un impact plus important. Cela peut être encore plus déterminant pour les alliages obtenus en FA pour lesquels la préparation de surface n'est pas forcément toujours mise en œuvre, voire réalisable, dans tous les cas.

NOTE 2 Le premier stade de l'évaluation des métaux et alliages produits en FA devrait se faire en utilisant les mêmes conditions que pour les alliages conventionnels.

6.4 Lors de la réalisation d'essais de piqûration, l'exactitude des paramètres mesurés doit être obtenue par la répétition des essais, comme indiqué dans l'ISO 15158, le nombre d'essais dépendant de la taille de l'éprouvette (voir par exemple la Référence [8]).

NOTE En raison de la distribution des tailles de porosités et de celle des autres défauts possibles dans les matériaux de FA, il se peut que la dispersion statistique des résultats d'essai soit supérieure à celle des alliages corroyés. Dans ce cas, la détermination de paramètres, tels que le potentiel de piqûration ou la TCP, peut réclamer plus d'essais que le nombre spécifié, ou l'emploi d'éprouvettes de surface plus importante.

6.5 Les essais doivent être réalisés sur des surfaces orientées selon les différents axes Z et X/Y (conformément à l'ISO/ASTM 52921), car l'importance de la piqûration dans certains alliages peut dépendre de l'orientation de la microstructure. Pour les essais menés parallèlement à la direction de fabrication, il convient qu'ils soient principalement réalisés avec le matériau exposé dans le plan de la direction de fabrication (plan XY) qui est le plus proche de la surface exposée en service, bien qu'il soit recommandé que des essais dans le plan ZY soient aussi effectués.

6.6 Les essais de corrosion cavernieuse doivent être effectués avec la même finition de surface que la pièce finie et selon la norme d'essai appropriée, telle que l'ISO 18089[9].

NOTE La corrosion cavernieuse est sensible à nombre des facteurs qui influencent aussi la corrosion par piqûres, avec la particularité que la rugosité superficielle influe significativement sur l'ouverture effective de la crevasse dans la plupart des méthodes d'essai.

7 Essai de fissuration assistée par l'environnement

7.1 Il convient que le type et la méthode de préparation des éprouvettes à partir de coupons de FA reflètent l'objectif principal de l'essai, soit la détermination de la résistance à l'amorçage de la fissuration ou à la propagation de fissuration.

7.2 Pour évaluer la résistance à l'amorçage de la fissuration et pour mener des essais d'acceptation/rejet, la méthodologie choisie doit employer des éprouvettes qui conservent la surface originelle du produit fini.

NOTE 1 Les normes d'essai permettant une configuration d'essai avec une face de l'éprouvette conservant l'état de surface originel sont celles des essais de flexion (voir par exemple l'ISO 16540[10]) et celles utilisant des éprouvettes haltères plates (voir par exemple l'ISO 7539-4[11]).

NOTE 2 Des essais sur des éprouvettes d'alliages de FA préparées selon une finition définie peuvent être entrepris à des fins de comparaison au large corpus de données sur les alliages de fabrication conventionnelle. Les éprouvettes polies ont traditionnellement servi de base de qualification pour de nombreuses applications, bien que cette finition ne soit souvent pas celle du matériau exposé en service. Néanmoins, il existe un large historique d'utilisation permettant d'évaluer leur performance, mais celui-ci n'existe pas pour les alliages de FA. En outre, les contraintes résiduelles présentes après réalisation des éprouvettes diffèrent significativement de celles de la pièce brute de fabrication et peuvent fausser les résultats.