



TALAT Chapitre F5105

Le traitement de surface de l'aluminium

[Egalement disponible en version anglaise.](#)

17 pages, 15 figures ([également disponibles en transparents](#))

Niveau Élémentaire

Rédigé par P. Moller, Dansk Technisca Hoogshol, Lyngby

Objectifs :

- comprendre les principes de base, méthodes, caractéristiques et applications du placage de l'aluminium.

Préalables :

- électrochimie générale

Date d'édition : 1994

EAA- European Aluminium Association

F5105 Le traitement de surface de l'aluminium

Table des matières :

F5105 Le traitement de surface de l'aluminium 2	
F5105.00 Introduction	3
F5105.01 Méthodes non galvaniques.....	4
Finitions mécaniques	4
Finitions organiques.....	4
F5105.02 Méthodes chimiques	6
Dérochage et attaque métallographique.....	6
Polissage chimique.....	6
Conversion chimique	7
Revêtements métalliques non électrolytiques.....	8
F5105.03 Méthodes électrolytiques.....	11
Le polissage électrolytique.....	11
L'électrodéposition.....	11
Métaux d'électrodéposition	12
Anodisation.....	14
F5105.04 Documentation.....	16
F5105 Figures	17

F5105.00 Introduction

Les différents processus de traitement de surface de l'aluminium se divisent en trois groupes :

- I. Les méthodes non galvaniques
- II. Les méthodes chimiques
- III. Les méthodes électrolytiques (**Figure F5105.00.01**)

Méthodes de traitement de surface de l'aluminium		
I	Méthodes non galvaniques	
		Finitions mécaniques Finitions organiques
II	Méthodes chimiques	
		Dérochage et attaque métallographique Polissage chimique Conversion chimique Revêtements métalliques non électrolytiques dépôt autocatalytique dépôt par échange d'ions
III	Méthodes électrolytiques	
		Polissage électrolytique Electrodéposition Métaux d'électrodéposition Anodisation
	Méthodes de traitement de surface de l'aluminium	F5105.00.01

Les méthodes galvaniques sont n'impliquent pas de réaction chimique ou électrolytique.

Les méthodes chimiques impliquent une réaction chimique, sans source électrique externe.

Les méthodes électrolytiques sous-entendent une réaction électrochimique avec l'utilisation d'une source électrique externe.

En fait, ces trois groupes se recouvrent légèrement et il s'agit d'une première décomposition.

F5105.01 Méthodes non galvaniques

Ce premier groupe se subdivise en finitions mécaniques et finitions organiques.

Finitions mécaniques

Sont des finitions mécaniques : le meulage, le polissage, le brossage, la rectification ou le sablage par projection de sable ou de billes de verre ou de métal. Ces procédés visent à éliminer des rayures, des taches, des peaux de coulage, etc. La qualité de la surface qui en résulte varie de la finition satinée à la finition miroir qui peut ensuite être retraitée, ou laissée telle qu'elle (**Figure F5105.01.01**).

Finitions mécaniques		
Méthodes :	Meulage / polissage Brossage Finitions mates finition satinée sablage Rectification	
Caractéristiques :	Elimination de rayures, piqûres, taches, etc. Création d'une surface lisse, lustrée	
Applications :	Prétraitement avant anodisation, revêtements organiques ou électrodéposition (réflecteurs, carrosserie, ustensiles de cuisine, etc.) Surfaces non protégées	
	Finitions mécaniques	F5105.01.01

Finitions organiques

Sont des finitions organiques : les peintures de fond et de finition, les revêtements plastiques lourds, les revêtements protecteurs, les revêtements en poudre, l'émaillage ou le laquage. Ces procédés sont utilisés notamment dans le bâtiment pour des portes, des fenêtres, du bardage, etc. Toutes les couleurs de la palette sont disponibles (**Figure F5105.01.02**). Des couches de conversion chimique (chromate ou chromate/phosphate), ainsi que des finitions mécaniques ou l'anodisation sont couramment utilisées en prétraitement aux finitions organiques. Ces finitions sont d'un intérêt commercial énorme.

