



PROTECTION CONTRE LA CORROSION

par métallisation au zinc-aluminium

TABLE DES MATIÈRES

Préface	5
Introduction	6
1. Organigramme de la protection contre la corrosion par le zinc	10
1.1. Qu'est-ce que la corrosion ?	10
1.2. Pourquoi utiliser le zinc & ses alliages ?	11
1.3. Organigramme des méthodes disponibles	13
1.3.1. La galvanisation à chaud	14
1.3.1.1 La galvanisation continue ou le procédé de Sendzimir	14
1.3.1.2 La galvanisation à façon	15
1.3.2. L'électrozingage	19
1.3.2.1 Le procédé continu	19
1.3.2.2 La galvanoplastie	20
1.3.3. La métallisation (schoopage)	23
1.3.4. La shéardisation (zingage par diffusion)	24
1.3.5. La méthode mécanique & adhésive ou le zingage mécanique	25
1.3.6. La peinture	26
1.3.7. La méthode sacrificielle (anodes)	26
1.3.8. La comparaison des épaisseurs caractéristiques des couches des différentes méthodes de protection.	27
2. La métallisation, le procédé	30
2.1. Histoire	30
2.2. La classification de la métallisation [45]	30
2.2.1. La projection à l'arc (AS)	31
2.2.2. Le plasma (APS, VPS, APSS)	31
2.2.3. La projection au gaz froid (CGS)	31
2.2.4. La projection de fil à la flamme (WFS)	32
2.2.5. La projection de poudre à la flamme (PFS)	32
2.2.6. La métallisation par détonation (DGS)	32
2.2.7. La projection de poudre à la flamme à haute vitesse (HVOF/HVAF)	33
2.2.8. La métallisation au laser (LC)	33
2.3. La préparation de la surface	33
2.3.1. La rugosité	34
2.3.2. La propreté et le sablage	37
2.4. La métallisation	38
2.4.1. Le prétraitement de la surface	38
2.4.2. Le procédé	39
2.4.3. Les paramètres	41

2.5. Le suivi de la qualité	42
2.5.1. <i>Contrôle de la qualité</i>	42
2.5.2. <i>Le mesurage</i>	43
2.5.3. <i>La mesure de l'épaisseur</i>	49
2.5.4. <i>La porosité de la couche de protection</i>	51
2.6. L'adhérence	57
2.6.1. <i>Le mécanisme d'adhérence</i>	57
2.6.2. <i>L'adhérence vis-à-vis des couches de peinture</i>	58
2.6.3. <i>Le stockage et le transport</i>	59
2.7. La sécurité	59
2.7.1. <i>Les moyens de protection personnelle pour le métalliseur</i>	59
2.7.2. <i>L'inflammabilité de la poussière de métallisation</i>	60
2.7.3. <i>L'explosivité</i>	60
2.7.4. <i>Reach</i>	60
3. Zinc-aluminium	64
3.1. Évolution	64
3.2. Étude comparative de la projection thermique de zinc et de zinc-aluminium	64
3.2.1. <i>L'étude Cefracor</i>	64
3.2.2. <i>L'étude Vieille Montagne [65,66]</i>	65
3.2.3. <i>Études récentes avec un arc électrique</i>	72
3.2.4. <i>Etude comparative des couches de protection par métallisation dans un environnement offshore & maritime [40]</i>	74
3.3. Coûts du cycle de vie	78
4. Systèmes duplex et multicouches	86
4.1. Construction	89
4.1.1. <i>Composition et conception du matériau de base</i>	89
4.1.2. <i>Construction et soudure</i>	89
4.1.3. <i>Constructions intégrées dans la maçonnerie</i>	90
4.1.4. <i>Système de peinture</i>	92
4.2. Les différentes classes de corrosion	96
4.2.1. <i>Classe de corrosion C1</i>	96
4.2.2. <i>Classe de corrosion C2</i>	96
4.2.3. <i>Classe de corrosion C3</i>	97
4.2.4. <i>Classe de corrosion C4</i>	98
4.2.5. <i>Classes de corrosion lourde</i>	99
4.2.5.1. <i>Classe de corrosion C5</i>	99
4.2.5.2. <i>Classe de corrosion Cx</i>	100
4.2.6. <i>Classes de corrosion immergées ou enfouies</i>	101
4.2.6.1. <i>Im1 – immersion dans eau douce</i>	101
4.2.6.2. <i>Im2 – immersion dans eau de mer ou eau saumâtre sans protection cathodique</i>	103
4.2.6.3. <i>Im3 – emplacements souterrains</i>	104
4.2.6.4. <i>Im4 – immersion dans eau de mer ou eau saumâtre avec protection cathodique</i>	105
4.2.7. <i>Durée de vie</i>	106
5. Références	107





PRÉFACE

A l'occasion du 40e anniversaire de la Fédération des métalliseurs de Belgique (FMB) et en collaboration avec son membre de soutien Zinacor, nous avons décidé de prendre le temps de rédiger une vue d'ensemble approfondie de la métallisation.

Le présent ouvrage détaillé a pu être réalisé grâce à l'engagement et aux travaux de recherche des Dr.-Ing. Didier Rollez et Johan Dumoulin, en collaboration avec Stefan Hof. Il peut être considéré comme un ouvrage de référence sur la protection contre la corrosion de l'acier par une métallisation au zinc ou au zinc-aluminium.

INTRODUCTION

Ce travail a été réalisé pour procurer une vue d'ensemble succincte de l'évolution de la métallisation en tant que protection contre la corrosion de l'acier par le zinc et un alliage zinc-aluminium. Il présente l'état des lieux du XXI^e siècle.

Le chapitre sur l'action de la corrosion et ses conséquences aborde plus en profondeur les raisons de l'utilisation du zinc et surtout de l'alliage zinc-aluminium comme matériau contre cette corrosion. Un récapitulatif décrit brièvement les méthodes les plus usuelles pour la protection de l'acier par le zinc et ses alliages.

Le deuxième chapitre développe le procédé de métallisation. Il présente les procédés de métallisation les plus usuels et leur action dans la protection contre la corrosion. Les prétraitements nécessaires de la surface de l'acier, la métallisation et le contrôle qualité sont décrits en détail.

L'histoire de la puissance de l'alliage zinc-aluminium est explicitée dans le troisième chapitre. Les études les plus récentes concernant la protection contre la corrosion par l'alliage zinc-aluminium, ainsi que les coûts d'exploitation ("cost of ownership") y sont exposés.

Enfin, un chapitre est dédié aux systèmes duplex normalement utilisés pour offrir une solution aux différentes conditions environnementales dans les différentes classes de corrosion.



WHITE
SALTS
8128
SIZE 10
NorWear
MADE IN USA
CE
N120C-1130

NorWear



CHAPITRE 1

ORGANIGRAMME DE LA PROTECTION CONTRE LA CORROSION PAR LE ZINC

1. Organigramme de la protection contre la corrosion par le zinc

1.1. Qu'est-ce que la corrosion ?

La norme ISO 8044 [1] définit la corrosion comme une interaction physicochimique entre un métal et l'environnement, interaction qui provoque des modifications des propriétés du métal et qui entraîne souvent une dégradation fonctionnelle du métal lui-même, de l'environnement ou du système technique formé par ces deux facteurs. La corrosion est un processus totalement naturel, mais les coûts qui en découlent sont considérables, avec une perte annuelle estimée de 2,5% du PNB.

Quatre éléments doivent converger pour provoquer la corrosion :

- / Une anode ;
- / Une cathode ;
- / Un électrolyte, souvent de l'eau ;
- / Un transfert d'électrons.

La corrosion est un processus progressif qui se déroule en plusieurs étapes. La corrosion ne peut survenir que si des électrons sont transmis par un électrolyte, généralement de l'eau.

Ce phénomène peut être empêché si le processus est interrompu par une barrière intercalée entre l'acier et l'eau ou l'humidité.

On dispose ici de différentes possibilités :

- / La peinture ;
- / La galvanisation à chaud ;
- / La métallisation au zinc (TSZ) ;
- / La métallisation par un alliage zinc-aluminium (TSZA) ;
- / Le système duplex ;
- / Le courant forcé (imposé/induit).

Le zinc ou les alliages de zinc sont généralement utilisés à cette fin, déjà depuis plus de 100 ans. Il s'ensuit qu'à l'heure actuelle, plus de 50% de la consommation mondiale est utilisée pour la protection contre la corrosion.

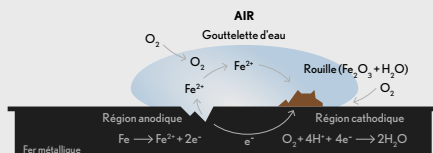


Fig.1.1 Principe de l'action de la corrosion

Consommation primaire de zinc

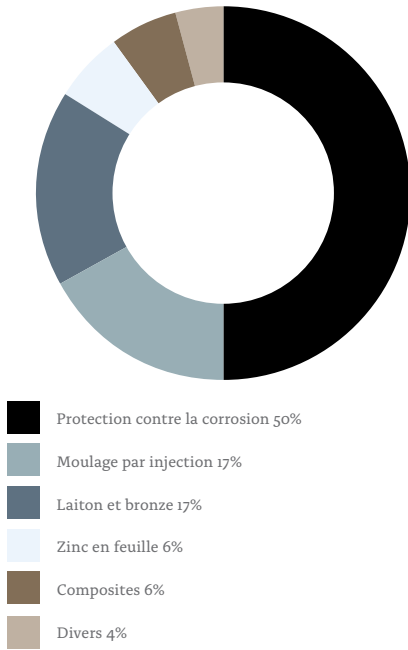


Fig. 1.2 Domaines d'application du zinc [63]

1.2. Pourquoi utiliser le zinc & ses alliages ?

Chaque métal dispose de son propre potentiel électrique et, en combinaison avec un autre métal, un courant électrique s'établit si un milieu conducteur les relie. Le métal le plus électro-négatif se sacrifiera alors pour le plus électro-positif.

Électrode	Potentiel (V)
Mg	-2,37
Be	-1,83
Al	-1,66
Ti	-1,63
V	-1,5
Mn	-1,18
Nb	-1,1
ZP3	-0,806
ZP5	-0,796
ZP-GDSL	-0,795
ZP2	-0,789
Zn	-0,76
Cr	-0,74
Acier inoxydable actif	-0,55
Fe	-0,44
Cd	-0,44
Co	-0,4
Ni	-0,28
Mo	-0,25
Acier inoxydable passif	-0,15
Sn	-0,14
Pb	-0,12
Laiton (60/40)	-0,1
H	0
W	0,05
Sb	0,1
Bi	0,2
Cu	0,34
Ag	0,8
Pd	0,99
Pt	1,2
Au	1,5

Tableau 1.1 Vue d'ensemble des potentiels électriques d'une série de métaux

Le magnésium apporterait la meilleure protection, ce qui est physiquement et chimiquement effectivement le cas. Le sacrifice du magnésium est toutefois tellement élevé que la consommation des atomes de magnésium est trop rapide et il est donc impossible de garantir une longue période de protection par kilo de Mg. Le magnésium est également tellement léger que de très grandes quantités sont nécessaires pour la durée de protection voulue.

L'aluminium se place en deuxième position. Celui-ci s'autoprotège toutefois par sa propriété de passivation, il s'auto oxyde et n'apporte donc plus de protection à l'acier. Pour pouvoir travailler avec l'aluminium, un inhibiteur doit être ajouté à l'aluminium pour limiter l'autoprotection (oxydation) de l'aluminium dans le temps.

D'un point de vue économique, le zinc occupe la troisième place. Sa différence de potentiel avec le fer est encore suffisante et il peut donc offrir une protection durable sur la base d'un triple mécanisme :

- / La protection physique de l'acier par rapport à l'environnement ;
- / La création d'une patine d'oxydes et de carbures chimiquement semi-stable. Étant donné que la surface du zinc réagit avec l'oxygène dans l'air ou dans l'eau, une couche d'oxyde se forme qui, au fil du temps, protège complètement le zinc contre l'oxygène, appelée 'couche de patine'. Les molécules d'oxygène ne peuvent alors plus atteindre le fer ni provoquer de formation de rouille ou d'oxyde. En cas de réaction avec l'oxygène, des oxydes de zinc se forment avec une augmentation de volume et la

couche de protection reste donc bien étanche ;

- / Enfin, la protection cathodique de l'acier en cas de détérioration.

L'action cathodique signifie que le zinc se sacrifie pour le fer. Cette protection cathodique fonctionne uniquement dans les milieux aqueux et repose sur le fait que le zinc présente un potentiel électrique inférieur à celui du fer selon la série galvanique. Ainsi, les endroits abîmés et les alésages pour les boulons et les vis continuent à être protégés contre la rouille. Si du fer (ou un autre métal) est exposé à l'eau, un certain nombre d'ions passent en solution. Ils laissent un surplus d'électrons derrière eux et une charge négative reste en cet emplacement, appelé anode. Étant donné que d'autres endroits présentent un potentiel plus élevé, ils forment les cathodes. Ceux-ci ne subissent pas de corrosion grâce à l'apport constant d'électrons. Dans l'eau, les ions dissous forment des sels avec les oxydants, par exemple l'oxygène. Étant donné que les sels sont souvent peu solubles, un dépôt se forme sur le métal et, dans ce cas, de la rouille se forme sur le fer. Lorsque le zinc est mis en contact électrique avec le fer, il apporte une protection contre ce phénomène, car il possède un potentiel inférieur à celui du fer. Le zinc passe en solution et devient l'anode, de telle sorte que le fer est pourvu en électrons et que les ions de fer ne passent pas en solution. Un revêtement est d'autant plus efficace que sa teneur en particules de zinc est élevée.

L'utilisation d'un alliage de zinc-aluminium vise à combiner les avantages des deux métaux et à obtenir une protection encore plus durable contre la corrosion (cf. chapitre 3).

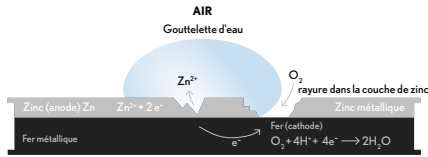


Fig. 1.3 Principe de protection de l'acier par le zinc

Alors que le zinc pur apporte une meilleure résistance contre les milieux hautement alcalins, l'alliage zinc-aluminium convient plutôt aux environnements présentant un pH de 4 à 10.

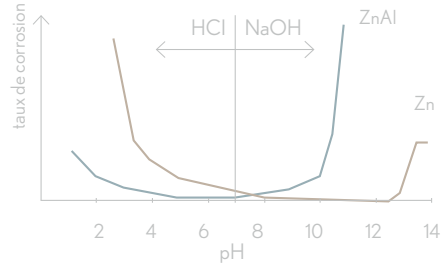


Fig. 1.4 Influence du pH sur la protection par le zinc et l'alliage zinc-aluminium

1.3. Organigramme des méthodes disponibles

La mise en œuvre du zinc est relativement aisée et de nombreuses possibilités ont donc été développées dans le passé pour protéger l'acier par le zinc et ses alliages. La figure 1.5 présente un aperçu schématisé des différents processus pour protéger l'acier par le zinc et les alliages de zinc.

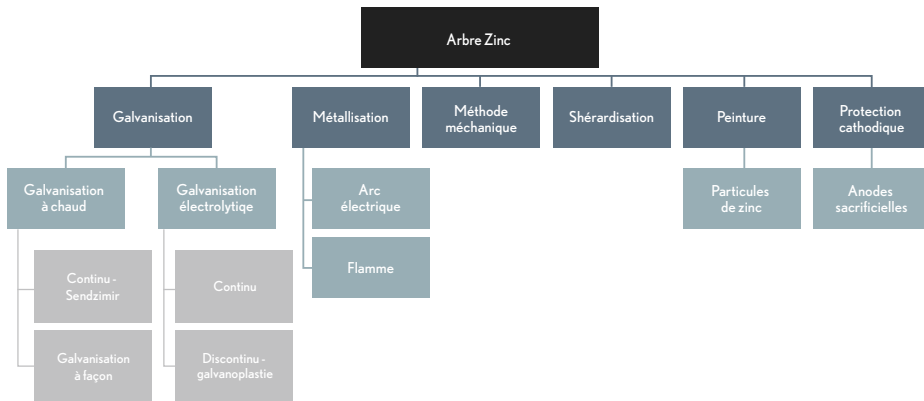


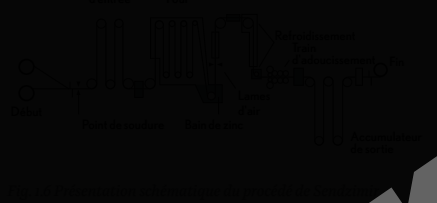
Fig. 1.5 Présentation schématisée des différentes méthodes de protection par le zinc

1.3.1 La galvanisation à chaud

La galvanisation à chaud est le terme générique couvrant plusieurs méthodes de protection contre la corrosion. Il s'agit également de la forme de protection contre la corrosion la plus répandue.

