

---

---

**Projection thermique — Projection et  
fusion d'alliages autofondants**

*Thermal spraying — Spraying and fusing of self-fluxing alloys*

iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 14920:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9b87262d-2a89-4bac-848e-451435efbe31/iso-14920-2023>



iTeh STANDARD PREVIEW  
(standards.iteh.ai)

ISO 14920:2023

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9b87262d-2a89-4bac-848e-451435efbe31/iso-14920-2023>



**DOCUMENT PROTÉGÉ PAR COPYRIGHT**

© ISO 2023

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](mailto:copyright@iso.org)  
Web: [www.iso.org](http://www.iso.org)

Publié en Suisse

## Sommaire

Page

Avant-propos .....	iv
<b>1</b> <b>Domaine d'application</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b> <b>Références normatives</b> .....	<b>1</b>
<b>3</b> <b>Termes et définitions</b> .....	<b>1</b>
<b>4</b> <b>Influence sur le substrat et la conception</b> .....	<b>1</b>
4.1    Substrat .....	1
4.2    Conception .....	2
<b>5</b> <b>Matériau de projection de l'alliage autofondant</b> .....	<b>2</b>
5.1    Choix .....	2
5.2    Composition .....	2
<b>6</b> <b>Préparation du composant</b> .....	<b>2</b>
6.1    Généralités .....	2
6.1.1    Propreté de la surface .....	2
6.1.2    Décapage des traitements de surface antérieurs .....	3
6.1.3    Exigences relatives au pré-usinage .....	3
6.1.4    Exigences relatives à la préparation de la surface .....	3
6.2    Méthodes de préparation de surface .....	3
6.2.1    Exigences relatives à la préparation de la surface .....	3
6.2.2    Inspection de la préparation de la surface .....	3
6.2.3    Masquage général de la préparation de la surface .....	3
6.2.4    Masquage à l'aide de tampons pour la préparation de la surface .....	4
6.3    Propreté .....	4
<b>7</b> <b>Procédé de projection et de fusion</b> .....	<b>4</b>
7.1    Projection avec fusion simultanée .....	4
7.1.1    Méthode .....	4
7.1.2    Dimension des particules et distribution granulométrique des poudres .....	4
7.1.3    Épaisseur du revêtement .....	4
7.2    Projection et fusion subséquente .....	4
7.2.1    Méthode .....	4
7.2.2    Dimension des particules et distribution granulométrique des poudres .....	5
7.2.3    Épaisseur du revêtement .....	5
7.3    Technique de projection — Méthode .....	5
7.3.1    Généralités .....	5
7.3.2    Préchauffage .....	5
7.3.3    Projection .....	5
7.3.4    Fusion de la couche .....	5
7.3.5    Refroidissement .....	6
<b>8</b> <b>Usinage final</b> .....	<b>6</b>
<b>9</b> <b>Essai de dureté</b> .....	<b>6</b>
9.1    Généralités .....	6
9.2    Essai de dureté normalisé .....	7
<b>Annexe A (informative) Valeurs de référence pour la dureté escomptée du revêtement obtenu par fusion</b> .....	<b>8</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>9</b>

## 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](http://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 brevet 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](http://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](http://www.iso.org/avant-propos).

Le présent document a été élaboré par le comité technique ISO/TC 107, *Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques*, en collaboration avec le comité technique CEN/TC 240, *Projection thermique et revêtements obtenus par projection thermique*, du Comité européen de normalisation (CEN) conformément à l'Accord de coopération technique entre l'ISO et le CEN (Accord de Vienne).

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition (ISO 14920:2015) qui a fait l'objet d'une révision technique.

Les principales modifications sont les suivantes:

- les matériaux qui peuvent et ne peuvent pas être utilisés pour la fusion ont été précisés;
- l'abrasif a été défini;
- les méthodes de projection et leur influence sur la qualité du revêtement ont été spécifiées.

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](http://www.iso.org/fr/members.html).

# Projection thermique — Projection et fusion d'alliages autofondants

## 1 Domaine d'application

Le présent document spécifie la méthode de projection thermique d'alliages autofondants qui sont fondus simultanément ou ultérieurement pour donner un revêtement homogène dont l'adhérence s'est opérée par diffusion.