Finitions organiques

Méthodes :

- Peintures de fond / finition
- Revêtements plastiques lourds
- Revêtements protecteurs
- Revêtements en poudre
- Revêtements émaillés

Caractéristiques :

- Prévention de la corrosion
- Esthétique

Applications :

- Architecture (fenêtres, portes, bardage, etc.)
- Pièces mécaniques
- Carrosserie

F5105.02 Méthodes chimiques

Ce deuxième groupe se subdivise en dérochage et attaque métallographique, polissage chimique, conversion chimique, dépôt autocatalytique et par échange d'ions.

Dérochage et attaque métallographique

Ces procédés consistent à éliminer de la surface métallique des dépôts, oxydes, calamines et peaux. Ils sont utilisés en prétraitement à la plupart des autres processus (Figure F5105.02.01).

Dérochage et attaque métallographique		
Méthode :	Elimination chimique de la surface Attaque caustique Attaque acide	
Caractéristiques :	Elimination des oxydes, etc Elimination des petites bavures Finition mate, notamment après attaque agressive durable	
Applications :	Prétraitement de base pour la plupart des traitements de surface S'applique difficilement aux alliages d'aluminium (attaque spécifique)	
 TALAT <small>Training in Aluminum Application Technologies</small>	Dérochage et attaque métallographique	F5105.02.01

Polissage chimique

Le polissage chimique est la dissolution contrôlée du métal de base afin d'obtenir une surface mi-brillante ou brillante. La surface est ensuite sujette aux rayures et à la corrosion et le processus doit se compléter par une anodisation ou par une finition organique transparente. Ce processus est utilisé pour des réflecteurs et des éléments de décoration. Les meilleurs résultats s'obtiennent avec de l'aluminium commercialement pur (Al > 99,9 %) (Figure F5105.02.02).

Polissage chimique		
Méthode :	Elimination chimique du métal superficiel	
Caractéristiques :	Finition brillante Réflexion plane Amélioration du poli de la surface Esthétique Attaque uniforme sur toute la surface	
Applications :	Substitution au polissage mécanique Prétraitement à l'anodisation ou au laquage Eléments décoratifs Applications dans l'industrie de l'automobile (réflecteurs, etc.)	
	Polissage chimique	F5105.02.02

Conversion chimique

Il s'agit d'une dissolution contrôlée avec formation de dépôts de sels insolubles qui réduisent le risque de corrosion et améliorent l'adhésion de revêtements organiques. Pendant le processus, des dépôts jaune pâle à marron foncé se forment sur la surface. La coloration des dépôts, due à l'interférence lumineuse dans le revêtement mi-transparent, permet d'évaluer son épaisseur. Plus le revêtement est foncé, plus il est épais et meilleure est la protection.

Il existe trois types de solution de conversion chimique : les solutions à base de chromate, à base de chromate et de phosphate et sans chromate (**Figure F5105.02.03**).

Conversion chimique (Méthodes)		
Méthodes :	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Avec chromate <ul style="list-style-type: none"> chromate chromate-phosphate ♦ Sans chromate <ul style="list-style-type: none"> phosphate phosphate-molybdate oxyde 	
	Conversion chimique (Méthodes)	F5105.02.03

Des procédés de conversion chimique sont largement utilisés pour les applications aéronautiques ou militaires, ainsi que pour la protection de composants d'automobiles ou d'autres pièces sujettes à la corrosion. Ces couches sont utilisées soit en prétraitement aux finitions organiques, soit seules en tant que protection provisoire ou permanente contre la corrosion (**Figure F5105.02.04**). Des conversions chimiques à base de chromate ou de chromate/phosphate ont un effet autocorrecteur : des rayures dans la couche de conversion sont colmatées par la migration de chromate vers la rayure.