1.3.1.1 La galvanisation continue ou le procédé de Sendzimir

Le procédé de Sendzimir [4], nommé d'après son concepteur Tadeusz Sendzimir, est un procédé de revêtement en continu de l'acier. Au cours de ce procédé, une tôle d'acier est traitée rapidement à travers un bain de zinc afin que le zinc puisse adhérer à la tôle. Grâce à un petit ajout d'aluminium au zinc, la couche est mince et plus régulière. La couche de zinc est cependant plus mince que lorsque le produit est galvanisé à chaud, mais elle est toujours parfaitement résistante à la rouille.



Le point le plus important de Sendzimir, le bain de zinc avec un ajout d'aluminium, est un bain de zinc continu.

Le zinc est le plus important de Sendzimir, le bain de zinc avec un ajout d'aluminium, est un bain de zinc continu.

considérable se trouve dans l'accumulateur avant de passer à travers le procédé.

La galvanisation continue est certes la caractéristique la plus typique du procédé de Sendzimir, mais chaque bobine présente bien entendu un début et une fin lors du déroulement. Lorsque le rouleau arrive à sa fin, l'alimentation dans le bain de zinc ne peut pas être interrompue. À cet instant, les rouleaux dans l'accumulateur sont rapprochés les uns des autres, ce qui raccourcit la ligne et permet au bain de zinc de rester en fonctionnement. Ensuite, une deuxième bobine est avancée. L'extrémité de la bobine précédente et le début de la suivante sont soudés l'un à l'autre et le déroulement de la nouvelle bobine peut commencer. Ensuite, les rouleaux d'accumulateur s'éloignent de nouveau dès que l'alimentation vers le bain de zinc continue à la même vitesse que précédemment.



Le zinc est le plus important de Sendzimir, le bain de zinc avec un ajout d'aluminium, est un bain de zinc continu.

Ensuite, la tôle d'acier passe à travers un bain de zinc à température légèrement inférieure, ce qui assure une meilleure adhérence entre

L'acier est généralement dégraissé à l'aide d'une solution chaude fortement alcaline; le décapage sert à éliminer les résidus d'oxyde de fer (Fe_2O_3 et $FeCO_3$) et la rouille ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$). L'acide chlorhydrique est utilisé à cette fin. Dans cette étape, ce n'est pas tant la teneur en acide qui est importante, mais bel et bien la température et surtout la concentration en chlorure et la présence d'un inhibiteur. Du chlorure de fer se forme dans le bain par la dissolution de l'oxyde de fer et de la rouille dans l'acide chlorhydrique. Le chlorure est un inhibiteur par nature; il empêche l'attaque du fer par l'acide chlorhydrique. Ensuite, l'acier est immergé dans un flux qui assure un meilleur contact entre le zinc liquide et le fer. Deux méthodes peuvent être utilisées: soit la méthode "humide" dans laquelle une couche de liquide flotte sur une partie fermée du bain de zinc à travers laquelle l'objet passe d'abord, ou la méthode "sèche" dans laquelle l'objet entre d'abord en contact avec le flux, soit par immersion, soit par aspersion, puis il est séché dans un four et arrive enfin dans le bain.

Le flux est un mélange de sels fondus et d'eau et possède trois fonctions. Premièrement, il élimine les résidus éventuels d'oxyde de fer; il empêche également la formation de couches d'oxyde de zinc à la surface du bain; il améliore le mouillage du fer par le zinc liquide. Généralement, il est composé de $ZnCl_2$ et $CuCl_2$. L'acier est immergé dans le zinc fondu à une température de 450°C. Le flux est maintenu à cette température pendant 10 à 15 secondes.

Après l'immersion, le flux est éliminé et le zinc est lavé à l'eau. Le flux est réutilisé jusqu'à ce qu'il ne soit plus efficace. Le zinc est lavé à l'eau et séché à l'air.

On atteint une épaisseur de couche entre 30 µm (acier de 2 mm) et 180 µm (acier de 30 mm) après la galvanisation. Il s'agit d'épaisseurs nomelles qui peuvent varier en fonction des circonstances.

La norme de galvanisation ISO 1461 [4] prescrit une épaisseur minimale de 30 µm pour les installations internes. Pour les structures externes telles que les charmes ou les mâts pour les câbles haute tension, une épaisseur de couche minimale de 50 µm est exigée.

Pour éviter les conflits lors de l'inspection pour voir si la couche de zinc appliquée satisfait aux exigences, les cahiers des charges et les commandes doivent se référer à la norme ISO 1461 et indiquer l'épaisseur de couche exigée.

Différents appareils de mesure sont disponibles dans le commerce pour la mesure de l'épaisseur de la couche de zinc. Ils sont tous très précis et peuvent être utilisés sur des surfaces planes et courbes.

Les appareils à ultrasons mesurent l'épaisseur de la couche de zinc en fonction de la vitesse de propagation du son dans le zinc. La force nécessaire sera plus élevée si le son se propage dans un matériau plus dur que le zinc. On peut également mesurer l'épaisseur de la couche de zinc à l'aide d'un appareil à rayons X. L'échelle représentée en figure 10 est basée sur la norme ISO 1461. Elle permet de lire l'épaisseur de la couche de zinc.

Les couches d'alliage

Pendant l'immersion, des couches d'alliage des deux métaux se forment dans différents rapports; la concentration en fer dominant



progressivement vers l'extérieur, l'épaisseur et la présence de ces couches dépend non seulement de la durée de l'immersion, mais surtout de la température du bain.

L'épaisseur des couches augmente avec la température et la durée. Des bains de galvanisation à température ambiante sont utilisés pour l'acier, la tôle et les objets en acier. Les objets en fer sont galvanisés à chaud.

Après l'immersion, l'objet est retiré du bain à vitesse constante et refroidi.

Après l'immersion, l'objet est retiré du bain à vitesse constante et refroidi. Les couches d'alliage sont recouvertes par une fine couche de zinc pur. Cette couche s'épaissit proportionnellement à la vitesse de retrait de l'objet du bain, car le zinc encore liquide dispose de moins de temps pour revenir en arrière. Si la couche est plus mince et refroidit lentement, par exemple parce que l'objet en fer ou en acier est épais, la couche d'alliage peut continuer à croître dans le zinc pur, de telle sorte qu'il ne restera qu'une couche d'alliage extra épaisse. Par ailleurs, la vitesse de retrait est influencée par la forme des objets : les objets creux sont retirés plus lentement afin qu'ils puissent se vider.

Enfin, l'objet peut encore être refroidi par son immersion dans de l'eau distillée ou son introduction dans un flux d'air.

Généralement, on laissera refroidir les objets galvanisés à l'air. Le refroidissement forcé va de pair avec un risque de déformation, surtout lorsque les objets sont en acier mince.

Après l'immersion, l'objet est retiré du bain à vitesse constante et refroidi. Les couches d'alliage sont recouvertes par une fine couche de zinc pur. Cette couche s'épaissit proportionnellement à la vitesse de retrait de l'objet du bain, car le zinc encore liquide dispose de moins de temps pour revenir en arrière. Si la couche est plus mince et refroidit lentement, par exemple parce que l'objet en fer ou en acier est épais, la couche d'alliage peut continuer à croître dans le zinc pur, de telle sorte qu'il ne restera qu'une couche d'alliage extra épaisse. Par ailleurs, la vitesse de retrait est influencée par la forme des objets : les objets creux sont retirés plus lentement afin qu'ils puissent se vider.

Enfin, l'objet peut encore être refroidi par son immersion dans de l'eau distillée ou son introduction dans un flux d'air.

Généralement, on laissera refroidir les objets galvanisés à l'air. Le refroidissement forcé va de pair avec un risque de déformation, surtout lorsque les objets sont en acier mince.

Après l'immersion, l'objet est retiré du bain à vitesse constante et refroidi. Les couches d'alliage sont recouvertes par une fine couche de zinc pur. Cette couche s'épaissit proportionnellement à la vitesse de retrait de l'objet du bain, car le zinc encore liquide dispose de moins de temps pour revenir en arrière. Si la couche est plus mince et refroidit lentement, par exemple parce que l'objet en fer ou en acier est épais, la couche d'alliage peut continuer à croître dans le zinc pur, de telle sorte qu'il ne restera qu'une couche d'alliage extra épaisse. Par ailleurs, la vitesse de retrait est influencée par la forme des objets : les objets creux sont retirés plus lentement afin qu'ils puissent se vider.

Après l'immersion, l'objet est retiré du bain à vitesse constante et refroidi. Les couches d'alliage sont recouvertes par une fine couche de zinc pur. Cette couche s'épaissit proportionnellement à la vitesse de retrait de l'objet du bain, car le zinc encore liquide dispose de moins de temps pour revenir en arrière. Si la couche est plus mince et refroidit lentement, par exemple parce que l'objet en fer ou en acier est épais, la couche d'alliage peut continuer à croître dans le zinc pur, de telle sorte qu'il ne restera qu'une couche d'alliage extra épaisse. Par ailleurs, la vitesse de retrait est influencée par la forme des objets : les objets creux sont retirés plus lentement afin qu'ils puissent se vider.

Enfin, l'objet peut encore être refroidi par son immersion dans de l'eau distillée ou son introduction dans un flux d'air.

Généralement, on laissera refroidir les objets galvanisés à l'air. Le refroidissement forcé va de pair avec un risque de déformation, surtout lorsque les objets sont en acier mince.

Après l'immersion, l'objet est retiré du bain à vitesse constante et refroidi. Les couches d'alliage sont recouvertes par une fine couche de zinc pur. Cette couche s'épaissit proportionnellement à la vitesse de retrait de l'objet du bain, car le zinc encore liquide dispose de moins de temps pour revenir en arrière. Si la couche est plus mince et refroidit lentement, par exemple parce que l'objet en fer ou en acier est épais, la couche d'alliage peut continuer à croître dans le zinc pur, de telle sorte qu'il ne restera qu'une couche d'alliage extra épaisse. Par ailleurs, la vitesse de retrait est influencée par la forme des objets : les objets creux sont retirés plus lentement afin qu'ils puissent se vider.

Enfin, l'objet peut encore être refroidi par son immersion dans de l'eau distillée ou son introduction dans un flux d'air.

Généralement, on laissera refroidir les objets galvanisés à l'air. Le refroidissement forcé va de pair avec un risque de déformation, surtout lorsque les objets sont en acier mince.

Après l'immersion, l'objet est retiré du bain à vitesse constante et refroidi. Les couches d'alliage sont recouvertes par une fine couche de zinc pur. Cette couche s'épaissit proportionnellement à la vitesse de retrait de l'objet du bain, car le zinc encore liquide dispose de moins de temps pour revenir en arrière. Si la couche est plus mince et refroidit lentement, par exemple parce que l'objet en fer ou en acier est épais, la couche d'alliage peut continuer à croître dans le zinc pur, de telle sorte qu'il ne restera qu'une couche d'alliage extra épaisse. Par ailleurs, la vitesse de retrait est influencée par la forme des objets : les objets creux sont retirés plus lentement afin qu'ils puissent se vider.

Enfin, l'objet peut encore être refroidi par son immersion dans de l'eau distillée ou son introduction dans un flux d'air.

Généralement, on laissera refroidir les objets galvanisés à l'air. Le refroidissement forcé va de pair avec un risque de déformation, surtout lorsque les objets sont en acier mince.

Après l'immersion, l'objet est retiré du bain à vitesse constante et refroidi. Les couches d'alliage sont recouvertes par une fine couche de zinc pur. Cette couche s'épaissit proportionnellement à la vitesse de retrait de l'objet du bain, car le zinc encore liquide dispose de moins de temps pour revenir en arrière. Si la couche est plus mince et refroidit lentement, par exemple parce que l'objet en fer ou en acier est épais, la couche d'alliage peut continuer à croître dans le zinc pur, de telle sorte qu'il ne restera qu'une couche d'alliage extra épaisse. Par ailleurs, la vitesse de retrait est influencée par la forme des objets : les objets creux sont retirés plus lentement afin qu'ils puissent se vider.

Enfin, l'objet peut encore être refroidi par son immersion dans de l'eau distillée ou son introduction dans un flux d'air.

Généralement, on laissera refroidir les objets galvanisés à l'air. Le refroidissement forcé va de pair avec un risque de déformation, surtout lorsque les objets sont en acier mince.



Launched in 1998, the program is the largest in the world. It has been a major success story for the U.S. Treasury and the U.S. economy. The program has helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.

The success of the program is a testament to the strength of the U.S. economy and the U.S. dollar. It has also helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.

Launched in 1998

The success of the program is a testament to the strength of the U.S. economy and the U.S. dollar. It has also helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.

The success of the program is a testament to the strength of the U.S. economy and the U.S. dollar. It has also helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.



The success of the program is a testament to the strength of the U.S. economy and the U.S. dollar. It has also helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.

The success of the program is a testament to the strength of the U.S. economy and the U.S. dollar. It has also helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.

The success of the program is a testament to the strength of the U.S. economy and the U.S. dollar. It has also helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.

The success of the program is a testament to the strength of the U.S. economy and the U.S. dollar. It has also helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.

The success of the program is a testament to the strength of the U.S. economy and the U.S. dollar. It has also helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.

The success of the program is a testament to the strength of the U.S. economy and the U.S. dollar. It has also helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.

The success of the program is a testament to the strength of the U.S. economy and the U.S. dollar. It has also helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.

The success of the program is a testament to the strength of the U.S. economy and the U.S. dollar. It has also helped to reduce the U.S. trade deficit and has provided a significant source of revenue for the U.S. Treasury.



L'augmentation de la teneur en silicium n'augmente pas seulement les effets positifs. Elle diminue également l'ordon du zinc fondue, le fer et la couche d'alliage qui se forme est donc plus mince. En outre, elle diminue l'apparition de fissures et de cratères qui se dessinent sur les escaliers de section.

Le zinc pur est un revêtement à aspect gris-bleu, qui est obtenu par un processus continu. Le revêtement (c) est mis en œuvre sur des bandes d'acier et correspond à une électrodeposition d'atomes de zinc. Au cours de ce procédé continu, la tôle d'acier doit traverser une série d'étapes telles que le lavage, le dégraissage et le rinçage avant d'arriver dans le bain de dépôt de zinc. L'anode électrolytique la plus fréquente est une anode en alliage de plomb-argent ou d'autres anodes insolubles et des électrolytes à base de sulfate de zinc. On travaille également encore avec des anodes solubles en zinc pur. Dans ce procédé, la tôle d'acier est la cathode. La couche de recouvrement se forme par l'augmentation du nombre d'ions de zinc électriquement réduits dans la solution et par le dépôt d'atomes de zinc sur la cathode. Des anneaux de structure sont parfois ajoutés pour obtenir une surface plus lisse et plus dense. Les épaisseurs de couche sont minimales et peuvent être réglées de manière très précise. L'application typique de ce mode de revêtement réside dans les tôles d'acier pour les automobiles et les électroménagers. Souvent, cette méthode est également appliquée dans un système duplex, où la structure très fine de la surface de l'électrorevêtement.

L'influence du silicium est encore plus grande et s'exprime déjà à partir d'une teneur de 0,04%. À partir de celle-ci, un effet appelé de Sandelin démarre, la vitesse de croissance des couches d'alliage augmentant de manière explosive puis diminuant tout aussi rapidement de telle sorte qu'à 0,12%, l'effet est à peine supérieur à celui à 0,04%. À partir de 0,25%, l'effet réaugmente, mais dans les proportions attendues.

L'effet d'aluminium dans le bain de zinc est opposé à celui du silicium dans l'acier, surtout dans la plage de l'effet de Sandelin. Du nickel peut encore être ajouté au bain de zinc pour lutter contre ce phénomène.

Procédé continu

Le revêtement (c) est mis en œuvre sur des bandes d'acier et correspond à une électrodeposition d'atomes de zinc. Au cours de ce procédé continu, la tôle d'acier doit traverser une série d'étapes telles que le lavage, le dégraissage et le rinçage avant d'arriver dans le bain de dépôt de zinc.

L'anode électrolytique la plus fréquente est une anode en alliage de plomb-argent ou d'autres anodes insolubles et des électrolytes à base de sulfate de zinc. On travaille également encore avec des anodes solubles en zinc pur. Dans ce procédé, la tôle d'acier est la cathode. La couche de recouvrement se forme par l'augmentation du nombre d'ions de zinc électriquement réduits dans la solution et par le dépôt d'atomes de zinc sur la cathode. Des anneaux de structure sont parfois ajoutés pour obtenir une surface plus lisse et plus dense.

Les épaisseurs de couche sont minimales et peuvent être réglées de manière très précise.

L'application typique de ce mode de revêtement réside dans les tôles d'acier pour les automobiles et les électroménagers. Souvent, cette méthode est également appliquée dans un système duplex, où la structure très fine de la surface de l'électrorevêtement.

Propriétés de la couche d'électrorevêtement.

La couche de recouvrement est une couche de zinc très compacte, contiguë à l'acier. Elle



Si aucun produit brillanteur n'est utilisé, on obtient une couche de zinc présentant un aspect poudreux. La résistance à la corrosion peut ainsi être compromise.

Les termes galvanotechnique ou galvané sont utilisés dans le domaine. Ces termes désignent toutes les techniques électrochimiques de recouvrement, y compris les procédés autocatalytiques.

