



**Norme
internationale**

ISO/ASTM 52943-2

**Fabrication additive pour
l'aérospatiale — Caractéristiques et
performances du procédé —**

**Partie 2:
Dépôt de matière sous énergie
concentrée utilisant du fil et un arc**

*Additive manufacturing for aerospace — Process characteristics
and performance —*

Part 2: Directed energy deposition using wire and arc

**Première édition
2024-04**

iTeh Standards
(<https://standards.iteh.ai>)
Document Preview

[ISO/ASTM 52943-2:2024](https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/38a46ffa-5478-4d55-bcf7-2a449a17dbdd/iso-astm-52943-2-2024)

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/38a46ffa-5478-4d55-bcf7-2a449a17dbdd/iso-astm-52943-2-2024>



DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT

© ISO/ASTM International 2024

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 un intranet, sans autorisation écrite soit de l'ISO à l'adresse ci-après, soit d'un organisme membre de l'ISO dans le pays du demandeur. Aux États-Unis, les demandes doivent être adressées à ASTM International.

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

ASTM International
100 Barr Harbor Drive, PO Box C700
West Conshohocken, PA 19428-2959, USA
Tél.: +610 832 9634
Fax: +610 832 9635
E-mail: khooper@astm.org
Web: www.astm.org

Sommaire

Page

Avant-propos	iv
1 Domaine d'application	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Exigences relatives aux matières premières	3
5 Qualification de l'opérateur de la machine	3
6 Qualification de la machine DED	4
6.1 Qualification des machines	4
6.2 Requalification des machines	4
7 Exigences relatives à la plateforme/substrat de fabrication	5
8 Exigences relatives à l'environnement	5
8.1 Généralités	5
8.2 Environnement de l'installation	5
8.3 Environnement du procédé	6
9 Qualification du mode opératoire	6
9.1 Généralités	6
9.2 APS	6
9.3 Requalification du mode opératoire	9
10 Documents techniques	9
11 Documents de production	10
12 Suivi du procédé	10
13 Essais de réception du produit	10
14 Documentation relative à la fabrication et à la traçabilité	11
15 Documentation de livraison	11
Annexe A (informative) Certificat d'examen d'opérateur pour les machines de fabrication additive par application de matériau avec dépôt de matière sous énergie concentrée	12
Bibliographie	14

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'ISO attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'ISO ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'ISO n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse www.iso.org/brevets. L'ISO ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié tout ou partie de tels droits de propriété.

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 261, *Fabrication additive*, en coopération avec l'ASTM Comité F42, *Technologies de fabrication additive*, dans le cadre d'un accord de partenariat entre l'ISO et ASTM International dans le but de créer un ensemble commun de normes ISO/ASTM sur la fabrication additive, ainsi qu'en collaboration avec le comité technique CEN/TC 438, *Fabrication additive*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

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.

Fabrication additive pour l'aérospatiale — Caractéristiques et performances du procédé —

Partie 2: Dépôt de matière sous énergie concentrée utilisant du fil et un arc

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences relatives à la fabrication additive de pièces métalliques par dépôt de matière sous énergie concentrée (DED) dirigée dans l'industrie aérospatiale.

Dans le domaine d'application du présent document, le fil est utilisé comme matière première et les procédés à l'arc (procédé à l'arc avec électrode fusible sous protection gazeuse MIG/MAG/GMAW), procédés à l'arc sous protection de gaz inerte avec électrode de tungstène (TIG/GTAW), procédés par arc plasma (PAW)) sont utilisés comme principale source d'énergie.

Le présent document est à utiliser en conjonction avec les documents techniques, si exigé par le responsable des études techniques.

Le présent document ne traite pas les questions de sécurité et de santé.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils 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 14175, *Produits consommables pour le soudage — Gaz et mélanges gazeux pour le soudage par fusion et les techniques connexes*

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

ISO/ASTM 52926-5, *Fabrication additive des métaux — Principes de qualification — Partie 5: Qualification des opérateurs pour DED-Arc*

3 Termes et définitions

Pour l'application du présent document, les termes et définitions donnés dans l'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
spécification préliminaire du mode opératoire additif
pAPS pour *preliminary additive procedure specification*

document contenant les variables requises du procédé de fabrication additive qui nécessite d'être qualifié

Note 1 à l'article: Le pAPS contient des paramètres spécifiques au procédé et représentera une section du plan de fabrication.