Conversion chimique (Caractéristiques)		
Caractéristiques :		
<ul style="list-style-type: none"> Surface colorée Réaction avec la surface avec formation de dépôts de sels insolubles de phosphates, chromates ou autres 		
Applications :		
<ul style="list-style-type: none"> Prétraitement aux finitions organiques Protection contre la corrosion Protection permanente ou temporaire 		
	Conversion chimique (Caractéristiques)	F5105.02.04

Revêtements métalliques non électrolytiques

Des revêtements métalliques non électrolytiques sont utilisés pour des pièces mécaniques et électroniques dans l'objectif d'augmenter la résistance à l'usure et, dans certains cas, à la corrosion (avec prétraitement spécial). Cette technique est également employée en première étape du processus traditionnel de l'électrodéposition. Le pouvoir de pénétration de ce processus est excellent indépendamment de la géométrie de la pièce traitée. Dans la fabrication de disques durs d'ordinateur, par exemple, un revêtement en nickel est employé avec un matériau non magnétique tel que le cobalt. Le nickelage est également utilisé pour des pièces de précision à tolérances dimensionnelles très strictes. Des composites de nickel contenant des particules de carbure de silicium (SiC) ou de téflon (PTFE) permettent respectivement d'augmenter la résistance à l'usure et de diminuer le coefficient de frottement (**Figure F5105.02.05**).

Revêtements métalliques non électrolytiques (Caractéristiques)

Métaux :

- ♦ Ni, Cu, Sn, Zn, (Ag, Co)

Caractéristiques :

- ♦ Augmentation de la dureté et de la résistance à l'usure
- ♦ Augmentation de la résistance à la corrosion
- ♦ Excellent pouvoir de pénétration (revêtement uniforme quelle que soit la géométrie de la pièce)
- ♦ Possibilités de composites (SiC ou PTFE) pour augmenter la résistance à l'usure et diminuer le coefficient de frottement

Applications :

- ♦ Pièces de précision
- ♦ Surfaces sujettes à l'usure



Revêtements métalliques non électrolytiques (Caractéristiques)

F5105.02.05

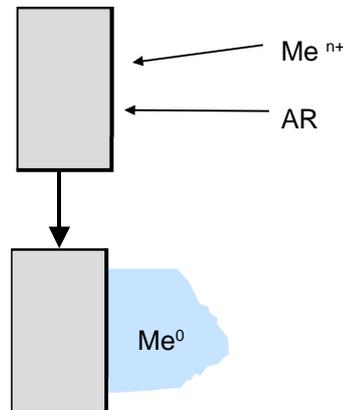
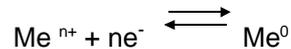
Le processus consiste à créer des dépôts métalliques, en particulier de nickel ou de cuivre, soit par réduction chimique d'une solution aqueuse à l'aide d'un agent réducteur AR, soit par dissolution du substrat avec libération d'électrons. Le métal se dissout dans la solution et se transforme en ions qui se déposent sur la surface du métal à plaquer (Figure F5105.02.06).

Revêtements métalliques non électrolytiques (Réactions)

Revêtement :

Zn, Sn, Cu, Co, Ag, Au

Réactions générales :



Revêtements métalliques non électrolytiques (Réactions)

F5105.02.06

Les revêtements métalliques non électrolytiques se divisent en deux types : le dépôt autocatalytique et le dépôt par échange d'ions.