La répartition de la densité de courant sur le produit n'est cependant pas uniforme. L'épaisseur de couche sera donc plus élevée en certains endroits (face externe/parties saillantes) et plus basse ailleurs (angles internes/faces internes). Le courant cherche toujours le chemin de la moindre résistance.

Si aucun produit brillanteur n'est utilisé, on obtient une couche de zinc présentant un aspect poudreux. La résistance à la corrosion peut ainsi être compromise.

La galvanisation est moins résistante à la corrosion qu'un revêtement obtenu par la galvanoplastie. La galvanisation d'un objet par exemple en nickel ou en chrome massif permettrait bien entendu d'obtenir le même bel effet ou la même résistance à la corrosion. Le produit serait tout de plus coûteux car la plupart des métaux utilisés pour les couches de protection sont nettement plus chers que le fer. De plus, les métaux risquent de ne pas posséder la résistance de matériau souhaitée.

L'histoire de la galvanisation (Electrosingage) (9)

Les concepts galvanisation et galvanotechnique se réfèrent au physicien italien Luigi Galvani. Galvani a décrit, au XVIIIème siècle, les phénomènes électriques qui forment la base pour tous les processus électriques, donc également pour la galvanisation.

Alessandro Volta a également effectué d'importantes études. Il a inventé la pile grâce à laquelle la galvanotechnique peut être réalisée en pratique. Le fondateur de la galvanotechnique est l'Allemand Moritz Hermann Jacobi (1801-1874). Il s'est d'abord principalement intéressé à la galvanoplastie, la formation entre autres de pièces de monnaie par galvanotechnique. Il a écrit le premier manuel sur la galvano en 1838, *Der Galvanoplastik*.

La société WMF actuellement toujours connue (machines à café et converti) a commencé en 1838 à appliquer la galvanoplastie à l'échelle industrielle. Des portes entières en cuivre ont même été produites de cette manière. En 1854, Robert Wilhelm Bunsen parvient pour la première fois à déposer du chrome. Siemens développe en 1867 la dynamo, grâce à laquelle la galvanotechnique se développe à une vitesse supérieure.

Le nickel est déposé pour la première fois en 1900. L'modification (électrolyse électrochimique d'aluminium et donc non pas le dépôt d'un autre métal) est réalisée à partir de 1910. Le chromage galvanique est appliqué commercialement à grand échelle à partir de 1922. Le développement de produits brillantours a lieu entre les deux guerres mondiales et ils remplacent petit à petit le polissage beaucoup plus laborieux. Le nickel chimique arrive sur le marché peu après la deuxième guerre mondiale.

Les bains utilisés lors de la galvanisation peuvent être synonymes d'une haute charge environnementale et sont pour cette raison actuellement associés à des régions très arrières. Un grand nombre de stations de galvanisation utilisent actuellement des produits de plus en plus toxiques. L'utilisation de cyanures de nickel hexavalent (VI) et de chromates hexavalents en agents de dépôt est interdite. Le chrome est réduit dans un bain de cyanure de nickel. Le motif est plongé dans le bain.

La galvanisation à l'aide d'un agent de réduction présent dans l'électrolyte.

La galvanisation à l'aide d'une source de courant externe

Dans cette forme de galvanisation, l'objet est immergé dans une solution de sel (avec le métal en tant qu'ion dans le sel) et un courant provenant d'une source externe est guidé à travers la solution. L'objet est utilisé en tant que cathode. Une réaction redox se produit.

La procédure suivante est mise en œuvre:

Un sel du métal qui doit former la couche, par exemple du chlorure de zinc, est dissous dans un bac d'eau. Ceci signifie que le sel se décompose en ions Zn^{2+} et forme ainsi des cations de zinc et des anions de Cl^- .

L'objet qui doit être plié en tant que métal est connecté à une source de courant externe, ce qui est appelé anode.

Le courant est dirigé vers l'objet immergé dans le bain. Les ions métalliques sont réduits en métal. En fonction de leur valence, ces ions métalliques absorbent chacun un ou plusieurs des électrons fournis par la source de courant et se déposent sous forme de métal sur l'objet.

En tant que cathode, les ions métalliques sont réduits en métal. En fonction de leur valence, ces ions métalliques absorbent chacun un ou plusieurs des électrons fournis par la source de courant et se déposent sous forme de métal sur l'objet.



immédiatement et formant ainsi une couche de protection présentant une bonne adhérence. Ensuite, la surface gris/gris clair et d'une certaine rugosité peut être peignée d'un revêtement d'apprêt ou coloré. Le procédé est entre autres mis en œuvre pour la pérennisation-conservation de constructions en acier et lors de travaux de maintenance. De très grands objets qui n'entrent pas dans un bain de zinc peuvent ainsi être conservés de manière durable.

Dans le procédé de projection thermique, la matière à appliquer est fondue et projetée à haute vitesse sur le substrat. Elle peut être fondue de différentes manières, par exemple à la flamme ou dans un arc de soudage ou dans un plasma.

Le procédé



Tous les procédés possèdent leurs propres caractéristiques, telles que la température de la flamme et le vitesse des particules. De manière générale, lors d'un procédé thermique, de l'énergie est utilisée pour amener le matériau

indépendamment de la source de chaleur dans laquelle le métal est fondu et projeté, la température de la pièce n'est que faiblement augmentée. À la température habituelle de substrat de 20 à 200°C, aucune déformation, aucune modification de structure ou aucun mélange ne peut avoir lieu.

L'adhérence

Pour obtenir une adhérence optimale entre le revêtement et le substrat, il est important que le substrat soit bien nettoyé. Les pièces sont dégraissées et souvent granulées pour augmenter l'adhérence. Les principes d'adhérence suivants peuvent exister entre les particules projetées d'une part et entre les particules et le substrat d'autre part :

- adhérence mécanique
- adhérence métallurgique
- adhérence physique

La structure de la couche projetée est fine et ressemble à une structure de fonte. La structure métallurgique peut être obtenue par les méthodes de diffusion (zincage

à chaud) ou de diffusion (zincage électrolytique). Le revêtement par diffusion correspond à l'application d'une couche de zinc par le chauffage conjoint des objets et de poudre de zinc dans un four en vue de la protection contre la corrosion.

Le revêtement par diffusion ou la sherardisation (1) correspond à l'application d'une couche de zinc par le chauffage conjoint des objets et de poudre de zinc dans un four en vue de la protection contre la corrosion.

La méthode

Le zinc peut être utilisé pour protéger un objet métallique contre la corrosion.

L'application d'une couche de zinc peut être effectuée de différentes manières :

Lors de la fabrication, le zinc est recuit dans un bain de zinc liquide.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Les produits en zinc et les produits en zinc revêtus de zinc sont disponibles sans traitement.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Le zinc est appliqué par diffusion, le zinc est appliqué par électrolyse, le collage et les revêtements de zinc.

Applications

Les produits revêtus de zinc trouvent une application dans de nombreux domaines.

Les matériaux composites peuvent être utilisés dans des circonstances climatiques extrêmes.

Les objets en fonte peuvent être protégés sans autre traitement d'une couche de finition (système duplex).

Les pièces revêtues de caoutchouc ou collées peuvent être utilisées dans la construction de remorques, de chemins de fer et de trains.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

Les produits de construction (échafaudage) qui sont fréquemment montés et démontés.

oxydés. Les constructions immergées en mer sont également protégées par des anodes sacrificielles, comme montré dans la figure 12b).



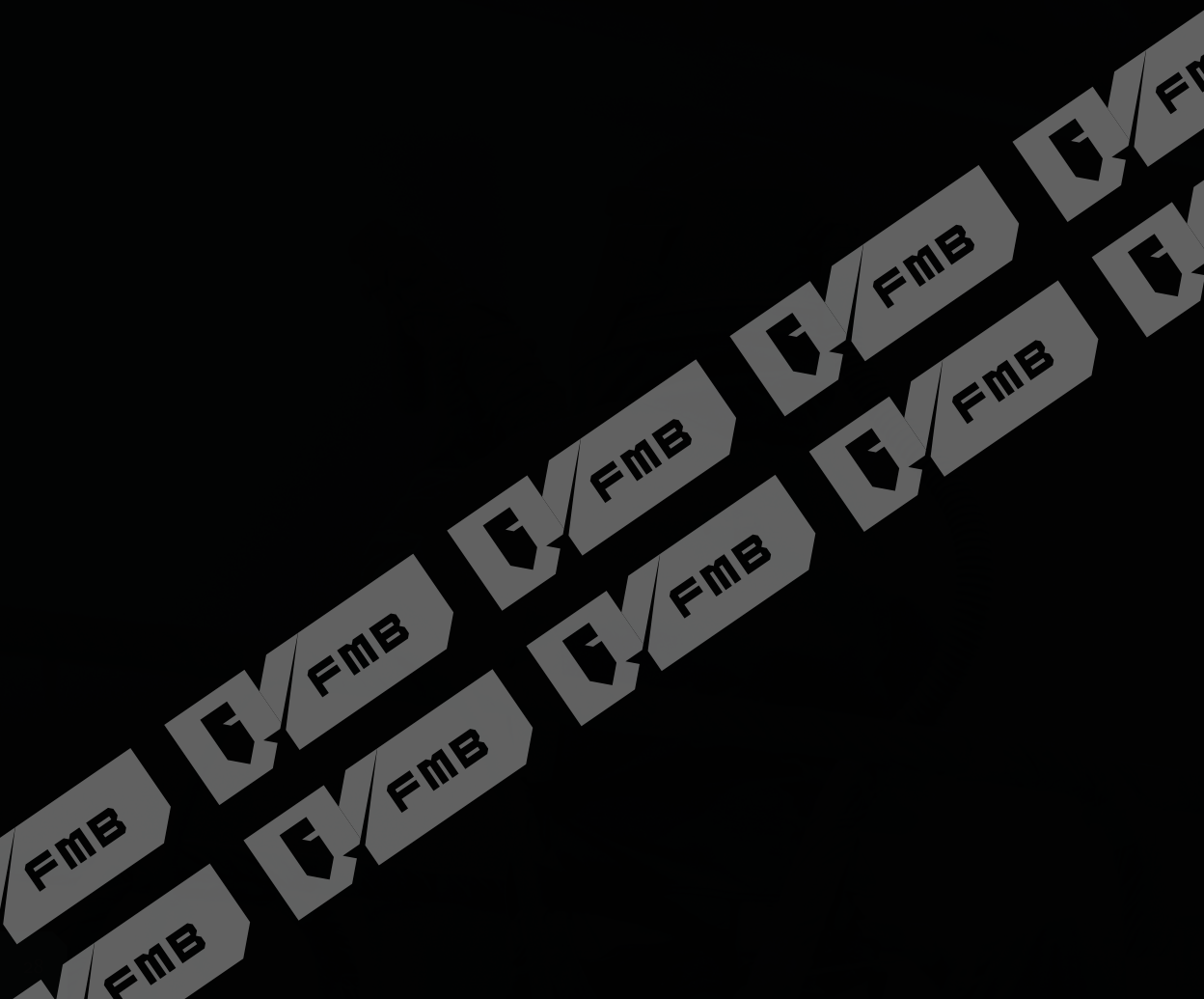
Contrairement aux autres systèmes de protection contre la corrosion à base de zinc qui forment une barrière entre l'acier et l'électrolyte/l'eau, l'anode modifie le potentiel électrochimique. La cathode devient une anode et sera consommée au fil du temps.

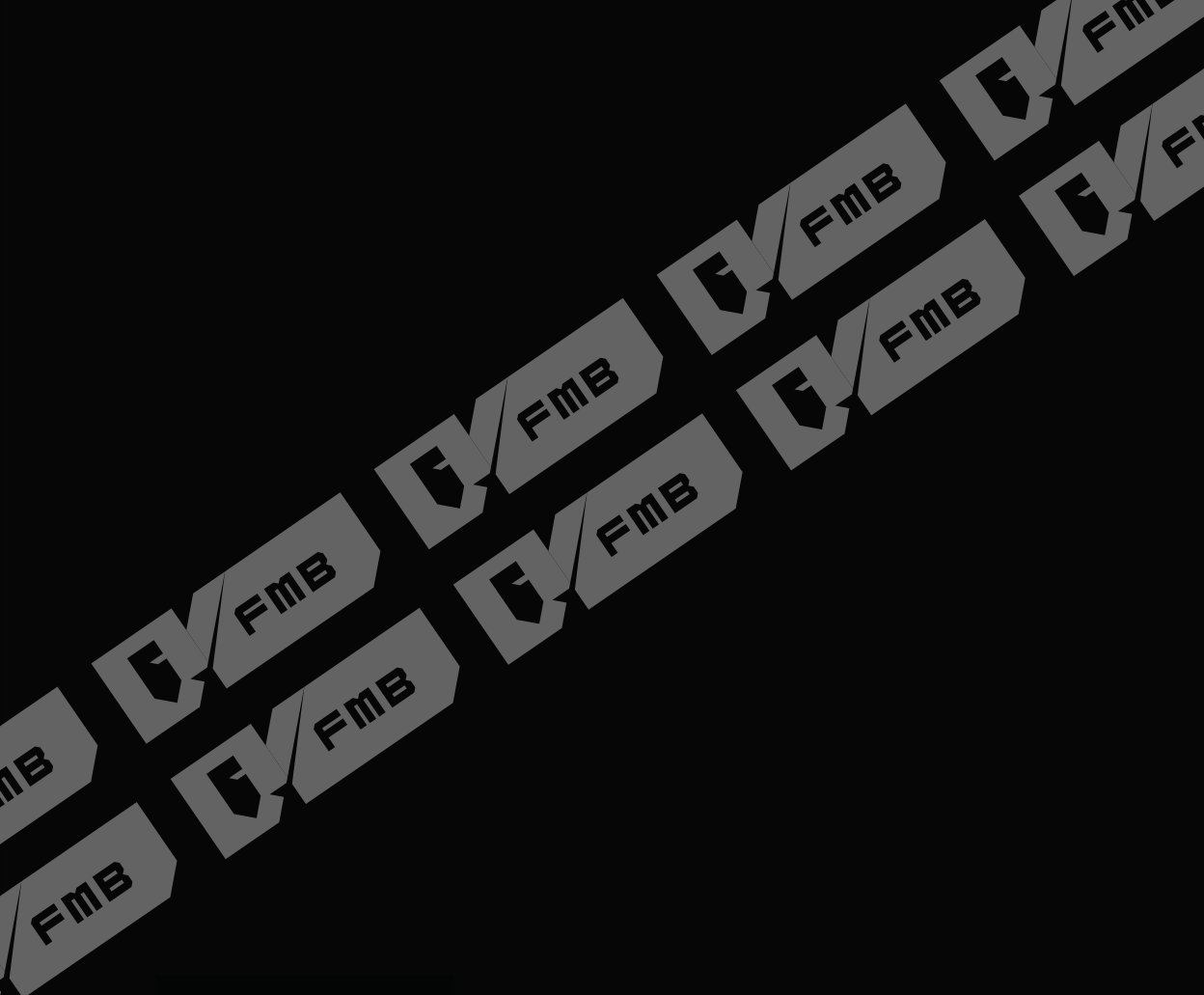
La figure 12b illustre la protection cathodique des structures immergées en mer. Les anodes sacrificielles sont consommées au fil du temps, ce qui permet de protéger les structures immergées en mer.

La figure 12c illustre la protection cathodique des structures immergées en mer. Les anodes sacrificielles sont consommées au fil du temps, ce qui permet de protéger les structures immergées en mer.



L'épaisseur la plus fine est obtenue lors de l'électrozingage continu (de droite à gauche) tout en présentant la microstructure la plus uniforme, suivi du zingage continu. La structure la plus amorphe est généralement la peinture riche en zinc car celle-ci est constituée par des particules de zinc enrobées dans un solvant séché ou dans une solution de dispersion séchée. On trouve ensuite la couche galvanisée qui montre clairement la croissance de ses couches métallurgiques et enfin la couche de métallisation qui montre clairement la structure lamellaire formée des différentes couches.





LA MÉTALLISATION, LE PROCÉDÉ

2. La métallisation, le procédé

2.1. Histoire

En 1817, le chimiste Max Michael Schöpp réalisait des expériences à l'aide de cathodes desquelles il projetait du plomb et du zinc sur des objets pour produire une couche de protection.

En 1906 Schöpp obtenait un brevet pour la façon d'imprimer une lamelle de zinc et d'appliquer cette projection sur un substrat.

Le deuxième brevet de Schöpp date de 1911 et concerne la métallisation à l'aide d'un arc électrique. C'est ainsi que le procédé de métallisation par arc électrique ou dépôt de métallisation est aujourd'hui utilisé pour le protection contre la corrosion, l'isolation de matériaux tels que le plastique, les métaux et de nombreux autres matériaux, en particulier après la deuxième guerre mondiale.

2.2. La classification de la métallisation [45]

Les différents procédés de métallisation sont classés en fonction de l'énergie de l'arc électrique utilisé.