3.2
spécification du mode opératoire additif
APS pour *additive procedure specification*

document qui a été qualifié et qui fournit les variables requises du procédé de fabrication additive pour assurer la répétabilité pendant la production

Note 1 à l'article: L'APS contient des paramètres spécifiques au procédé et représentera une section du plan de fabrication.

Note 2 à l'article: De plus amples informations sur la qualification des procédés se trouvent dans la série ISO 15614.

3.3
variable clé du procédé
KPV

aspects du procédé de fabrication qui peuvent avoir un impact sur la capacité à satisfaire aux exigences spécifiées qui incluent les propriétés physiques, chimiques, métallurgiques, mécaniques et dimensionnelles

[SOURCE: SAE AMS 7005:2019-01-31, 8.2.1]

3.4
responsable des études techniques

organisme qui a la responsabilité de l'intégrité structurale ou du maintien de la navigabilité du matériel et de la conformité à tous les documents applicables

[SOURCE: ISO 24394:2023, 3.8, modifiée — «design» a été retiré du terme et les Notes à l'article ont été supprimées.]

3.5
plateforme de fabrication

base qui offre une surface sur laquelle la fabrication de la ou des pièce(s) est lancée et supportée tout au long du procédé de fabrication

[SOURCE: ISO/ASTM 52900:2021, 3.3.5]

3.6
substrat

métal de base utilisé pour initier le dépôt de matériau qui peut rester une portion de la préforme

[SOURCE: SAE AMS 7005:2019-01-31, 8.2.1, modifiée – «may» a été remplacé par «can» en anglais. Note 1 à l'article ajoutée]

Note 1 à l'article: Un substrat peut faire partie intégrante de la pièce finale tandis qu'une plateforme de fabrication sera retirée de la pièce finale.

3.7
point d'exploitation

emplacement où le procédé est réalisé, par exemple, torche ou buse à gaz, buse de protection, chambre à gaz (si utilisée)

4 Exigences relatives aux matières premières

Les propriétés de la matière première à utiliser doivent être spécifiées. Afin de garantir une qualité de livraison constante, l'ISO 544, l'ISO 15792 (toutes les parties) et l'ISO 14344 peuvent être utilisées. Les propriétés typiques comprennent:

- le diamètre de la matière première;
- la composition chimique;
- l'état de surface;
- les conditions de stockage;
- la traçabilité (par exemple, lot unique de coulée, lot).

5 Qualification de l'opérateur de la machine

La qualification de l'opérateur de la machine doit être effectuée conformément à l'ISO/ASTM 52926-5 et l'examen doit être passé tous les 2 ans afin d'assurer la certification au procédé. Une autre qualification de l'opérateur de la machine peut être effectuée, si elle est approuvée par le responsable des études techniques. De tels exemples sont inclus dans la SAE AMS 7005:2019, 4.8 et l'Annexe C, ainsi que l'ISO 24394 mais avec des adaptations au procédé DED spécifique et au type d'interface utilisateur de la machine DED.

NOTE Les procédés DED entrant dans le domaine d'application du présent document partagent un grand nombre de caractéristiques essentielles avec les procédés de soudage établis tels que MIG/MAG (GMAW), TIG (GTAW) et plasma (PAW) ainsi que les variantes mixtes. L'interface utilisateur est normalisée ou spécifique au fabricant.

Des examens pratiques et théoriques sont requis. Pour l'examen pratique, l'opérateur de machine configure la machine pour le procédé et la prépare pour le produit à fabriquer. Cela se fait sur la base d'une APS et d'un programme spécifique au produit préparé, ainsi que de spécifications internes.

La configuration de la machine peut comprendre ce qui suit:

- le changement de fil;
- le changement de l'alimentation en gaz protecteur;
- le remplacement des pièces d'usure;
- le nettoyage de la machine;
- le chargement du programme de production;
- l'inspection de l'état général de la machine;
- la maintenance.