## 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).

EN 13507, *Projection thermique — Traitement préalable de surface de pièces et composants métalliques pour projection thermique*

## 3 Termes et définitions

Aucun terme n'est défini dans le présent document.

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/>

## 4 Influence sur le substrat et la conception

### 4.1 Substrat

En raison du transfert de chaleur au substrat métallique lors de la fusion du revêtement, afin que le revêtement adhère au substrat par diffusion, les éventuels effets d'un tel échauffement sur le substrat métallique ci-après doivent être pris en compte:

- a) le calaminage;
- b) la nécessité d'une relaxation des contraintes;
- c) la transformation irréversible des propriétés mécaniques et/ou métallurgiques.

Les aciers martensitiques sont sensibles à la fissuration sous contrainte et les alliages contenant des quantités significatives de carbone, d'aluminium, de titane, de magnésium, de soufre, de sulfures, de phosphore et d'azote peuvent constituer une source de porosité pour le revêtement et rendre le substrat métallique susceptible de présenter des fissurations sous contrainte.

Lorsque des «alliages autofondants» sont utilisés pour la fusion, les matériaux de base à revêtir font l'objet de restrictions supplémentaires. Les aciers austénitiques (aussi bien les aciers amagnétiques que les aciers inoxydables et les aciers au chrome-nickel) peuvent être fondus sans aucune transformation

de leur structure pendant le frittage. Il convient que les autres métaux aient un point de fusion largement supérieur à 1 200 °C.

Les aciers ferritiques (magnétiques) ne peuvent être utilisés que s'ils ne sont pas des aciers fortement alliés pouvant être traités thermiquement. Il convient ainsi que les constituants d'alliage ne dépassent pas les valeurs limites supérieures. Les valeurs empiriques utilisées pour les valeurs limites supérieures des constituants d'alliage sont: C = 0,5 %; Cr = 5 %; Ni = 4 %; W = 3 %; Mo = 3 %.

## 4.2 Conception

Si un pré-usinage est effectué avant la projection et la fusion d'un revêtement, une réduction des dimensions de conception sera généralement observée. Une attention toute particulière doit être prêtée aux effets d'une telle réduction sur la charge à la rupture du composant, étant donné que le revêtement ne contribue pas à la résistance du composant. Une attention toute particulière doit être prêtée au fait que le revêtement obtenu par projection et fusion présentera des propriétés physiques différentes de celles du substrat.

La résistance à la fatigue, la résistance à la déformation ou d'autres propriétés du composant peuvent être affectées par l'application du revêtement.

Une déformation inacceptable du composant peut survenir en raison de l'apport de chaleur pendant la fusion. Des mesures visant à empêcher la distorsion ou la déformation peuvent être utilisées, telles que le fait de dresser ou d'accrocher les pièces le long de l'axe de leur centre de gravité ou l'utilisation de gabarits porteurs.

## 5 Matériau de projection de l'alliage autofondant

### 5.1 Choix

Les propriétés du revêtement sont déterminées par le choix du matériau de projection et par la méthode de projection et de fusion, par exemple:

- a) la dureté;
- b) la résistance à l'usure et/ou à la corrosion;
- c) l'usinabilité;
- d) l'adéquation à l'application prévue.

### 5.2 Composition

La composition chimique du matériau de projection et la structure du revêtement déterminent ses propriétés métallurgiques et technologiques ainsi que son usinabilité.

Pour les alliages du substrat, qui peuvent créer une structure martensitique, voir [7.3.5](#).

Le [Tableau A.1](#) contient des valeurs de référence concernant la dureté escomptée du revêtement obtenu par fusion.

## 6 Préparation du composant

### 6.1 Généralités

#### 6.1.1 Propreté de la surface

La surface de tous les composants à revêtir doit être exempte de matières de contamination telles que de l'huile, de la graisse, de la rouille ou autre poussière. Les composants poreux, pour lesquels l'huile et la

graisse contenues dans les pores peuvent exsuder lors du processus de préchauffage ou de revêtement, doivent faire l'objet d'une attention toute particulière.