La norme ISO 9001 [46] décrit les différents systèmes

© FMB - Fédération Française
des Métallurgistes



2.2.1. La projection à l'arc (AS)

Dans ce procédé, deux fils de zinc ou d'alliage zinc-aluminium sont introduits dans un pistolet de métallisation électrique. Les deux fils entrent en contact et un arc électrique qui fait fondre le zinc. La chaleur est ensuite transférée au matériau métallique à protéger. Le pistolet est tenu à distance du substrat et la poudre est projetée sur le substrat.

Matériaux utilisés, sous forme de poudre :
Zinc, zinc-aluminium

Domaines d'application :
- Protection des ponts, toitures
- Protection contre la corrosion au vent et à l'usure : centrales électriques
- Comme protection contre l'usure et réparation des éléments de machine : construction des machines

2.2.2. Le plasma (APS, VPS, APSS)

Les torches à plasma sont des appareils dans lesquels un gaz est comprimé à travers un arc électrique confiné. L'arc électrique s'établit entre une anode et une cathode refroidies à l'eau. L'anode est un cylindre pourvu d'un creux à travers lequel sont guidés la cathode et le gaz. Le gaz injecté autour de la cathode passe à travers l'arc électrique et y est ionisé ; ensuite, il progresse en tant que plasma. Ce plasma présente une température très élevée (pouvant aller jusqu'à 20 000 K) et une vitesse très élevée. Le matériau de revêtement injecté dans le plasma est projeté à haute vitesse sur le substrat.

2.2.3. La projection au gaz froid (CS)

Le principe de base de la projection à froid repose sur l'accélération supersonique d'un gaz dans un chalumeau. La poudre est introduite dans la partie haute pression du chalumeau et est projetée dans un état "non fondu" (température du gaz : 600 °C) sur le substrat.

Matériaux utilisés, sous forme de poudre :
Zinc, zinc-aluminium

Domaines d'application :
- Protection contre la corrosion : construction de machines, pistons
- Protection contre l'usure : centrales électriques

2.2.4. La projection au gaz chaud (HS)

Le principe de base de la projection à chaud repose sur l'accélération supersonique d'un gaz dans un chalumeau. La poudre est introduite dans la partie haute pression du chalumeau et est projetée dans un état "partiellement fondu" (température du gaz : 1000 °C) sur le substrat.

Matériaux utilisés, sous forme de poudre :
Cuivre, zinc, aluminium

Domaines d'application :
- Le secteur automobile ;
- La protection contre la corrosion ;
- L'électronique

2.2.4 La projection de fil à la flamme (WFS)

Dans ce procédé, un fil de zinc ou d'un alliage zinc-aluminium est introduit dans un pistolet de métallisation alimenté en gaz (propane ou acétylène et oxygène). Le fil fond par la combustion du gaz. Il est ensuite projeté sur la surface à métalliser à l'aide d'un comprimé.

Ce type de pistolet utilise des fils d'un diamètre plus grand, généralement à partir de 3 mm.

Matériaux utilisés :

Fils, baguettes, câbles.

Domaines d'application :

- Constructions en acier, comme protection contre la corrosion.
- Boîtes de vitesse.
- Segments de synchronisation.
- Segments de piston.

2.2.5 La projection de poudre à la flamme (PFS)

La projection de poudre à la flamme est une forme simple de la projection thermique dans laquelle l'énergie d'une réaction chimique est utilisée. Un matériau en forme de poudre est introduit dans un pistolet d'une flamme d'oxygène-acétylène ou d'un brûleur. La poudre est projetée à haute vitesse sur la surface à métalliser par le biais d'un comprimé.

Matériaux utilisés, sous forme de poudre :
Métaux, plastique.

Domaines d'application :

- Cylindres de laminage.
- Segments de rouleaux.
- Rotors.
- Vis d'extrusion.
- Structures métalliques pour la protection contre la corrosion.

2.2.6 La métallisation par détonation (DCS)

Le pistolet de combustion est constitué d'un tuyau d'un diamètre de 25 mm et d'une longueur d'un mètre, terminé par une chambre de combustion. La poudre est introduite en même temps que le mélange gazeux de combustion (acétylène-oxygène) qui est enflammé par une étincelle de choc ainsi créée. Les particules de poudre, les particules de métal et la flamme y sont projetés à très haute vitesse. Ces particules de métal sont projetées sur la surface à métalliser.

Matériaux utilisés, sous forme de poudre :

- Métaux.
- Plastiques.
- Céramiques.
- Métaux médicaux, implants.
- Industrie du pétrole et du gaz.
- Compresseurs à gaz.
- Industrie du papier, cylindres de calendrage.

2.2.7 La projection de poudre à la flamme à haute vitesse (HVOF/HVAF)

Un mélange oxygène-inflammable brûle en continu dans une chambre de combustion. Les oxygènes, l'hydrogène, le méthane, le propane, le gaz naturel, le gaz de synthèse, le gaz de pétrole sont utilisés.

Le flux de gaz est accéléré dans une buse et se dirige vers le substrat. Les particules de poudre sont accélérées par le flux de gaz et se dirigent vers le substrat.

Les matériaux utilisés sont : les métaux sous forme de poudre ; les céramiques ; les carbures ; les céramiques ; les oxydes ; les bases de cobalt ; matériaux à base nickel.

Domaines d'application :

- Aéronautique : moteurs d'avion, trains d'atterrissage, clapets d'atterrissage
- Industrie du pétrole et du gaz : clapets
- Machines de construction : pistons, cylindres hydrauliques
- Centrales électriques : turbines

2.2.8 La métallisation au laser (LC)

La métallisation au laser est un procédé permettant d'appliquer une couche de protection très dense liée de manière métallurgique et quasiment totalement pure.

Ce procédé est utilisé pour améliorer la résistance à l'usure, à la corrosion et aux chocs.

Un rayon laser très puissant est orienté de

manière à chauffer le long d'une buse. La nature de la poudre permet de produire des couches de protection très denses avec une porosité inférieure à 1% mais avec une très grande résistance métallurgique.

Matériaux utilisés :

Cobalt 0, NiCrMo, FeCr

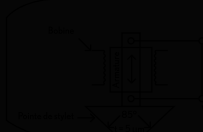
Domaines d'application :

- Cylindres de laminage à haute température, résistances à la corrosion et durables, clapets (cobalt 0)
- Billes/sièges de clapet, cylindres de laminage, parties de chaudière pour la combustion de déchets, raffineries de pétrole (NiCrMo)
- Broyeurs à charbon et à minéraux/plaques d'usure/clapets (WC/Ni)
- Rampe hydrauliques, stabilisateurs (FeCr)

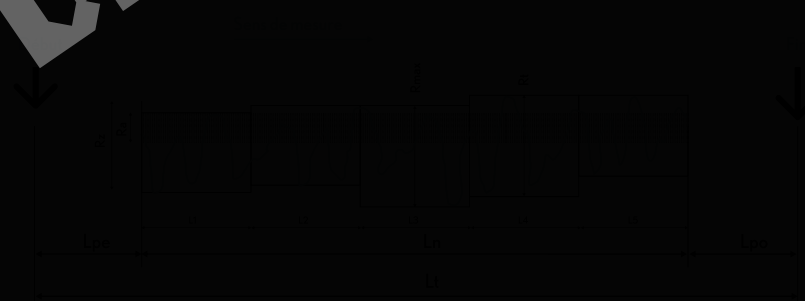
2.3 La préparation de la surface

La construction doit être inspectée avant la métallisation. Elle doit satisfaire à toutes les règles. En d'autres termes, elle doit être totalement accessible au pistolet de projection ou de métallisation.

Le fonctionnement du rugosimètre



Les paramètres de rugosité selon ISO 3202



L_t = longueur de test (seul)

L_n = en standard, λ longueur de mesure

L_{pe} = longueur d'amorçage

L_{pf} = longueur de fin de test

L_t = longueur totale évaluée

R_a = hauteur du triangle rectangle dont la surface est identique à la surface située entre le profil de rugosité et le profil moyen

R_z = hauteur moyenne de sommet à creux des λ longueurs de mesure

R_{max} = sommet à creux maximal des λ longueurs de mesure

R_t = distance entre sommet et creux sur toutes les longueurs de mesure

R_{pk} = moyenne des pics

2.3.2 La propreté et le sablage

Une propreté de minimum Sa 2,5 selon la norme ISO 8501 (2) est demandée pour la métallisation.

La surface de l'acier doit être exempte d'huile, de graisse et de saillies visibles ainsi que de calamine, de rouille, de peinture friable et de matériaux étrangers. La peinture qui reste doit être suffisamment adhérente pour permettre une couleur régulière.

Le sablage doit aller jusqu'au métal brillant à l'œil nu.

La surface de l'acier doit être exempte d'huile, de graisse et de saillies visibles ainsi que de la calamine, de la rouille, de la peinture et de matériaux étrangers. La surface doit présenter une rugosité régulière par le sablage.

Ces classes de propreté peuvent être obtenues par l'utilisation des différents agents de sablage, tels que l'acier, le corindon, le sable, l'inox, le verre ou des oléines et garantissent différents types de valeur de Sa qui ont à leur tour un effet sur les valeurs de rugosité Ra et Rz et sur l'obtention du type de profil de rugosité. La fig. 2.6 donne un aperçu de :

Sa 1 : Nettoyage par sablage léger.

La surface de l'acier doit être exempte d'huile, de graisse et de saillies visibles ainsi que de calamine friable, de rouille, de peinture friable et de matériaux étrangers.

Sa 2 : Nettoyage par sablage en profondeur.

La surface de l'acier doit être exempte d'huile, de graisse et de saillies visibles ainsi que de la plus grande partie de la calamine, de la rouille, de la peinture et de matériaux étrangers. La peinture qui reste doit être suffisamment adhérente.

Ra en fonction de l'agent/des paramètres de sablage ;
Rz en fonction de l'aire de l'agent de sablage ;
Rapport Ra à Rz pour différents agents de sablage.

Ra en fonction de l'agent/des paramètres de sablage ;
Rz en fonction de l'aire de l'agent de sablage ;
Rapport Ra à Rz pour différents agents de sablage.

Ra en fonction de l'agent/des paramètres de sablage ;
Rz en fonction de l'aire de l'agent de sablage ;
Rapport Ra à Rz pour différents agents de sablage.

Ra en fonction de l'agent/des paramètres de sablage ;
Rz en fonction de l'aire de l'agent de sablage ;
Rapport Ra à Rz pour différents agents de sablage.

Ra en fonction de l'agent/des paramètres de sablage ;
Rz en fonction de l'aire de l'agent de sablage ;
Rapport Ra à Rz pour différents agents de sablage.



Pour assurer une bonne adhérence, un Ra de 50 à 100 µm selon la norme ISO 8503-1 avec une propreté selon la norme ISO 9001-1 est demandé.

2.4 La métallisation

2.4.1 Le prétraitement de la surface

Le prétraitement de la surface a une grande influence sur la qualité du revêtement, notamment sur l'adhérence. Différents éléments doivent être pris en considération :

Le dégraissage :

L'huile, la graisse, les oxydes et d'autres saletés doivent être éliminés.

Le granillage :

La surface qui doit être granulée doit être librement accessible.

Toute la surface à préparer doit être sable à l'aide d'un composé à grains fins et secs, comme les granulés joints de soudure.

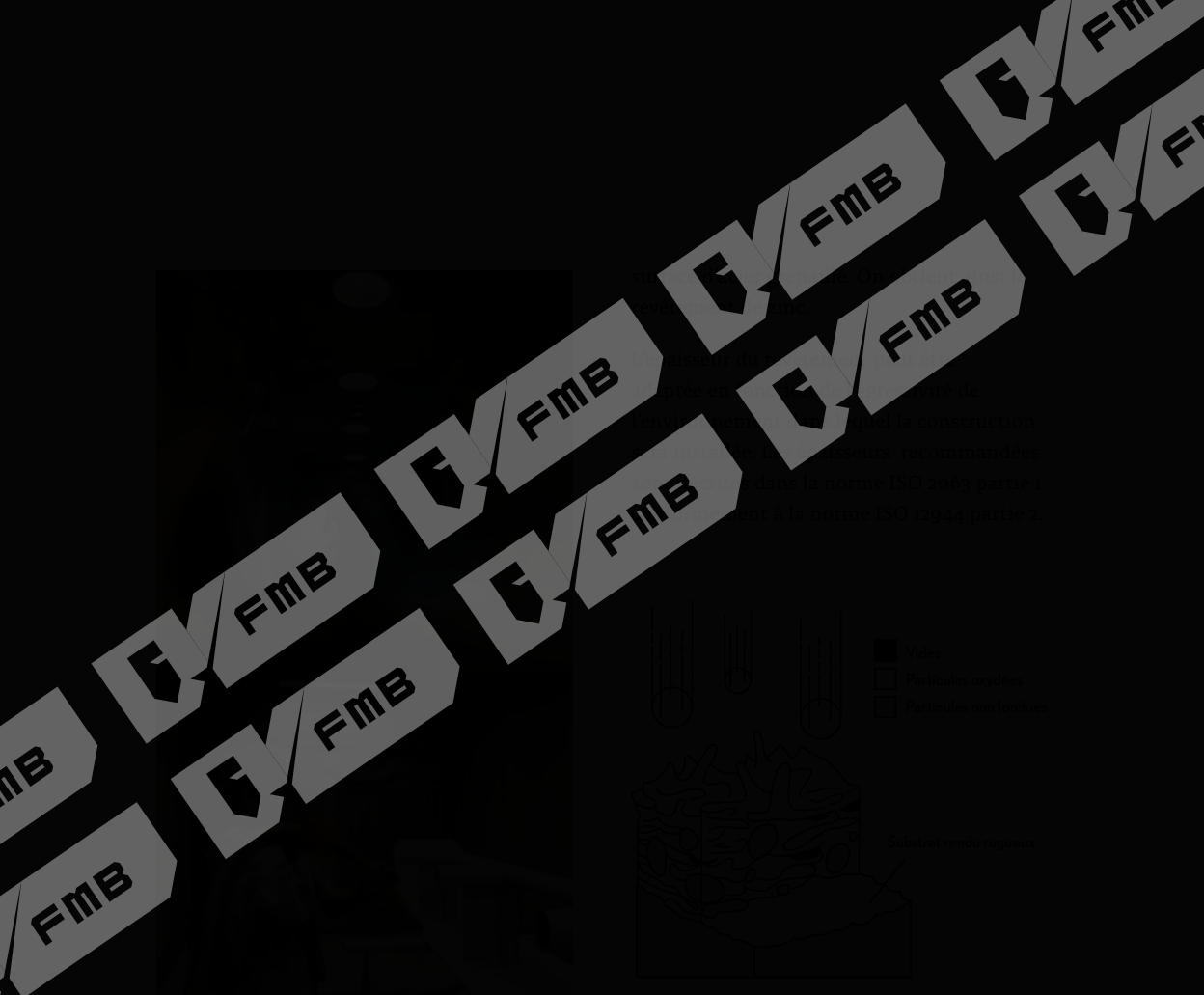
Il y a lieu de tenir compte des conditions de travail.

Nettoyage :

Après le nettoyage, la surface doit être exempte de toute contamination. Selon la norme ISO 8503-1, la surface doit être exempte de toute contamination par le zinc, l'aluminium et le fer. Les surfaces doivent être exemptes de toute contamination par l'aluminium.

Rugosité de surface :

Un Ra de 50 µm à 100 µm selon la norme ISO 8503-1 doit être respecté.



2.4.2 Le procédé

Le fil de zinc ou le fil d'alliage zinc-aluminium est fondu dans une flamme (à schéma de son pistolet à flamme) ou par l'intermédiaire d'un arc électrique (à son pistolet électrique).

Le métal fondu ainsi obtenu est ensuite projeté à l'aide d'un compresseur et se solidifie immédiatement lors du contact avec le

La métallisation par projection à la flamme

Des filaments métalliques solides sont projetés dans la flamme, polymérisation thermique, atomisation, projection thermique et schéma de son de la métallisation. Le fil de zinc-aluminium est fondu dans la flamme à la sortie du pistolet à gaz. La flamme est dirigée par la combustion de propane, acétylène ou gaz de coupe. Les gouttes fondues sont ensuite projetées sur le substrat au moyen du gaz d'appoint (l'oxygène). Ce type de procédé de projection permet également d'allier des différents types de fil. Bien entendu, le fil ou le substrat doit présenter la rugosité

adaptés. C'est pour cette raison que les pièces sont traitées par des granulés angulaires. La métallisation adhère ainsi correctement à l'acier. L'épaisseur du revêtement dépend du nombre de passages sur la pièce, généralement effectués sous forme croisée.



Les matériaux à projeter pour ce procédé sont les métaux et les alliages qui peuvent être obtenus sous forme de fil et qui présentent un point de fusion nettement inférieur à la température de la source de chaleur utilisée. Le terme «schoopage», selon le nom de l'inventeur, est utilisé lorsque des fils de zinc ou d'aluminium sont utilisés.

Les propriétés du procédé

- Forme du matériau: fil (ex. de manière limitée, une forme de cordon ou de baguette).
- Source d'énergie thermique: la combustion d'un combustible et d'oxygène.
- Combustible: propane, butane, acétylène.
- Température de la source de chaleur: 2000°C.
- Vitesse de projection: 100 à 200 m/min.