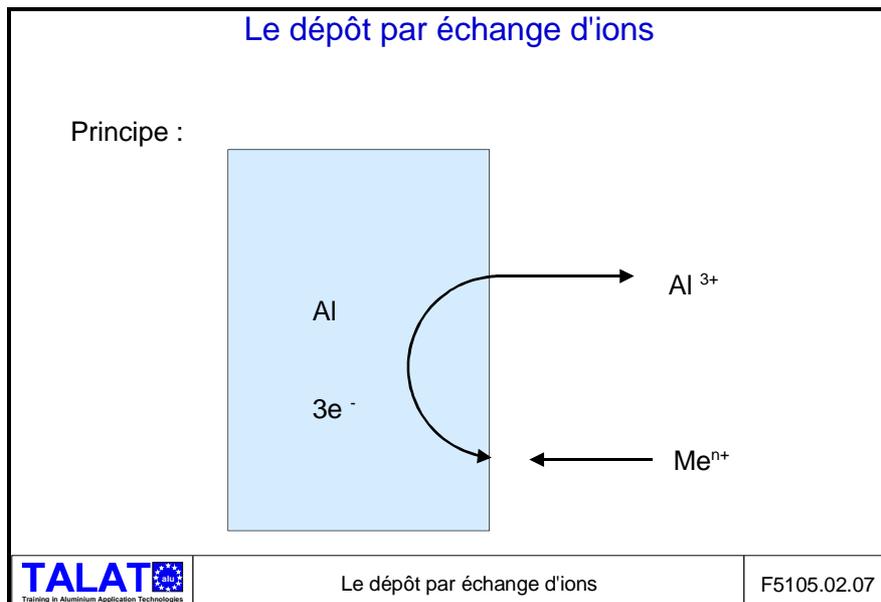
- Le dépôt autocatalytique

Le processus de dépôt autocatalytique consiste à libérer des électrons par réduction chimique d'une solution à l'aide d'un agent réducteur AR. Ces électrons se joignent aux

ions métalliques présents dans la solution pour constituer du métal au niveau de la surface. Le fait que les électrons proviennent de l'agent réducteur permet au processus de continuer après la couverture totale de la surface, des épaisseurs plus importantes peuvent ainsi être obtenues. Le nickelage est un exemple de dépôt autocatalytique.

- Le dépôt par échange d'ions

Ce processus consiste à oxyder (dissoudre) le substrat d'aluminium dont la libération d'électrons permet à un autre métal venant d'une solution aqueuse de se réduire (se déposer) (**Figure F5105.02.07**). Les métaux les plus fréquemment utilisés en dépôt sont le zinc ou l'étain. Après avoir recouvert la surface totale, l'aluminium ne fournit plus d'électrons par oxydation et le processus s'arrête ; la couche créée est donc fine. Ce procédé est employé en prétraitement du placage électrolytique ou non électrolytique. Le processus d'échange d'ions est également appelé le processus zincate, stannate ou processus zincate/stannate modifié. Il est nécessaire de procéder à un prétraitement avant l'électrodéposition pour améliorer l'adhésion et pour éviter la dissolution de l'aluminium dans la solution aqueuse, celui-ci étant amphotère (se dissout dans une solution acide ou alcalin). Dans le cas de prétraitement avec électrodéposition, il est important de sélectionner des paramètres de processus adaptés à l'adhésion et à la résistance à la corrosion du métal de placage. La norme ASTM B253-83 prescrit le procédé à suivre dans le cas de l'aluminium.



F5105.03 Méthodes électrolytiques

Ce groupe se subdivise en trois catégories : le polissage électrolytique, l'électrodéposition et l'anodisation.

Le polissage électrolytique

Il s'agit de la dissolution contrôlée du métal de base afin d'obtenir une surface mi-brillante à brillante. L'élimination de la surface se fait par l'intermédiaire d'un courant électrique externe, la pièce à traiter jouant le rôle d'anode. En effet, il s'agit d'un "placage inversé", puisqu'il y a dissolution de l'aluminium dans l'électrolyte et non déposition d'un autre métal à partir de l'électrolyte. Les applications sont globalement les mêmes que celles du polissage chimique. En revanche, l'attaque étant plus importante au niveau des angles et des bavures, un polissage chimique est parfois préférable. La surface obtenue est sujette aux rayures et à la corrosion et le processus doit se compléter par une anodisation ou par une finition organique transparente. Ce processus est utilisé pour des réflecteurs et des éléments de décoration. Les meilleurs résultats s'obtiennent avec de l'aluminium commercialement pur ($Al > 99,9 \%$) (**Figure F5105.03.01**).