### 6.1.2 Décapage des traitements de surface antérieurs

Pour maîtriser la qualité des pièces, il est possible d'effectuer un contrôle par ressuage avant la préparation de la surface, si des alliages sensibles à la fissuration sont utilisés. Il est important de s'assurer que toutes les traces de produit de ressuage sont éliminées avant de poursuivre le traitement.

### 6.1.3 Exigences relatives au pré-usinage

Tous les traitements de surface antérieurs (par exemple nitruration, traitement galvanique ou application d'autres revêtements protecteurs) doivent être décapés avant de préparer la surface à revêtir.

### 6.1.4 Exigences relatives à la préparation de la surface

S'il est prévu d'usiner la surface à revêtir et les surfaces adjacentes du composant, cette préparation doit alors être adaptée à la méthode de revêtement. Des recommandations de conceptions appropriées sont données dans l'ISO 12679.

Lorsque la limite de revêtement doit se situer à un point autre que l'extrémité ou le bord du composant, l'encastrement doit être usiné à un angle de 30° à 40° à chaque extrémité, tout en s'associant de manière homogène à la surface contiguë. Alternativement, s'il est possible de poursuivre l'application du revêtement autour d'un bord chanfreiné et/ou arrondi, le risque d'écaillage du revêtement sera réduit.

Lorsque la limite de revêtement doit se situer sur une arête vive, le composant doit être plus long que la dimension globale finie proposée et l'excès doit être éliminé après avoir achevé le processus de revêtement.

## 6.2 Méthodes de préparation de surface

### 6.2.1 Exigences relatives à la préparation de la surface

La préparation de la surface doit être effectuée conformément à l'EN 13507.

Il convient de traiter par impact d'abrasif la surface à revêtir au moyen d'un abrasif angulaire approprié conformément à l'ISO 11124-1 ou à l'ISO 11126-1.

Le choix de l'abrasif peut influencer la force d'adhérence du revêtement. La grenaille d'acier à arêtes vives ou la fonte sont les matériaux préférés pour le traitement par impact d'abrasif. Il est possible d'utiliser de la grenaille de céramique, mais lorsqu'elle est utilisée et que des inclusions de grenaille de céramique se forment dans la surface grenillée, des défauts de revêtement peuvent apparaître après la fusion. La céramique piégée peut « dégazer » aux températures de fusion, ce qui entraîne la création de pores dans le revêtement obtenu par fusion.

### 6.2.2 Inspection de la préparation de la surface

Le traitement par impact d'abrasif doit se limiter à la surface à revêtir. Les surfaces adjacentes doivent être masquées afin que les surfaces ne soient pas endommagées et revêtues ultérieurement. Le matériau de masquage doit résister au traitement par impact d'abrasif et ne doit pas contaminer la surface prête à être projetée.

### 6.2.3 Masquage général de la préparation de la surface

Le matériau de masquage, prévu pour éviter l'adhérence des particules de projection, doit résister au préchauffage, à l'impact des particules de projection et aux températures.

#### 6.2.4 Masquage à l'aide de tampons pour la préparation de la surface

Les trous de passage et autres orifices, qui ne doivent pas être traités par impact d'abrasif ni revêtus, doivent être obstrués. Pour ce faire, des tampons en acier ou en caoutchouc sont recommandés: ils doivent être façonnés et placés de sorte qu'ils ne masquent aucune partie de la surface à préparer. À l'issue du traitement par impact d'abrasif, les tampons doivent être remplacés par des morceaux de carbone façonnés de sorte qu'ils empêchent la pénétration du matériau de revêtement. Ils doivent être suffisamment saillants au niveau de leur surface supérieure pour pouvoir être saisis lors d'un usinage ultérieur.

### 6.3 Propreté

À l'issue de la préparation, la surface à revêtir ne doit pas être contaminée par de l'huile, de la graisse, de l'eau ou des traces de doigts. En cas de contamination, la surface doit être à nouveau entièrement préparée.