Le revêtement obtenu est poreux et fragile. Il est donc nécessaire de le protéger par une peinture.

- Bonne résistance à la compression.
- Faibles propriétés d'adhésion.
- Procédé de projection chimique peu coûteux.
- Procédé transportable, une projection sur site est possible.

Quelques applications

- Protection contre la corrosion d'édifices de ponts, etc., par de l'aluminium, du zinc et leurs alliages.
- Protection électrique (blindage) : l'airain, le zinc, etc.



Le revêtement obtenu est poreux et fragile. Il est donc nécessaire de le protéger par une peinture.

Le revêtement obtenu est poreux et fragile. Il est donc nécessaire de le protéger par une peinture.

sur le substrat, ou il forme une couche de protection.

Le procédé de pulvérisation thermique est le plus répandu. Il consiste à projeter des particules de métal fondu sur le substrat. La bonne adhérence de la couche de revêtement dépend de la bonne adhérence des particules au substrat. On peut fonctionner à de faibles températures, ce qui est intéressant lorsque la mobilité de l'atome est grande, le travail sur site est possible.

Les propriétés du procédé

- Forme du matériau : fils électriquement conducteurs ou fils chargés.
- Source d'énergie thermique : par décharge électrique (arc).
- Température du procédé : $> 2000^{\circ}\text{C}$.
- Vitesse des particules : $> 100\text{ m/s}$.

Quelques caractéristiques

- Structure lamellaire interpenetrante.
- Degré d'oxydation élevé dans le revêtement.
- Bonne adhérence et bonne densité de la couche.
- Procédé simple à mettre en œuvre.
- Polyvalent et fiable.
- Capacité de production élevée.
- Procédé de pulvérisation thermique peu coûteux.
- Procédé transportable, une projection sur site est possible.



Quelques applications

- Protection contre la corrosion d'éléments de ponts, etc., par de l'aluminium, du zinc et leurs alliages.
- Protection électrique (blindage) par l'émail, le zinc, etc.
- Revêtements antidérapants et de traction.



2.4.3 Les paramètres

Un certain nombre de paramètres influencent le procédé de métallisation :

L'intensité de courant : il détermine le degré d'ionisation de l'air. Le degré de ionisation dépend de l'intensité du courant, la tension, la tension est un paramètre indépendant qui peut être réglé séparément. Le courant détermine l'énergie thermique. Plus le courant est élevé, plus la température de la flamme est élevée. Les particules sont donc plus chauffées et ont entraîné une meilleure adhérence. La tension détermine le degré de ionisation de l'air, plus la tension est élevée, plus la température de la flamme est élevée. Les particules sont donc plus chauffées et ont entraîné une meilleure adhérence.

Le courant détermine l'énergie thermique. Plus le courant est élevé, plus la température de la flamme est élevée. Les particules sont donc plus chauffées et ont entraîné une meilleure adhérence. La tension détermine le degré de ionisation de l'air, plus la tension est élevée, plus la température de la flamme est élevée. Les particules sont donc plus chauffées et ont entraîné une meilleure adhérence.

La pression du gaz de pulvérisation : la pression influence la structure de la couche de peinture. Plus la pression est élevée, plus les particules projetées sont petites et plus la structure de la couche est fine. L'air comprimé influence également la porosité et l'adhérence de la couche en tant que la porosité des couches de peinture.

La distance de métallisation : en fonction du procédé, plus grande est la distance, plus les couches sont fines et plus la distance est grande, plus la porosité des couches de peinture est élevée.

La distance de métallisation : en fonction du procédé, plus grande est la distance, plus les couches sont fines et plus la distance est grande, plus la porosité des couches de peinture est élevée.

La distance de métallisation : en fonction du procédé, plus grande est la distance, plus les couches sont fines et plus la distance est grande, plus la porosité des couches de peinture est élevée.

Les conditions atmosphériques : température du substrat, point de rosée, humidité relative, etc. Température ambiante.

2.5 Le suivi de la qualité

2.5.1 Contrôle de la qualité

Un contrôle de qualité est toujours nécessaire pendant et après la métallisation.

Contrôle visuel : le contrôle de métallisation doit être régulière sans interruption, sans sautes, sans trous, sans particules, sans déformations, sans décoloration.

Contrôle de l'épaisseur de revêtement : la couche de revêtement doit être homogène, sans sautes, sans trous, sans particules, sans déformations, sans décoloration.

Contrôle de l'adhérence : la couche de revêtement doit être homogène, sans sautes, sans trous, sans particules, sans déformations, sans décoloration.

Contrôle de la porosité : la couche de revêtement doit être homogène, sans sautes, sans trous, sans particules, sans déformations, sans décoloration.

Contrôle de la rugosité : la couche de revêtement doit être homogène, sans sautes, sans trous, sans particules, sans déformations, sans décoloration.

Analyse microscopique d'une section d'un échantillon : il s'agit d'un contrôle de qualité qui est une partie d'une plaque de test.



252 Le mesurage

Le mesurage est l'expression d'une grandeur observée par un nombre d'une unité pertinente qui peut être comparé à des valeurs de la même unité. Le mesurage de grandeurs peut être qualitatif ou quantitatif. Le mesurage peut être effectué par des grandeurs physiques ou par des grandeurs décrites par des unités de mesure.

Les observations qualitatives sont indicatives et les observations quantitatives sont mesurables. Les observations qualitatives sont généralement des observations directes (effectuées sans instrument) avec une interprétation par l'observateur. Des mesures qualitatives sont effectuées lorsqu'une quantification n'est pas possible ou lorsque la quantification est trop coûteuse ou trop chronophage et que la précision est moins importante.

Les observations qualitatives sont indicatives et les observations quantitatives sont mesurables. Les observations qualitatives sont généralement des observations directes (effectuées sans instrument) avec une interprétation par l'observateur. Des mesures qualitatives sont effectuées lorsqu'une quantification n'est pas possible ou lorsque la quantification est trop coûteuse ou trop chronophage et que la précision est moins importante.

Le mesurage est l'expression d'une grandeur observée par un nombre d'une unité pertinente qui peut être comparé à des valeurs de la même unité.

Le mesurage peut être effectué par des grandeurs physiques ou par des grandeurs décrites par des unités de mesure. Les observations qualitatives sont indicatives et les observations quantitatives sont mesurables. Les observations qualitatives sont généralement des observations directes (effectuées sans instrument) avec une interprétation par l'observateur. Des mesures qualitatives sont effectuées lorsqu'une quantification n'est pas possible ou lorsque la quantification est trop coûteuse ou trop chronophage et que la précision est moins importante.

*"To measure is to know.
If you can not measure it
you can not improve it."*

Mesurer, contrôler, rectifier. Nous ne faisons pas que mesurer, nous en connaissons la raison !

Pour surveiller

Pour prévenir les problèmes

Univoque

Prévention de défaillance

Précision jusqu'à 1 µm

L'utilisation d'un appareillage de mesure adéquat et la connaissance des méthodes de mesure sont nécessaires pour la mesure de grandeurs. Un aspect essentiel concerne l'estimation de l'erreur de mesure. En effet, une valeur mesurée n'est jamais exactement égale à la valeur réelle de la grandeur.

Précision
Univoque
Prévention de
défaillance

Précision jusqu'à 1 µm

mesurée.

Pour pouvoir comparer des mesures, les unités à utiliser ont été définies dans un consensus international : le système SI.

Les facteurs qui jouent un rôle dans l'apparition d'écarts (erreurs de mesure) sont :

- l'objet de mesure ;
- l'instrument de mesure ;
- l'erreur humaine ;
- les conditions de mesure ;
- lors de la mesure de très petites particules, l'incertitude de mécanique quantique.

La technique va de plus en plus loin et les exigences sont de plus en plus élevées.

Le client et le concepteur d'un produit déterminent la forme et la précision.

Le fabricant devra satisfaire à ces exigences. Il est donc important de savoir comment mesurer les dimensions et la forme.

Lorsqu'on regarde à travers une loupe d'un agrandissement de 1.000x

Comment mesurer

On dispose actuellement de différentes possibilités. Comme indiqué dans le schéma de la figure 2.10, on dispose de moyens analogiques à numériques, de complètement manuel à totalement automatique.

Erreurs de mesure

L'utilisation de l'appareillage doit être adéquat et le concepteur des mesures doit être conscient des erreurs possibles. On distingue quatre types d'erreurs :

- l'erreur de lecture ;
 - l'erreur de mesure ;
 - l'erreur de mesure due à l'usage ;
 - l'erreur de mesure due à la configuration de la mesure.
- Les écarts entre la valeur mesurée et la valeur nominale des mesures sont associés à différentes causes :
- les tolérances différentes de l'instrument de mesure ;
 - la validité ;
 - la habilité ;
 - la précision ;
 - la configuration de la mesure ;
 - le moyen de mesure adéquat ;



Le concept de fiabilité est lié au concept de non-fiabilité. Une mesure non fiable est quelque chose qui dit n'importe quoi ou qui essaie de vous faire croire n'importe quoi. Une personne fiable est par contre quelqu'un qui dit toujours la vérité. L'information que vous recevez peut être placée sur une échelle de 0 à 100 %, 0 % signifie alors une absurdité totale alors que 100 % signifie totalement cohérent avec la réalité. Tout comme chez les hommes, les instruments de mesure peuvent différer dans leur manière de fournir des informations fiables.

Quels que soit vos efforts, une mesure n'est jamais à 100 % fiable. C'est peut être dû à l'instrument de mesure, à la procédure de mesure ou à l'objet à mesurer. La taille d'un être humain est une caractéristique relativement constante mais si vous le mesurez avec une petite règle en plastique de 30 cm, la mesure ne sera pas très fiable. Vous pouvez également envisager d'utiliser une règle en métal ou un mètre ruban, mais les résultats ne seront pas tous égaux. D'une

manière ou d'une autre, les résultats seront toujours légèrement différents, ne serait-ce que d'un millième de millimètre. Chaque instrument de mesure manque donc un peu de fiabilité, mais un instrument semble donner une information plus fiable qu'un autre.

Un changement d'instrument de mesure peut donc influencer le score. Mais la caractéristique à mesurer elle-même peut également l'influencer. Par exemple, on pense souvent que la taille d'une personne est une constante. Ce n'est pas le cas. Si on mesure la taille d'une personne tôt le matin, elle sera un peu plus élevée que lorsque la même personne est mesurée avec le même instrument en fin de journée. Cette diminution est provoquée par le travail effectué pendant la journée, la fatigue et donc un certain affaissement se produit naturellement. Certains aspects, tels que la motivation et la concentration, sont même soumis à de grandes fluctuations. Leur mesure fiable est difficile.

Un score attribué par l'instrument de mesure à une caractéristique d'une unité d'étude peut être considéré comme une somme d'un certain nombre de facteurs. On peut donc dire que le score mesuré est déterminé par une somme de facteurs, constituée par le score réel de la caractéristique, l'écart entre l'état de cette caractéristique au moment de la mesure et l'écart dans l'état de l'instrument de mesure au moment de la mesure.

Un instrument de mesure est plus fiable lorsqu'il attribue ces scores à des caractéristiques dont l'écart de mesure est le moins attribuable possible à l'instrument de mesure lui-même.

Comment se déroule une étude de fiabilité en pratique ? On dispose de deux manières : la réalisation en même temps de deux mesures identiques ou plus ou la réalisation de deux mesures, mais à des instants différents. Cette dernière méthode, deux instants de mesure, peut être mise en œuvre avec le même instrument de mesure, ou alors justement pas avec le même instrument mais avec un instrument de mesure quasiment identique. Par le calcul d'une corrélation (produit instant) entre les scores, on peut établir la fiabilité de l'instrument.

Chaque méthode fournit un coefficient de fiabilité qui possède sa propre interprétation. Un instant de mesure :

- Deux mesures avec le même instrument de mesure (fiabilité interne)
- Deux mesures avec deux instruments de mesure

Deux instants de mesure :

- Le même instrument de mesure (fiabilité de test-retest)
- Instruments de mesure identiques (fiabilité)

L'homogénéité est également souvent appelée cohérence interne et la spécificité et la stabilité pourraient être considérées comme deux formes de la fiabilité test-retest. Cronbach a mis au point une mesure pour l'homogénéité qui est à présent utilisée de manière générale : le Cronbach's alpha. Lui-même le désigne toujours par cohérence interne. Il existe alors plus que deux formes de fiabilité.

Une dernière précision : Si la corrélation entre les mesures est élevée, l'instrument est fiable. Si la corrélation est faible, votre instrument de mesure n'est probablement pas fiable.

Choix du moyen de mesure :

Il existe actuellement de nombreux bons appareils de mesure et de nombreux logiciels de calcul.



Si je mesure 10,50, le client obtient-il le même résultat ?



Calibrage et étalonnage

Le calibrage est la comparaison d'un système ou d'un appareil à un standard pour déterminer les propriétés. Le réglage pour que le calibrage corresponde à la spécification est appelé ajustement. Un étalonnage consiste à effectuer d'abord un calibrage, puis un ajustement.

Calibrage/étalonnage

Le calibrage est la comparaison d'un système ou d'un appareil à un standard pour déterminer les propriétés. Le réglage pour que le calibrage corresponde à la spécification est appelé ajustement. Un étalonnage consiste à effectuer d'abord un calibrage, puis un ajustement.

Prenons l'exemple d'une comparaison entre les valeurs de modèle et les valeurs pratiques. Si le modèle était parfait, tous les points se situeraient sur une ligne droite. L'adaptation des paramètres de modèle pourrait fournir un meilleur résultat.

Le terme de **calibrage** trouve ses racines dans l'industrie de l'armement, où le diamètre interne du canon d'une arme ou son rayon sont toujours appelés **calibre**. Le calibrage d'une machine à coudre les dents d'une arme pour pouvoir toucher la cible à l'aide de la munition utilisée se dans les conditions climatiques données.

Calibrage de modèles

Le calibrage est entre autres réalisé lors de la mise au point, par exemple, d'un modèle de simulation.

Dans ce cas, le calibrage est un procédé statique qui a lieu pendant le développement du modèle (pour le réglage des paramètres internes de modèle) mais également après (pour les paramètres externes à définir par l'utilisateur). Sur base de données empiriques, les paramètres de modèle (variables) sont mesurés ou estimés et réglés. Cette démarche est appelée **calibrage du modèle**. La validation du modèle peut avoir lieu après cette phase.

Calibrage d'appareils de mesure

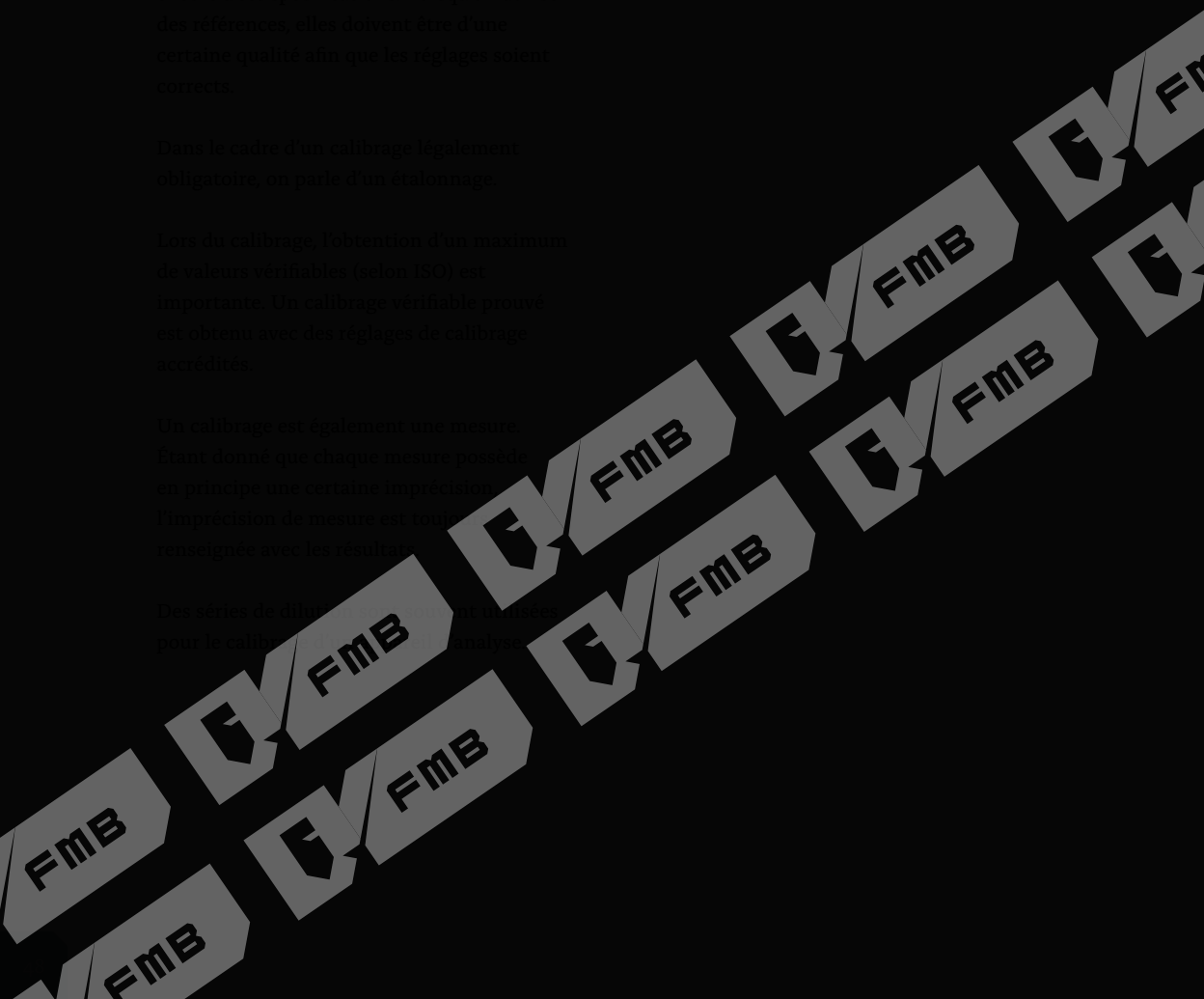
Lors du calibrage d'appareils de mesure, on constate l'écart (biais) de l'appareil de mesure. Ceci peut être réalisé par la comparaison avec une référence ou un modèle calculé. Les écarts sont inscrits dans un tableau de correction. Lors du traitement numérique de valeurs de mesure, les valeurs de correction peuvent être appliquées aux valeurs mesurées afin d'obtenir un résultat précis. Si l'instrument de mesure est adapté, c'est-à-dire si l'écart de mesure est corrigé, on parle d'un ajustement. Le calibrage permet de déterminer si l'appareil de mesure satisfait encore à ses spécifications. Lorsqu'on utilise des références, elles doivent être d'une certaine qualité afin que les réglages soient corrects.