Le contenu de l'examen théorique doit être adapté au procédé DED et au type d'interface utilisateur de la machine DED. Les essais et l'évaluation relèvent de la responsabilité du coordonnateur en soudage ou en fabrication additive, de l'examineur ou de l'organisme d'examen et doivent être documentés. Pour l'examen théorique, les lignes directrices pour la partie théorique de l'examen de l'ISO 24394 peuvent être appliquées, le cas échéant. Un programme de formation défini par l'entreprise conformément à la SAE AMS 7005:2019, Article C.2, peut être utilisé s'il est approuvé par le responsable des études techniques.

Dans la partie pratique de l'examen, l'opérateur de la machine doit prouver sa capacité à faire fonctionner la machine DED conformément à une APS existante. Des pièces d'examen définies ou des pièces de production peuvent être utilisées pour les examens pratiques.

Un exemple de certificat pour l'examen d'un opérateur de machine se trouve dans l'[Annexe A](#).

6 Qualification de la machine DED

6.1 Qualification des machines

Chaque machine DED individuelle doit être qualifiée par un programme d'examens de qualification dans sa plage de travail (voir l'ISO 17662 ou SAE AMS 7032 pour information), tel que spécifié par l'utilisateur de la machine et approuvé par le responsable des études techniques.

Le programme d'examen de qualification de la machine doit inclure les principales activités d'étalonnage/vérification, le dépôt d'éprouvettes d'essai et le plan de maintenance établi.

Dans le domaine d'application du présent document, une machine DED peut être constituée des éléments suivants. Selon le type de machine, les éléments suivants peuvent être vérifiés, le cas échéant:

- la source d'alimentation (voir IEC 60974-14);
- les axes mobiles (voir l'ISO 14744-4, l'ISO 14744-5 et l'ISO 15616-2 pour des lignes directrices générales, bien que l'application soit formellement limitée au soudage par faisceau, ou pour les robots industriels, voir ISO 9283);
- la vitesse de dévidage du fil selon le diamètre du fil et de la matière première;
- le dressage du fil;
- l'alignement du fil au point d'alimentation du bain de fusion;
- l'environnement de la machine;
- l'enceinte de la machine ou de la zone de travail, si nécessaire;
- la commande de la machine;
- les systèmes de commande (par exemple, la température, la taille du bain de fusion, la hauteur de procédure);
- les gaz de procédé;
- le système à fil chaud;
- le système de traitement thermique pour le substrat/la plateforme de fabrication (le cas échéant);
- la fabrication appropriée d'échantillons d'essai pour évaluer la fonctionnalité de la machine;
- version(s) du logiciel de la machine et des équipements auxiliaires;
- le plan de maintenance et le calendrier de maintenance sont à jour;
- le plan d'étalonnage et le calendrier d'étalonnage sont à jour;
- les dispositifs de sécurité pour le bon fonctionnement;
- l'arrangement du sol pour assurer un espacement adéquat avec les autres équipements et l'espace nécessaire pour effectuer la maintenance.

Les résultats des examens de qualification doivent être documentés.

6.2 Requalification des machines

Les examens de qualification pertinents doivent être répétés dans les cas suivants:

- les conditions de fonctionnement ont considérablement changé;
- les modifications de la machine pouvant impacter les variables clés du procédé (KPVs);

- la détérioration du procédé;
- la réparation ou le remplacement des pièces essentielles;
- le déplacement de la machine.

Pour s'assurer qu'en cas de détérioration du procédé DED tel qu'identifié par une baisse de performance de l'équipement ou de la qualité des pièces, il doit y avoir un mode opératoire documenté qui contrôle le suivi et la résolution.

Les parties principales de la machine sont, entre autres, les suivants

- la source d'alimentation,
- le type de torche,
- le système de commande de mouvement, et
- le système à fil chaud.