## 7 Procédé de projection et de fusion

### 7.1 Projection avec fusion simultanée

#### 7.1.1 Méthode

Cette projection avec fusion simultanée est effectuée manuellement en utilisant un chalumeau oxyacétylénique muni d'un dispositif d'amenée de poudre de projection.

Le métal projeté autofondant approprié est introduit par le dispositif d'amenée dans le jet de gaz, chauffé par la flamme, accéléré puis projeté sur le composant, où sa fusion avec le substrat métallique se produit de manière simultanée. L'utilisation de cette méthode continue permet de produire un revêtement dont les propriétés dépendent du métal projeté autofondant utilisé.

<https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/9b87262d-2a89-4bac-848e->

#### 7.1.2 Dimension des particules et distribution granulométrique des poudres

La dimension adéquate des particules et la distribution granulométrique dépendent de la conception du dispositif d'amenée de poudre. Afin d'éviter les restrictions et les blocages d'amenée de poudre, la distribution granulométrique recommandée par le fabricant de chalumeaux doit être utilisée.

#### 7.1.3 Épaisseur du revêtement

La limitation d'épaisseur de la couche dépend du choix de l'alliage, de la qualité de revêtement requise et des contraintes résiduelles acceptables, qui augmentent avec l'épaisseur de la couche.

NOTE La projection et la fusion de revêtements plus épais exigent une plus grande habileté de l'opérateur.

### 7.2 Projection et fusion subséquente

#### 7.2.1 Méthode

Pour la projection et la fusion subséquente, les méthodes de projection et de fusion sont séparées. Ces deux méthodes peuvent être manuelles ou mécanisées. En règle générale, la projection est effectuée par projection de poudre à la flamme (PFS), par projection à flamme oxygène/carburant à haute vitesse (HVOF) et par projection à la flamme utilisant un fil (WFS) ou un cordon (CFS).

Un matériau autofondant approprié est transporté jusqu'au jet d'oxygène combustible, chauffé, accéléré par la flamme puis projeté sur le composant jusqu'à obtention de l'épaisseur de revêtement désirée.

La fusion des couches est une opération séparée, qui doit être effectuée le plus rapidement possible après la projection, en ayant recours à l'une des méthodes suivantes:

- a) manuellement en utilisant un chalumeau oxyacétylénique avec une capacité adéquate;
- b) chauffage par induction;
- c) fusion dans un four sous vide ou dans une atmosphère de gaz inerte;
- d) faisceau laser;
- e) ou autres moyens thermiques.

### 7.2.2 Dimension des particules et distribution granulométrique des poudres

La dimension adéquate des particules et la distribution granulométrique dépendent de la conception du dispositif d'amenée de poudre. Afin d'éviter les restrictions et les blocages d'amenée de poudre, la dimension des particules et la distribution granulométrique recommandées par le fournisseur du dispositif de projection doivent être utilisées.

### 7.2.3 Épaisseur du revêtement

La limitation d'épaisseur de la couche dépend du choix de l'alliage, de la qualité de revêtement requise et des contraintes résiduelles acceptables. L'épaisseur de revêtement est en général limitée à 1,6 mm, avec une préférence pour 1 mm.

Il convient que la couche soit approximativement 25 % plus épaisse à l'état «brut de projection» pour permettre son retrait lors de la fusion. Si le revêtement doit être appliqué sur des géométries complexes ou avec des limitations d'épaisseur, une méthode d'application préférée peut être la projection à flamme oxygène/carburant à haute vitesse (HVOF). L'utilisation de ce procédé tend à réduire la tolérance de retrait détaillée en [7.3.3](#).

## 7.3 Technique de projection — Méthode

### 7.3.1 Généralités

La projection thermique du revêtement doit être commencée immédiatement après la préparation de la surface et avant toute détérioration visible de la surface (humidité, revêtement, oxydation, etc.).

### 7.3.2 Préchauffage

La surface destinée à la projection doit être préchauffée immédiatement avant la projection. La température de préchauffage dépend de la composition du substrat. Lors du préchauffage, toute contamination ou surchauffe locale de la surface doit être évitée.