Dans le cadre d'un calibrage légalement obligatoire, on parle d'un étalonnage.

Lors du calibrage, l'obtention d'un maximum de valeurs vérifiables (selon ISO) est importante. Un calibrage vérifiable prouvé est obtenu avec des réglages de calibrage accrédités.

Un calibrage est également une mesure. Étant donné que chaque mesure possède en principe une certaine imprécision, l'imprécision de mesure est toujours renseignée avec les résultats.

Des séries de données sont nécessaires pour le calibrage. Elles sont analysées





de la surface. Cette méthode est connue sous le nom de « méthode à l'aimant permanent ». Elle est utilisée de manière purement qualitative. Une force graduelle du lecteur oppose à la force d'adhérence ou de collage de l'aimant de manière telle que l'aimant permanent baille par se détacher de la surface. L'indication obtenue est la mesure de l'épaisseur.



Induction magnétique (IC)

Cette méthode utilise deux bobines magnétiques. Le champ magnétique variant lors de l'approche de la surface ferromagnétique, le changement du champ magnétique est associé à la distance entre le palpeur et la surface – donc à l'épaisseur de couche. La deuxième bobine enregistre le courant magnétique. Ce couplage magnétique entre les deux pôles magnétiques est la mesure pour l'épaisseur de couche.

Technique par courant de Foucault ou «Eddy currents» (NF)

Cette méthode est utilisée pour mesurer des revêtements non conducteurs sur des substrats non ferromagnétiques tels que l'aluminium. Les techniques par courant de Foucault sont basées sur le principe de l'induction électromagnétique. Une bobine génère une tension alternative haute fréquence qui crée un champ magnétique dont le sens varie en fonction de la tension alternative proposée. Lorsque le palpeur NF est approché de la surface, un courant de Foucault est généré, qui influence le champ magnétique de la bobine. L'effet dépend de la caractéristique de la surface et de la distance entre le palpeur et la surface, par exemple l'épaisseur de couche.

Capteurs combinés (C et N2)

Ces capteurs combinent les systèmes de mesure de la température, de la pression et de la densité dans un seul capteur. Ils sont utilisés pour mesurer la température, la pression et la densité des gaz. Ils sont également utilisés pour mesurer la température, la pression et la densité des liquides. Ils sont également utilisés pour mesurer la température, la pression et la densité des solides. Ils sont également utilisés pour mesurer la température, la pression et la densité des gaz, des liquides et des solides. Ils sont également utilisés pour mesurer la température, la pression et la densité des gaz, des liquides et des solides. Ils sont également utilisés pour mesurer la température, la pression et la densité des gaz, des liquides et des solides.

Technique de compensation (C et N2)

Cette technique est utilisée pour compenser les erreurs de mesure des capteurs de température, de pression et de densité. Elle est utilisée pour compenser les erreurs de mesure des capteurs de température, de pression et de densité. Elle est utilisée pour compenser les erreurs de mesure des capteurs de température, de pression et de densité. Elle est utilisée pour compenser les erreurs de mesure des capteurs de température, de pression et de densité. Elle est utilisée pour compenser les erreurs de mesure des capteurs de température, de pression et de densité. Elle est utilisée pour compenser les erreurs de mesure des capteurs de température, de pression et de densité.



Technique non destructive (ultrasons)

Cette technique de mesure non destructive possède un grand domaine d'application grâce à la technologie avancée des ultrasons et est utilisée pour la mesure de revêtements et des épaisseurs.

Le bois, le plastique, les métaux, les composites, les revêtements et les peintures peuvent être mesurés.

La mesure de la porosité est effectuée par effet de réfraction de la lumière. Cette mesure est effectuée à l'aide d'un peigne à dents de différentes longueurs dans la peinture.

La mesure de la porosité est effectuée à l'aide d'un peigne présentant des dents de différentes longueurs dans la peinture. Les dents les plus externes sont les supports, entre lesquels se trouvent les dents de mesure. La détermination de l'épaisseur de couche humide est effectuée par la lecture de la dernière dent humide et de la première dent sèche. Les roulette de mesure sont des disques ronds pourvus d'un arête concentrique gravée au centre. Une partie de la roulette s'humidifie lorsqu'elle se place dans la peinture humide. La lecture est effectuée par l'enregistrement de la position de la transition humide-sèche sur l'échelle gravée.

2.5.4 La porosité de la couche de protection

Porosité

La porosité est la présence de petites ouvertures (pores) dans un matériau. On retrouve le mot "pore" (petite ouverture)

de la peinture humide par effet de réfraction de la lumière.

Les revêtements poreux, les composites, les métaux et les peintures peuvent être mesurés.

La mesure de la porosité est effectuée par effet de réfraction de la lumière. Cette mesure est effectuée à l'aide d'un peigne à dents de différentes longueurs dans la peinture. Les dents les plus externes sont les supports, entre lesquels se trouvent les dents de mesure. La détermination de l'épaisseur de couche humide est effectuée par la lecture de la dernière dent humide et de la première dent sèche. Les roulette de mesure sont des disques ronds pourvus d'un arête concentrique gravée au centre. Une partie de la roulette s'humidifie lorsqu'elle se place dans la peinture humide. La lecture est effectuée par l'enregistrement de la position de la transition humide-sèche sur l'échelle gravée.

$$\phi = \frac{V_p}{V_t} \quad [-]$$

avec V_p = volume des pores

V_t = volume total

Perméabilité

La perméabilité est une propriété de matériau qui décrit la mesure dans laquelle un solide laisse passer une autre substance.

La perméabilité d'un matériau varie en fonction de la substance qui passe. Si un matériau ne laisse pas passer une autre substance, il est imperméable à cette substance.

L'unité de la perméabilité est le Darcy, généralement mesuré en milli-Darcy ou mD (1 Darcy vaut environ $10^{-12}m^2$). La loi de Darcy décrit l'écoulement de substances dont on déduit la perméabilité.

D'un point de vue clinique, la perméabilité peut être utilisée pour séparer un mélange sur une membrane. La membrane laisse passer la substance pour laquelle elle présente une perméabilité élevée alors que la substance de basse perméabilité est retenue.

$$k = \frac{q\mu}{A(\Delta P/L)} \quad [m^2]$$

avec q = débit de liquide (m^3/s)

μ = viscosité du liquide (N.s/m²)

ΔP = différence de pression (N/m²)

L = épaisseur de la membrane (m)

La porosité est la fraction de volume d'un matériau qui est occupée par des pores.

relation entre la porosité et la perméabilité, les matériaux poreux ne sont pas tous hautement perméables et vice versa. Un matériau poreux dans lequel les pores sont à peine reliés les uns aux autres dans l'espace présente une perméabilité relativement basse alors qu'un matériau dont le volume poreux est petit mais dans lequel les pores sont bien interconnectés est relativement perméable.

Surface spécifique

La surface spécifique est une propriété d'un solide qui représente la surface totale par unité de masse ou de volume de ce matériau. Il s'agit d'une valeur de base qui peut être utilisée pour déterminer le type et d'autres propriétés du matériau (par exemple le sable).

Les deux définitions possibles sont :

Le rapport de la surface totale et du volume du matériau (exprimé en m^2/m^3)

Le rapport de la surface totale et de la masse du matériau (exprimé en m^2/kg). Cette propriété est importante pour les matériaux poreux.

Tortuosité

La tortuosité est une propriété d'une route courbée. Différents tests ont été réalisés pour quantifier cette propriété. La

l'ordinateur est souvent utilisé pour décrire le diagramme de phases de matériaux supports poreux, telles que le sol et la neige (par exemple).



longueur mesurée
d'une pièce (épaisseur de
métallisation)

longueur mesurée
d'une pièce (épaisseur de
métallisation)

La porosité peut être calculée comme suit :

$$V_p = V - V_m$$
$$P = \frac{V_p}{V} = \frac{V - V_m}{V} = 1 - \frac{V_m}{V}$$

V_p = volume total des pores

V_m = volume mathématique de la pièce

V = volume de la matrice comprimée

Méthodes de mesure de la porosité

Méthode directe

(6) On détermine tout d'abord le volume de l'éprouvette totale (V). Ensuite, l'éprouvette est déformée de manière telle que tous les pores disparaissent. Ensuite, on détermine de nouveau le volume (volume de matrice V_m). La porosité est ensuite calculée par $V_p = V - V_m$. Étant donné que cette méthode ne compte pas des pores continus ainsi que des pores discontinus, elle mesure la porosité totale. Le grand inconvénient de cette méthode est associé à la force qui est nécessaire pour fermer tous les pores et qui est souvent tellement élevée que des déformations inacceptables surviennent dans le matériau de matrice.

Méthode optique

(6) Dans cette méthode de mesure, on admet que les pores sont répartis de manière aléatoire dans le matériau. La porosité peut alors être déterminée à partir de la porosité de surface. Une surface polie est observée sous le microscope et le volume des pores est déterminé. On détermine ainsi la porosité totale. Par l'impregnation de l'éprouvette depuis l'extérieur avec de la cire et l'observation successive d'une surface polie, on détermine la porosité effective, car la cire ne peut atteindre que les pores continus.

Le % de pores dans un carré est déterminé par microscope et des méthodes d'analyse d'image.



Données

Si de très petits pores sont présents, les grands pores le sont également et le résultat des autres méthodes de mesure est le même.

Méthode d'aspiration

(7) L'éprouvette est plongée sous vide dans un liquide mouillant de manière parfaite. Le liquide se déplace dans les pores. On détermine le poids de l'éprouvette avant et après l'immersion. Cette méthode permet de déterminer la porosité effective de manière relativement précise. Le liquide doit toutefois bien mouiller les pores. Si cette méthode n'est pas réalisée sous vide, il faut veiller à l'absence d'air dans les pores. Une autre manière pour déterminer la porosité par immersion utilise la force osmomotrice. L'éprouvette est pesée au dessus et sous l'eau. La diminution du poids sera une mesure du volume déplacé (le volume des pores). Seule la porosité ouverte (effective) est mesurée.

$$D_{\text{apparent}} = D_{\text{apparent}} + D_{\text{pores}}$$

$$D_{\text{apparent}} = D_{\text{apparent}} + D_{\text{pores}}$$

$$D_{\text{apparent}} = D_{\text{apparent}} + D_{\text{pores}}$$

$$D_{\text{apparent}} = D_{\text{apparent}} + D_{\text{pores}}$$

$$D_{\text{apparent}} = D_{\text{apparent}} + D_{\text{pores}}$$

$$D_{\text{apparent}} = D_{\text{apparent}} + D_{\text{pores}}$$

$$D_{\text{apparent}} = D_{\text{apparent}} + D_{\text{pores}}$$

$$D_{\text{apparent}} = D_{\text{apparent}} + D_{\text{pores}}$$

$$D_{\text{apparent}} = D_{\text{apparent}} + D_{\text{pores}}$$

$$D_{\text{apparent}} = D_{\text{apparent}} + D_{\text{pores}}$$

Méthode par dilatation d'un gaz (pneumatique)

On dilate dans un récipient le volume de l'échantillon dans un volume connu. On mesure la variation de volume et la pression correspondante.

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

$$V_1 P_1 = V_2 P_2$$

V_1 = volume total [m³]

V_2 = volume du récipient qui contient l'éprouvette [m³]

$V_1 - V_2$ = volume du deuxième récipient sous vide [m³]

P_1 = pression de départ [Pa]

P_2 = pression finale [Pa]

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

On applique la loi de Boyle-Mariotte :

Méthodes de densité

Dans ces méthodes, on détermine la densité de l'éprouvette ainsi que la densité de la matrice de l'éprouvette. La masse de substance poreuse est déterminée quasi exclusivement par la masse de l'éprouvette car la masse de l'air dans les pores est négligeable par rapport à la masse de la matrice.

$$m = \rho_{mat} \cdot V_{mat} = \rho_{mat} \cdot V_{ext}$$

$$\phi = 1 - \frac{V_{mat}}{V_{ext}} = 1 - \frac{m}{\rho_{mat} \cdot V_{ext}}$$

ρ_{mat} = ρ matrice [kg/m³]

ρ_{ext} = ρ masse [kg/m³]

Inconvénient

Cette méthode ne convient pas pour les mousses très poreuses car la masse de l'air dans les pores n'est alors plus négligeable par rapport à la matrice.

Méthode statistique

[62] Lorsque les pores sont de formes géométriques simples, on peut les compter et les mesurer.

Les inconvénients

Pour déterminer la porosité effective, la pression sur le mercure doit être très grande. Comme dans la première méthode, ceci pourrait entraîner une modification dans la structure de matrice et la mesure peut donc devenir non fiable. La méthode n'est pas très écologique en raison des quantités de mercure qui sont utilisées. Généralement, le mercure ne peut pas être complètement enlevé de l'éprouvette et celle-ci reste donc contaminée par le mercure.

Porosité et métallisation





La réalisation de revêtements métalliques par projection thermique est possible sur différents types de substrats. La métallisation peut être réalisée par projection thermique pour la protection contre la corrosion ou pour des couches de protection mécanique. Pour la métallisation caractérisée par du zinc ou un alliage zinc-aluminium, on obtient des valeurs de 10-12 % pour les surfaces métalliques de manière électrique et de 17-18 % pour la métallisation à flamme.

Porosité %



■ flamme ■ arc

2.6 Adhérence

Selon la norme ISO 2063-2 une adhérence de minimum 4 MPa est demandée pour le zinc et le zinc-aluminium.

2.6.1 Le mécanisme d'adhérence

Le concept adhérence désigne la force de liaison entre la couche de protection et l'interface du substrat et les particules projetées individuelles. Lors de la projection thermique, trois mécanismes de liaison importants existent entre les particules projetées d'une part et les particules et le substrat d'autre part :

L'adhérence mécanique

Il s'agit de l'ancrage mécanique sur une surface sablee rendue rugueuse. Les particules projetées se déposent et s'accrochent aux sommets du substrat sable.

L'adhérence physique

Si la surface est propre d'un point de vue métallique, les atomes se rapprochent tellement qu'ils s'attirent.

L'adhérence métallurgique

Une diffusion se produit localement entre les particules projetées et le substrat. Des

microsoudures se forment au niveau des sommets de la surface sablée et entre les particules.

L'adhérence dépend fortement de la vitesse et de la température des particules projetées. Elle est directement influencée par la longueur et la température de l'arc, par la chaleur spécifique et la dimension et la forme des particules. Si la vitesse de la particule est trop basse, l'impact est trop bas. Si la température est trop basse, la diffusion est trop faible. Si toutefois la température est trop élevée, la particule explose. En résumé, l'énergie cinétique élevée des particules projetées assure justement une couche particulièrement dense et adhésive.

Combinaisons possibles de la vitesse et de la température des particules projetées en relation avec la réaction de la particule avec le substrat.

Vitesse élevée & température élevée
Explosion de la particule, décoloration et soufflure du substrat, pas de couche de protection utilisable.

Vitesse élevée & température basse
Pour des particules projetées fortement déformées par elles-mêmes (par exemple le duréol du tungstène tungstène) combinaison entraîne de nombreuses couches de protection.

Vitesse basse & température élevée
Cette combinaison entraîne de nombreuses couches de protection.

Vitesse basse & température basse
Cela entraîne de nombreuses couches de protection.

Vitesse moyenne & température élevée
Cela entraîne de nombreuses couches de protection.