7 Exigences relatives à la plateforme/substrat de fabrication

La plateforme de fabrication est soumise aux exigences suivantes:

- le matériau de plateforme/substrat approprié doit être spécifié;
- elle doit être définie géométriquement et il convient qu'elle soit positionnée de manière à ce que le substrat ne constitue pas un risque de collision pendant la fabrication qui empêcherait le dépôt de la géométrie exigée;
- la surface doit être exempte de graisse ou d'autres impuretés ayant une influence négative sur le procédé DED et la qualité du produit;
- l'effort de serrage et les positions exigées sont définis.

Les exigences énumérées ici s'appliquent également aux additions de fils et d'arcs aux pièces existantes.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iso/38a46ffa-5478-4d55-bcf7-2a449a17dbdd/iso-astm-52943-2-2024>

8 Exigences relatives à l'environnement

8.1 Généralités

Une installation et un plan de contrôle de l'environnement du procédé doivent être établis avant la production. Les matériaux ayant une haute affinité pour l'absorption des gaz atmosphériques doivent être protégés pendant le procédé par l'utilisation de gaz inertes conformément à l'ISO 14175. À cette fin, des équipements auxiliaires (par exemple, des buses de trainée ou des chambres à gaz de protection) peuvent être utilisés.

8.2 Environnement de l'installation

Ce qui suit doit être abordé dans le plan de contrôle de l'environnement de l'installation:

- la maintenance et le stockage de la matière première;
- la maintenance et le stockage de la plateforme de fabrication;
- les gaz de procédé (par exemple, gaz de protection, gaz de chambre, gaz plasmagène) et l'équipement auxiliaire (par exemple, les buses de trainée ou les chambres à gaz de protection), le cas échéant;
- les routines de nettoyage;
- la distribution de gaz;

- contrôle de la température/de l'humidité;
- les fumées de traitement (système de filtration).

Pour plus d'informations concernant ces aspects, voir ISO/ASTM 52920.

8.3 Environnement du procédé

Ce qui suit doit être abordé dans le plan de contrôle de l'environnement du procédé:

- la contamination, l'humidité, le niveau d'oxygène ou les courants d'air;
- l'emplacement de la matière première (évitement de contamination croisée);
- les gaz de procédé (par exemple, gaz de protection, gaz de chambre, gaz plasmagène);
- les fumées de procédé (ventilation par extraction locale).

Pour plus d'informations concernant ces aspects, voir ISO/ASTM 52920.

9 Qualification du mode opératoire

9.1 Généralités

La qualification du mode opératoire est exigée avant le début de la production. À cette fin, un plan de qualification du mode opératoire doit être préparé sur la base des exigences fournies par le responsable des études techniques.

Ce qui suit peut être abordé dans un plan de qualification du mode opératoire:

- la configuration de l'éprouvette;
- le nombre d'éprouvettes/de fabrications;
- la variation des variables clés du procédé pour établir une tolérance;
- les interruptions de procédé;
- les essais non destructifs (par exemple, de surface, volumétriques);
- les essais destructifs (par exemple, microstructure, contamination, composition);
- les essais sur les propriétés des matériaux (tels que requis par le Responsable des études techniques, par exemple, traction, dureté, fatigue, fluage).
- les essais de caractérisation de l'interface entre le matériau déposé et le substrat, si le produit final contient le substrat et le matériau déposé.

9.2 APS

Une APS est exigée pour chaque tâche de fabrication de production. L'APS doit inclure les informations essentielles applicables identifiées dans le [Tableau 1](#) que ce soit dans le cadre d'un programme ou d'une documentation.

NOTE La liste du [Tableau 1](#) n'est pas nécessairement exhaustive.

À cette fin, une spécification préliminaire du mode opératoire additif (pAPS) doit être préparée. Le fabricant doit s'assurer que les informations qu'elle contient répondent de manière reproductible aux exigences relatives aux pièces. Cela doit être démontré et documenté par des essais sur des éprouvettes et/ou des pièces de référence au moyen d'essais non destructifs et/ou destructifs déterminés par le responsable des études techniques. Si la qualification du mode opératoire est réussie, les données pAPS sont transférées à l'APS. Un mode opératoire documenté d'enregistrement de l'emplacement de chaque interruption du