### 7.3.3 Projection

La projection doit être effectuée de manière continue jusqu'à ce que le revêtement atteigne l'épaisseur requise, y compris la tolérance de retrait de 20 % à 25 %. À l'issue de la projection, il ne doit y avoir aucune trace visible de défauts, tels que des fissurations, un soulèvement de la couche, des cloques, un écaillage sur les bords ou à l'extrémité du revêtement. Si des défauts sont constatés, le revêtement projeté doit être entièrement décapé puis la préparation et la projection thermique doivent être recommencées.

### 7.3.4 Fusion de la couche

La couche doit être chauffée à une température comprise dans l'intervalle de fusion de l'alliage autofondant choisi. Le chauffage doit être tel que l'interface entre l'alliage autofondant et le substrat

atteigne la température de fusion afin de garantir une fusion totale du revêtement et une diffusion rapide.

La fusion peut être réalisée manuellement ou bien de manière mécanisée en utilisant un chalumeau oxyacétylénique ou un chauffage par induction, un dispositif de fusion au laser ou encore un four sous vide ou sous gaz de protection.

La vitesse de chauffe et la durée du programme de température dépendent de la composition de l'alliage de revêtement et de la dimension et de la complexité du composant. Un chauffage prolongé compris dans l'intervalle de fusion doit être évité afin d'empêcher une diffusion excessive entre le revêtement et le substrat, ainsi qu'une déformation du composant et/ou du revêtement.

Lorsque la température correcte de fusion est atteinte, elle est indiquée par le changement d'apparence du revêtement, qui présente une augmentation marquée de sa réflectivité (généralement désignée par l'expression «aspect mouillé»), visible lors de l'utilisation d'une fusion réalisée manuellement ou de manière partiellement mécanisée. La zone de fusion de la surface sur laquelle la projection a été effectuée doit présenter cet aspect mouillé. Si la surface est chauffée en utilisant un chalumeau ou une bobine d'induction, il convient de déplacer progressivement la source de chaleur sur la surface de la pièce pour conserver cet aspect mouillé. En général, lors d'une fusion dans un four, cet aspect mouillé n'est pas visible. En cas de doute, la température correcte de fusion doit être déterminée par des essais. Le dépassement de la température idéale peut entraîner un égouttement du revêtement et endommager le four. L'apparition d'un point chaud local lors de la fusion démontre un défaut local de revêtement ou d'adhérence. Dans ce cas, le revêtement doit être rejeté.

### 7.3.5 Refroidissement

Après la fusion, et afin d'éviter toute contrainte, fissure et/ou distorsion, le refroidissement doit être progressif. Cette opération peut être effectuée en enveloppant le composant dans un matériau isolant ou en contrôlant son refroidissement dans un four.

Pour les substrats qui sont soumis à un changement martensitique lors de leur refroidissement depuis la température de fusion, des méthodes de refroidissement spécialisées sont nécessaires. Un traitement thermique ultérieur peut être nécessaire pour restaurer les propriétés technologiques et mécaniques du substrat métallique.

## 8 Usinage final

L'usinabilité dépend des propriétés de l'alliage autofondant. Des informations concernant l'usinage de revêtements obtenus par fusion sont données dans l'ISO 14924.

Si les recommandations de l'ISO 14924 ne sont pas suffisantes pour mener à bien l'opération d'usinage, il convient de consulter un fabricant d'outils d'usinage.

Étant donné que les surfaces adjacentes ou le composant dans son ensemble sont également amenés à une température élevée afin de porter à fusion le revêtement, il convient d'achever le processus de revêtement et de fusion et les traitements thermiques ultérieurs, le cas échéant, avant l'usinage final d'autres surfaces.

## 9 Essai de dureté

### 9.1 Généralités

Le matériau de projection est souvent sélectionné par rapport à la dureté pouvant être atteinte plutôt que par rapport à la composition chimique.

Le [Tableau A.1](#) fournit des exemples à titre informatif de valeurs de référence concernant la dureté escomptée. Si nécessaire, un alliage différent, non cité peut être sélectionné sous réserve d'un accord entre le client et le fournisseur, s'il présente la dureté requise et satisfait aux spécifications