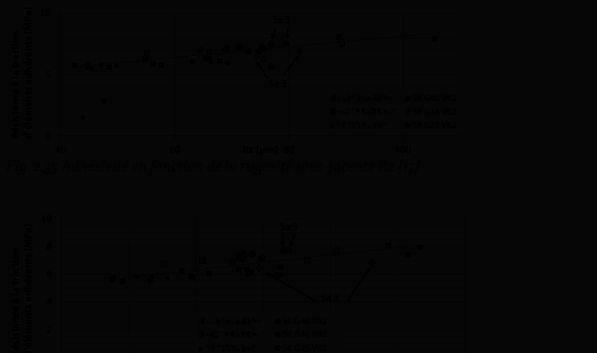
Vitesse moyenne & température basse
Cela entraîne de nombreuses couches de protection.

Vitesse élevée & température moyenne
Cela entraîne de nombreuses couches de protection.

Vitesse basse & température moyenne
Cela entraîne de nombreuses couches de protection.

comparable au grenailage.

Adhèrence & rigidité



L'adhérence en fonction de la valeur Ra suit un schéma comparable, ce qui montre de nouveau qu'un degré de propreté n'est pas une garantie pour une adhérence. Cf. fig. 2 et 3.

Les combinaisons possibles de la vitesse et de la température des particules projetées en relation avec la réaction de la particule avec le substrat.

Vitesse élevée & température élevée
Explosion de la particule, décoloration et soufflure du substrat, pas de couche de protection utilisable.

Vitesse élevée & température basse
Pour des particules projetées fortement déformées par elles-mêmes (par exemple le duréol du tungstène tungstène) combinaison entraîne de nombreuses couches de protection.

Vitesse basse & température élevée
Cela entraîne de nombreuses couches de protection.

Vitesse basse & température basse
Cela entraîne de nombreuses couches de protection.

Vitesse moyenne & température élevée
Cela entraîne de nombreuses couches de protection.

Vitesse moyenne & température basse
Cela entraîne de nombreuses couches de protection.

Vitesse élevée & température moyenne
Cela entraîne de nombreuses couches de protection.

Vitesse basse & température moyenne
Cela entraîne de nombreuses couches de protection.



Les distances de projection sont grande. La distance optimale pour la métallisation à la flamme est comprise entre 20 et 30 millimètres. La température est comprise entre 1000 et 1200 millimètres. La température est comprise entre 1000 et 1200 millimètres.

Le revêtement des pièces

Le revêtement des pièces est une opération qui consiste à déposer une couche de métal sur une surface métallique. Cette opération est réalisée à l'aide d'un procédé de métallisation à la flamme.

Le revêtement des pièces

Le revêtement des pièces est une opération qui consiste à déposer une couche de métal sur une surface métallique. Cette opération est réalisée à l'aide d'un procédé de métallisation à la flamme.

Le stockage et le transport

Les pièces métallisées doivent être stockées et transportées avec précaution. Elles doivent être protégées contre l'humidité et les chocs. Elles doivent être stockées dans un endroit sec et ventilé. Elles doivent être transportées dans un conteneur approprié.

En outre, une pollution entre les couches doit être évitée. Il faut donc éviter que de la graisse, des sautes ou de l'humidité s'accumulent sur la métallisation. De même, il est important de respecter les règles de sécurité lors de la manipulation des pièces métallisées, notamment lors du transport et du stockage.

Le revêtement des pièces est une opération qui consiste à déposer une couche de métal sur une surface métallique. Cette opération est réalisée à l'aide d'un procédé de métallisation à la flamme.

Le revêtement des pièces

Le revêtement des pièces est une opération qui consiste à déposer une couche de métal sur une surface métallique. Cette opération est réalisée à l'aide d'un procédé de métallisation à la flamme.

Le revêtement des pièces

Le revêtement des pièces est une opération qui consiste à déposer une couche de métal sur une surface métallique. Cette opération est réalisée à l'aide d'un procédé de métallisation à la flamme.

Le stockage et le transport

Les pièces métallisées doivent être stockées et transportées avec précaution. Elles doivent être protégées contre l'humidité et les chocs. Elles doivent être stockées dans un endroit sec et ventilé. Elles doivent être transportées dans un conteneur approprié.

En outre, une pollution entre les couches doit être évitée. Il faut donc éviter que de la graisse, des sautes ou de l'humidité s'accumulent sur la métallisation. De même, il est important de respecter les règles de sécurité lors de la manipulation des pièces métallisées, notamment lors du transport et du stockage.

2.72. L'inflammabilité de la poussière de métallisation

La poussière de zinc réagit avec l'eau et forme de l'hydrogène. Cette réaction est exothermique et l'augmentation de la température dans certaines circonstances peut être suffisante pour que la poussière de zinc s'enflamme.

Mesures de prévention :

- Veiller à ce que de l'eau ne puisse pas entrer dans la cabine de métallisation pour prévenir l'inflammation de la poussière de zinc.
- Stocker les résidus de métallisation dans des fûts métalliques fermés en un endroit protégé.
- Ne pas effectuer de travaux de meulage et de ponçage dans la cabine de métallisation pour éviter les étincelles.
- Les travaux de soudage doivent être effectués sous argon.

2.73. L'explosivité

Pour autant que nous le sachions (expérience de plus de 40 ans dans les entreprises de métallisation), aucune explosion ne s'est produite dans une cabine de métallisation avec du zinc ou un alliage zinc-aluminium.

Le risque d'explosion dépend de la taille des particules de poussière. Les métallisations de zinc et zinc-aluminium ont un caractère explosif très faible.

Quelques données à titre informatif :

- Les valeurs paramétriques généralement connues pour les explosifs se rapportent généralement à des poudres relativement grossières.
- Température d'auto-inflammation (TAI) dans une couche : 540°C, dans un nuage : 690°C.
- Energie minimale d'inflammation (EMI) : 640 - 960 mJ.
- Concentration minimale d'explosion : 450 g/m³.
- Pression maximale d'explosion : 2,5 bars.
- Augmentation maximale de la pression (MMP) : 1,0 bar/sec.
- Indice d'explosion : 0,1. Cet indice d'explosion de 0,1 est considéré comme faible pour de telles poudres mais dépend fortement de la dimension de particules.

2.74. REACH

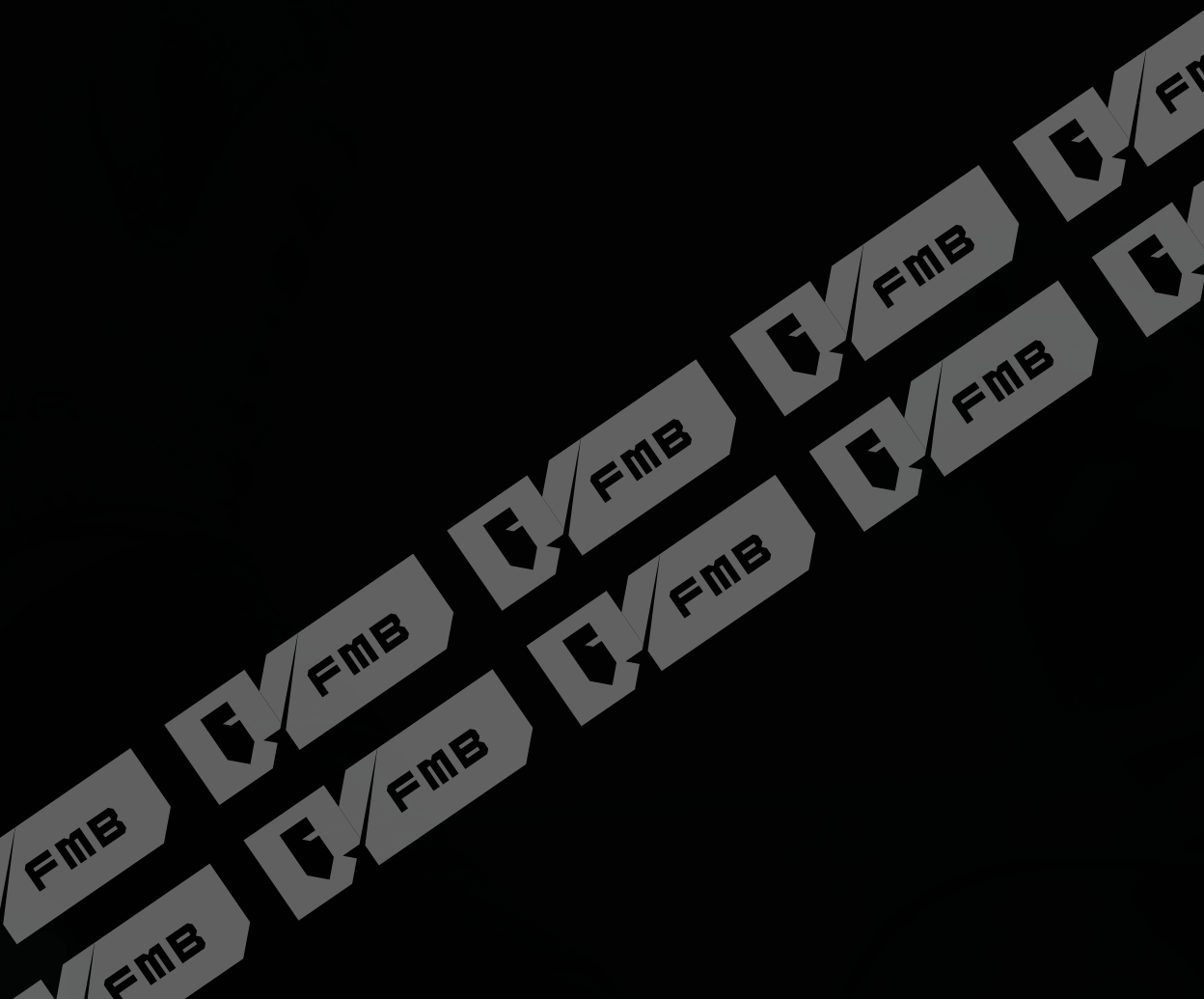
Zincor S.A. déclare que le produit est conforme au règlement REACH (article 60 du règlement CE n°1907/2006).

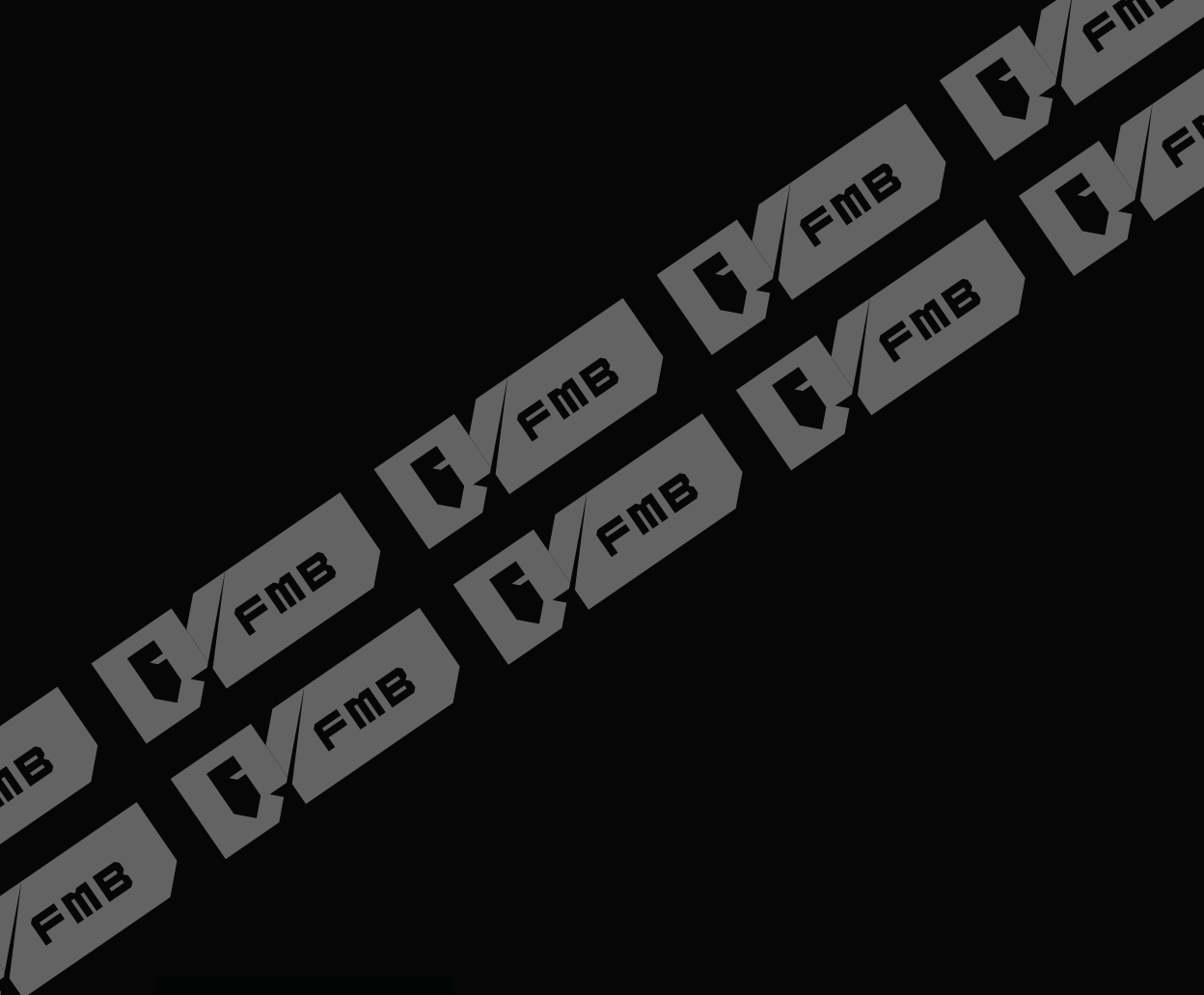
Le produit est classé comme « non dangereux » en vertu de l'article 60 du règlement REACH. Les informations relatives à la classification sont disponibles dans le FDS. Nous pouvons confirmer que le produit est conforme à l'article 60 du règlement REACH. Zincor S.A. n'est pas une substance soumise au règlement REACH. Les renseignements sur la liste de substances extrêmement préoccupantes candidates en vue d'une autorisation (SVHC) selon l'article 30 de REACH en une concentration supérieure à 0,1 % masse/masse

Anodes de zinc
Feuilles de zinc
Fils de zinc-aluminium
Alliages de zinc pour fonderie
Poudre de zinc
Bandes de zinc
Fils de zinc
Fils d'acier-zinc
Fils d'acier-zinc
Fils d'acier-zinc



pour plus d'informations, contactez votre représentant FMB ou visitez le site de l'agence FMB Europe. Les services FMB sont disponibles dans les pays suivants : www.fmb-europe.eu/candidate-list





ZINC- ALUMINIUM

3. Zinc-aluminium

3.1. Evolution

Suite à la pollution croissante de l'air et de la concentration croissante de SO₂ dans l'atmosphère, les années 1970 ont été marquées par une prise de conscience internationale par le monde entier que l'impact de la pollution atmosphérique sur les monuments historiques est de plus en plus inquiétant. Pour la première fois, on a commencé à utiliser l'aluminium au lieu du fer pour la construction d'ouvrages d'architecture, sans autre précaution que celle de réduire la concentration de l'acide sulfurique dans l'atmosphère. Les premières études ont été effectuées en 1972, par le Centre de Recherche de l'Université de la Colombie-Britannique, à Vancouver, au Canada. Elles ont permis de constater que l'aluminium est plus résistant que le fer à l'attaque par les pluies acides.

3.2. Étude comparative de la projection thermique de zinc et de zinc-aluminium

3.2.1. L'étude Canador

Les premiers essais ont été effectués sur zinc-aluminium à 90% et 10% de zinc par le Centre de Recherche de l'Université de la Colombie-Britannique, à Vancouver, au Canada. Les résultats ont été publiés par le Centre de Recherche de l'Université de la Colombie-Britannique.

Les essais de corrosion réalisés sur le zinc dans un environnement atmosphérique industriel ont été effectués dans deux conditions de pollution atmosphérique : une pollution normale et une pollution élevée.

Le but de l'étude consistait à comparer les performances de protection de zinc et de zinc-aluminium dans un environnement atmosphérique industriel. Les résultats ont été publiés par le Centre de Recherche de l'Université de la Colombie-Britannique.



Pour les plaques de test métalliques sans couches de peinture.

Il a été démontré clairement que le zinc agit comme à une action sacrificielle, offrant ainsi donc une protection cathodique.

L'aluminium offre un effet cathodique comparable à celui du zinc formant une couche d'oxyde.

Les alliages zinc-aluminium offrent une protection cathodique comparable à celle de l'aluminium.

Le revêtement zinc-aluminium 60/40 offre une protection cathodique comparable à celle de l'aluminium.

Le revêtement zinc-aluminium 60/40 offre une protection cathodique comparable à celle de l'aluminium.

Le revêtement zinc-aluminium 60/40 offre une protection cathodique comparable à celle de l'aluminium.

Le revêtement zinc-aluminium 60/40 offre une protection cathodique comparable à celle de l'aluminium.

Le revêtement zinc-aluminium 60/40 offre une protection cathodique comparable à celle de l'aluminium.