Le polissage électrolytique		
Méthode :		
Elimination électrochimique de la surface		
Caractéristiques :		
Similaires au polissage chimique, mais avec attaque plus importante au niveau des angles et des bavures		
Elimination de rayures et de bavures		
Surface lisse et brillante		
Haute réflectivité		
Applications :		
Réflecteurs		
Éléments décoratifs		
Prétraitement à l'anodisation ou au laquage		
 TALAT Training in Aluminum Application Technologies	Le polissage électrolytique	F5105.03.01

L'électrodéposition

L'électrodéposition de l'aluminium présente un certain nombre de problèmes :

- 1) L'aluminium est amphotère : il se dissout dans un milieu acide ou alcalin.
- 2) La différence de potentiel entre la matrice de l'aluminium et les constituants de deuxième phase peut avoir un effet négatif sur la réaction d'électrodéposition.
- 3) La hiérarchie de l'aluminium dans la série électrochimique peut entraîner

la formation de dépôts d'immersion dans la solution.

- 4) Le coefficient de dilatation thermique de l'aluminium et de ses alliages diffère de celui de la plupart des métaux de placage. Ceci peut entraîner la décohésion entre le revêtement et le substrat lorsque l'aluminium est soumis à des températures élevées ou à des chocs thermiques.
- 5) La différence de diamètre atomique et de réseau cristallin entre le substrat en aluminium et le métal de revêtement peut poser problème.

Une des principales difficultés rencontrées lors de l'électrodéposition de l'aluminium provient de l'oxydation rapide du métal dès qu'il est en contact avec l'air. L'aluminium est également amphotère : il se dissout dans un bain acide ou alcalin. Ces problèmes se règlent par le traitement de l'oxydation et de l'électrodéposition lors du même processus ou par un prétraitement par échange d'ions (processus zincate ou stannate).

Lorsqu'il y a élimination de la couche d'oxydation et électrodéposition lors du même traitement, nous parlons d'électrodéposition directe. Ce processus convient à l'utilisation du cuivre, du nickel, de l'argent, du laiton et du chrome. L'utilisation industrielle de cette technique est limitée, le prétraitement par échange d'ions étant le plus couramment employé.

Bien que relativement chère, la technique d'électrodéposition s'emploie de plus en plus car elle permet d'allier la faible densité de l'aluminium aux propriétés fonctionnelles du revêtement. L'association judicieuse du métal et du processus permet d'obtenir de bons résultats (**Figure F5105.03.02**).

L'électrodéposition		
Méthodes : Electrodéposition directe Préparation anodique Immersion zinc Immersion étain Chrome dur		
Caractéristiques (exemples d'améliorations apportées) : Résistance à l'usure, résistance à la corrosion, propriétés électriques, aptitude à la soudure et au brasage, etc.		
Applications : Ordinateurs et téléphones portables, etc. Disques durs d'ordinateur Pièces mécaniques, etc.		
	L'électrodéposition	F5105.03.02

Métaux d'électrodéposition

A titre d'exemple, l'industrie aéronautique utilise un placage d'or sur de l'aluminium selon la séquence suivante:

- Zinc/stannate
- cuivre 5 µm
- nickel 10µm
- or 5 µm

Cette séquence permet d'éviter les problèmes listés auparavant. La couche de cuivre permet d'absorber les efforts liés à la différence de coefficient de dilatation thermique. Le nickelage constitue une couche dense et sans piqûres qui élimine le risque de corrosion galvanique. Cette couche forme également une barrière entre le cuivre et l'or. L'or fournit à la fois la finition désirée et une couche de 5µm qui protège les couches inférieures contre la corrosion. L'or est non seulement 100 % résistant à la corrosion, mais il a aussi les propriétés électriques et thermiques requises.

Le placage en or est testé selon la séquence suivante :

- 10 chocs thermiques (rapides) de -55°C à +125°C
- 200 cycles de température (lents) de -55°C à +125°C
- 240 heures à 95 % d'humidité relative à 40°C
- Stockage à température haute : 125°C pendant 1000 heures

Aucune modification visuelle ou électrique n'est tolérée.

L'électrodéposition de l'aluminium est souvent utilisée pour la fabrication de pièces mécaniques et de composants légers. De nombreux métaux sont utilisés avec l'aluminium, soit en électrodéposition directe, soit après une électrodéposition intermédiaire zincate ou stannate. Les métaux les plus couramment utilisés sont le chrome, le nickel, l'argent, l'or, l'étain, le zinc et le cuivre (**Figure F5105.03.03**).

Métaux utilisés avec l'aluminium		
Chrome (Cr) Nickel (Ni) Cobalt (Co) Argent (Ag) Etain (Sn) Plomb (Pb) Cadmium (Cd) Zinc (Zn) Or (Au) Rhodium (Rh) Cuivre (Cu)		
leurs alliages, exemple : laiton (Cu + Zn)		
	Métaux utilisés avec l'aluminium	F5105.03.03

Ces traitements permettent une amélioration de la résistance à l'usure et au frottement. La conductivité thermique, la soudabilité et la résistance électrique sont des propriétés

recherchées en électronique. L'esthétique et la résistance à la corrosion sont les propriétés les plus recherchées d'un point de vue commercial (**Figure F5105.03.04**).

Améliorations apportées par l'électrodéposition de l'aluminium

	Cr	Ni	Cu	Ag	Sn	Pb	Cd	Zn	Au	Rh
Usure	◆	◆								◆
Frottement				◆	◆		◆			
Thermique			◆	◆						
Electrique			◆	◆	◆				◆	◆
Esthétique	◆	◆		◆	◆				◆	◆
Corrosion	◆	◆			◆	◆	◆	◆	◆	
Soudabilité			◆		◆	◆	◆		◆	

TALAT Training in Aluminium Application Technologies

Les propriétés et leurs applications

F5105.03.04

Anodisation

L'anodisation permet d'améliorer un certain nombre des propriétés de l'aluminium et l'utilisation de cette technique pour le traitement de surface du métal est courant. Selon les conditions de l'anodisation, les caractéristiques suivantes sont obtenues :

- résistance à la corrosion
- esthétique du métal
- coloration de la surface (presque toutes les couleurs sont possibles, sauf le blanc)
- dureté et résistance à l'usure
- isolation thermique et électrique
- prétraitement pour finition organique ou électrodéposition

Cette technique n'exige pas d'utilisation de produits chimiques toxiques ou de métaux lourds, ce qui constitue un avantage concurrentiel par rapport à d'autres processus de traitement de surface. L'aluminium anodisé est également facilement recyclé (**Figure F5105.03.05**).

Anodisation

Méthode :

Oxydation contrôlée de la surface de l'aluminium, avec création d'oxyde d'aluminium (alumine)

Propriétés :

Amélioration de la résistance à l'usure et de la dureté
Protection contre la corrosion
Coloration possible
Coefficient élevé d'émission de la chaleur et d'isolation électrique
Amélioration de l'adhésion de revêtements organiques
Défauts d'angles dus à la friabilité

Applications :

Architecture (fenêtres, portes, bardage, etc.)
Industrie automobile et aéronautique (structurel, esthétique, pièces mécaniques)
Domestiques (ustensiles de cuisine, articles creux)



Anodisation

F5105.03.05

F5105.04 Documentation

Wernick, S., Pinner, R. & Sheasby, P.G.: The Surface Treatment and Finishing of Aluminium and its alloys, 5^{ème} édition,

Hübner, W. & Speiser, C.T.: Die Praxis der anodischen Oxydation des aluminiums, 3^{ème} édition,

Montgomery, D.C.: Light Metals Finishing Process Manual, AESF 1990

F5105 Figures

Figure n°	Légende
F5105.00.01	Méthodes de traitement de surface de l'aluminium
F5105.01.01	Finitions mécaniques
F5105.01.02	Finitions organiques
F5105.02.01	Dérochage et attaque métallographique
F5105.02.02	Polissage chimique
F5105.02.03	Conversion chimique : Méthodes
F5105.02.04	Conversion chimique : Caractéristiques
F5105.02.05	Revêtements métalliques non électrolytiques : Caractéristiques
F5105.02.06	Revêtements métalliques non électrolytiques : Réactions
F5105.02.07	Le dépôt par échange d'ions
F5105.03.01	Le polissage électrolytique
F5105.03.02	L'électrodéposition
F5105.03.03	Métaux utilisés avec l'aluminium
F5105.03.04	Les propriétés et leurs applications
F5105.03.05	Anodisation