Le revêtement zinc-aluminium 60/40 offre une protection cathodique comparable à celle de l'aluminium.

Le revêtement zinc-aluminium 60/40 offre une protection cathodique comparable à celle de l'aluminium.

3.2.2. L'étude Vieille Montagne

[65,66]

Au cours des années 70 du siècle dernier, une étude approfondie a été réalisée pour comparer les différences de la projection thermique entre un fil de zinc pur et un fil de zinc-aluminium 15%. Le but consistait à déterminer, en première instance, l'efficacité

de revêtement des plaques de test métalliques.

Les plaques de test métalliques ont une épaisseur de 20 mm sur les

faces opposées. Elles sont peintes à l'aide de peinture

à l'huile moyenne de 0,2 mm selon norme ISO 9001 en quatre étapes. La

résistance est mesurée à l'aide d'un JCI de Rugosité et donne une valeur de 3

à 4, ce qui est comparable à un 12 de zinc. L'épaisseur des revêtements des plaques

métalliques est mesurée par le point de mesure (fig. 3.7).



10 plaquettes étaient utilisées pour chaque essai. Un système robotique effectuait la projection, comme indiqué dans la fig. 3.2. Les 10 plaquettes centrales étaient utilisées pour les déterminations de poids.

L'adhérence était mesurée par la méthode du quadrillage. Les microduretés indiquaient une valeur double pour l'alliage ZnAl par rapport à la valeur du zinc pur. La densité apparente (comme mesure de la porosité) était déterminée par le rapport augmentation du poids à épaisseur de couche.

La métallisation était réalisée à l'aide du système robotique à une distance de 15 cm du substrat et à une onde de déplacement de 24 cm. La vitesse de métallisation était de 5,5 et de 3,75 m/min. Les épaisseurs de couche étaient mesurées par un péromètre à 3 points.

Résultats avec une flamme acétylène-oxygène ou propane-oxygène

Les figures 3.3 et 3.4 donnent la croissance de l'épaisseur du revêtement à chaque passage du pistolet de projection. L'efficacité pour ZnAl est de 16,7 m²/h alors que celle pour le zinc est que de 12,5 m²/h.

Augm. de Zn par passage Augm. de ZnAl₅ par passage Augm. du ZnAl₁₅ par passage



L'augmentation est parallèle pour les deux types de flamme. L'adhérence est inférieure de 20 % en raison de la porosité.

Épaisseur de la métallisation

Les figures 3.3 et 3.6 représentent l'épaisseur de métallisation obtenue à 3,3 mm/min pour le zinc pur et le ZnAl en une épaisseur de revêtement de 100 µm. On observe que la vitesse de passage de 3,3 mm/heure et 3 mm/heure est suffisante pour obtenir une épaisseur de revêtement de 100 µm.

Épaisseur du revêtement

de Zn en fonction

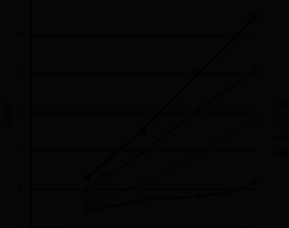
du passage



Épaisseur du revêtement

de ZnAl15 en fonction

du passage

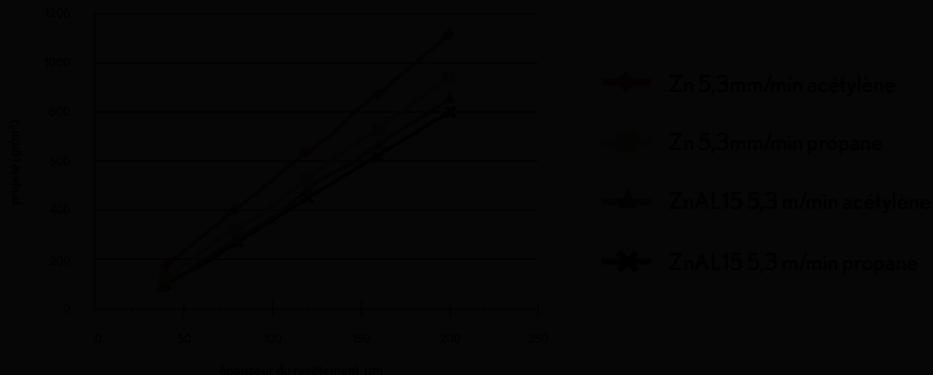


Corrélation entre l'augmentation du poids et l'épaisseur du revêtement

Les figures 3.3 et 3.4 et les figures 3.5 et 3.6 concernant l'épaisseur de revêtement permettent de déterminer la densité apparente de la couche projetée. Cette corrélation montre également que cette densité apparente change lors de chaque passage. Il s'en suit que la porosité diminue avec l'épaisseur du revêtement.

La densité apparente d'une couche de métallisation en Zn pur est en moyenne de 5,01 (par rapport à 100 % Zn = 7,1) et celle d'une couche de métallisation en ZnAl est de 4,77 (par rapport à 100 % ZnAl = 5,73). On obtient une porosité moyenne de 12 %.

Corrélation entre l'épaisseur et le poids



Lequel travaille avec un taux de remplissage de 70% et est le moins cher par litre d'huile remplie? La réponse est évidemment la plus grande machine de la gamme, celle de 10 litres de capacité.

Capacité



Surface sable



Si on peut faire passer une machine dans un espace restreint, on peut aussi faire passer un appliqueur à une machine. C'est donc possible d'appliquer l'engrais dans un espace restreint, même si on ne peut pas passer une machine.

Si on peut faire passer une machine dans un espace restreint, on peut aussi faire passer un appliqueur à une machine. C'est donc possible d'appliquer l'engrais dans un espace restreint, même si on ne peut pas passer une machine.

Si on peut faire passer une machine dans un espace restreint, on peut aussi faire passer un appliqueur à une machine. C'est donc possible d'appliquer l'engrais dans un espace restreint, même si on ne peut pas passer une machine.

de remplissage et le taux de remplissage du réservoir. Cela est dû au fait que les machines de plus grande capacité ont un réservoir plus grand et un système de remplissage plus complexe.

Capacité



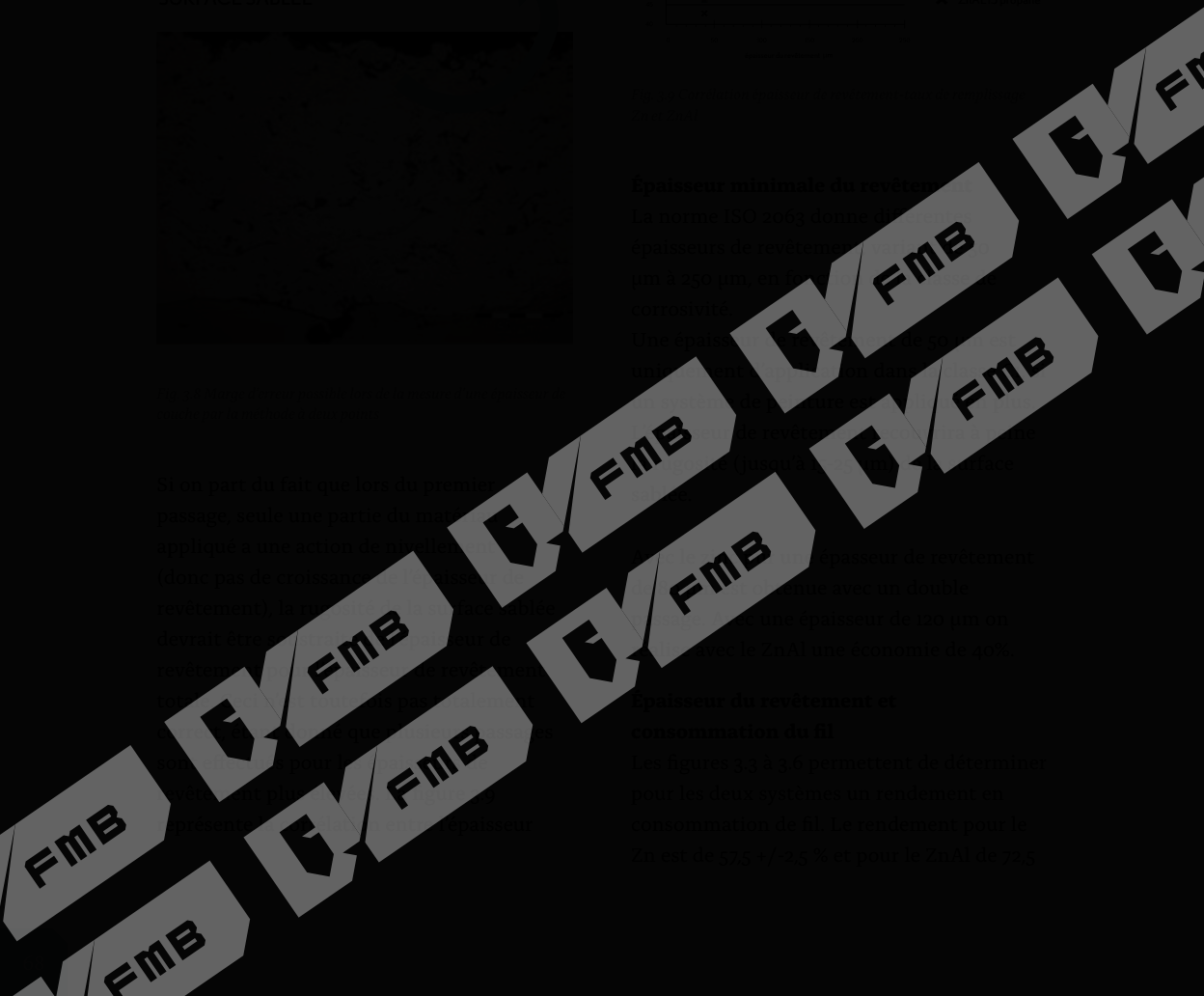
Taux de remplissage



Si on peut faire passer une machine dans un espace restreint, on peut aussi faire passer un appliqueur à une machine. C'est donc possible d'appliquer l'engrais dans un espace restreint, même si on ne peut pas passer une machine.

Si on peut faire passer une machine dans un espace restreint, on peut aussi faire passer un appliqueur à une machine. C'est donc possible d'appliquer l'engrais dans un espace restreint, même si on ne peut pas passer une machine.

Si on peut faire passer une machine dans un espace restreint, on peut aussi faire passer un appliqueur à une machine. C'est donc possible d'appliquer l'engrais dans un espace restreint, même si on ne peut pas passer une machine.

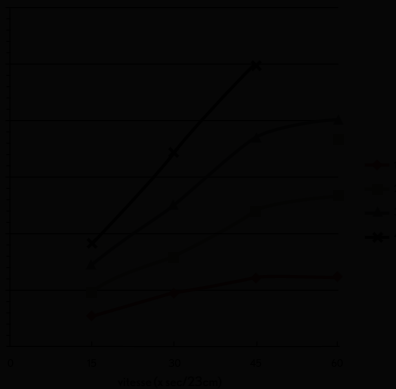


de 35 % obtenu avec le pistolet à une distance de 60 mm, comme représenté dans la figure 3.10.



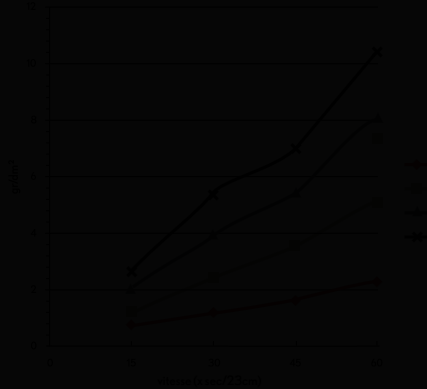
Le revêtement au propane et l'essai de dureté effectués à une distance de 60 mm au propane et les résultats de l'étude de dureté effectués à l'acétylène ont été confirmés. On arrive à un rendement de 30 % pour le zinc et de 70 % pour ZnAl, toutefois à une vitesse de projection intérieure 13,75 m/min par rapport à 5,5 m/min pour le Zn.

Poids de Zn en fct. de passage



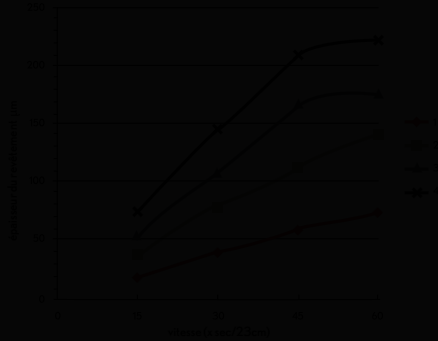
Projet de revêtement

Poids de ZnAl15 en fct. de passage

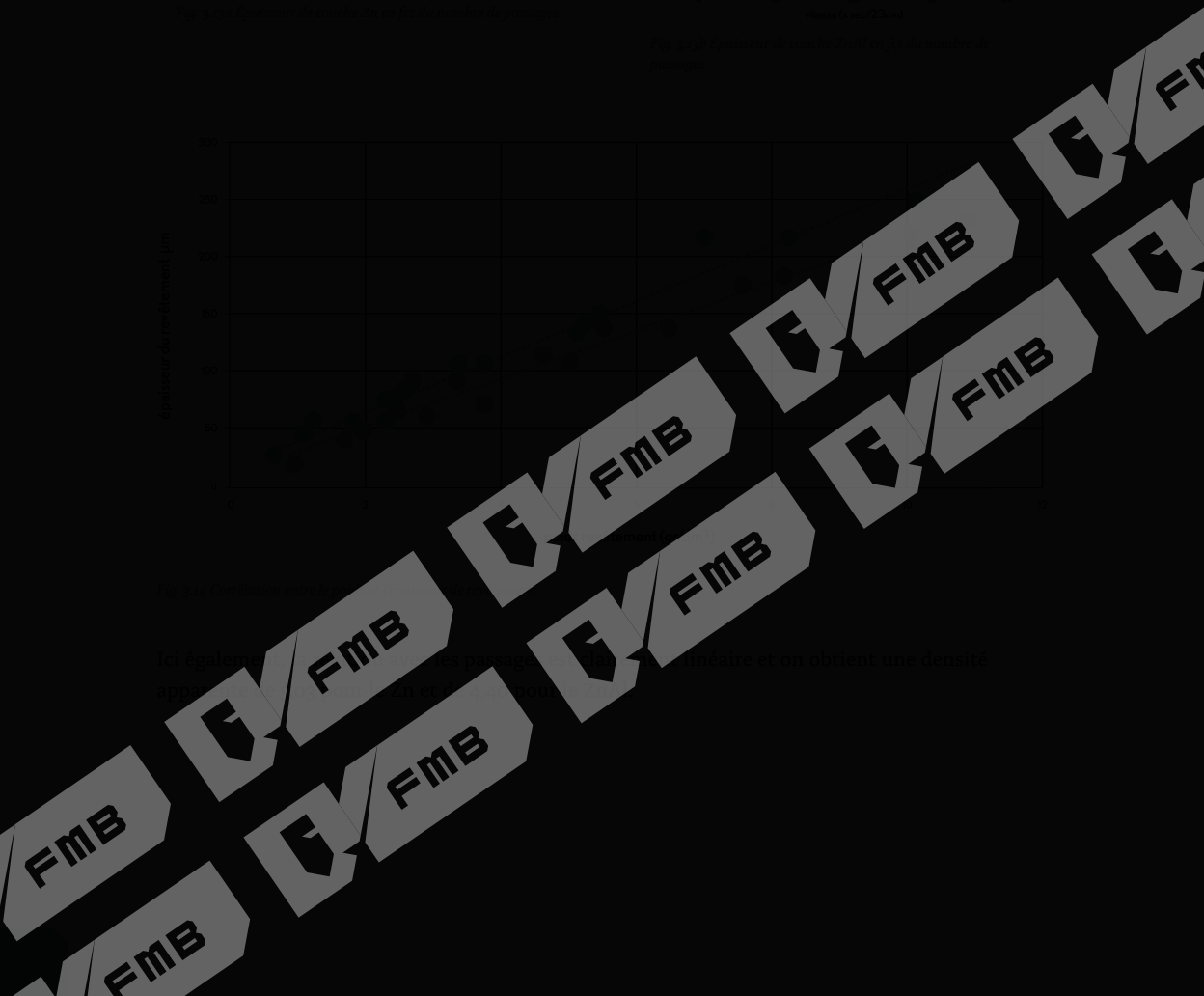
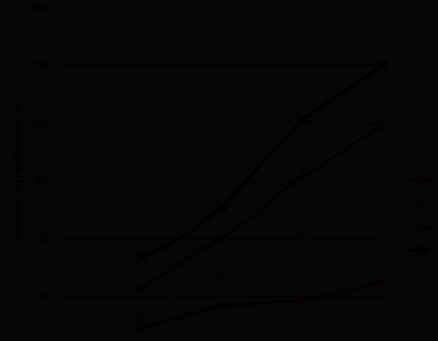


Il est à remarquer qu'à une épaisseur de revêtement de seulement 40 µm, le risque éventuel de manque d'épaisseur de revêtement au niveau des sommets de la rugosité de la surface grenailée existe encore (et ce d'autant plus lors d'une projection manuelle).

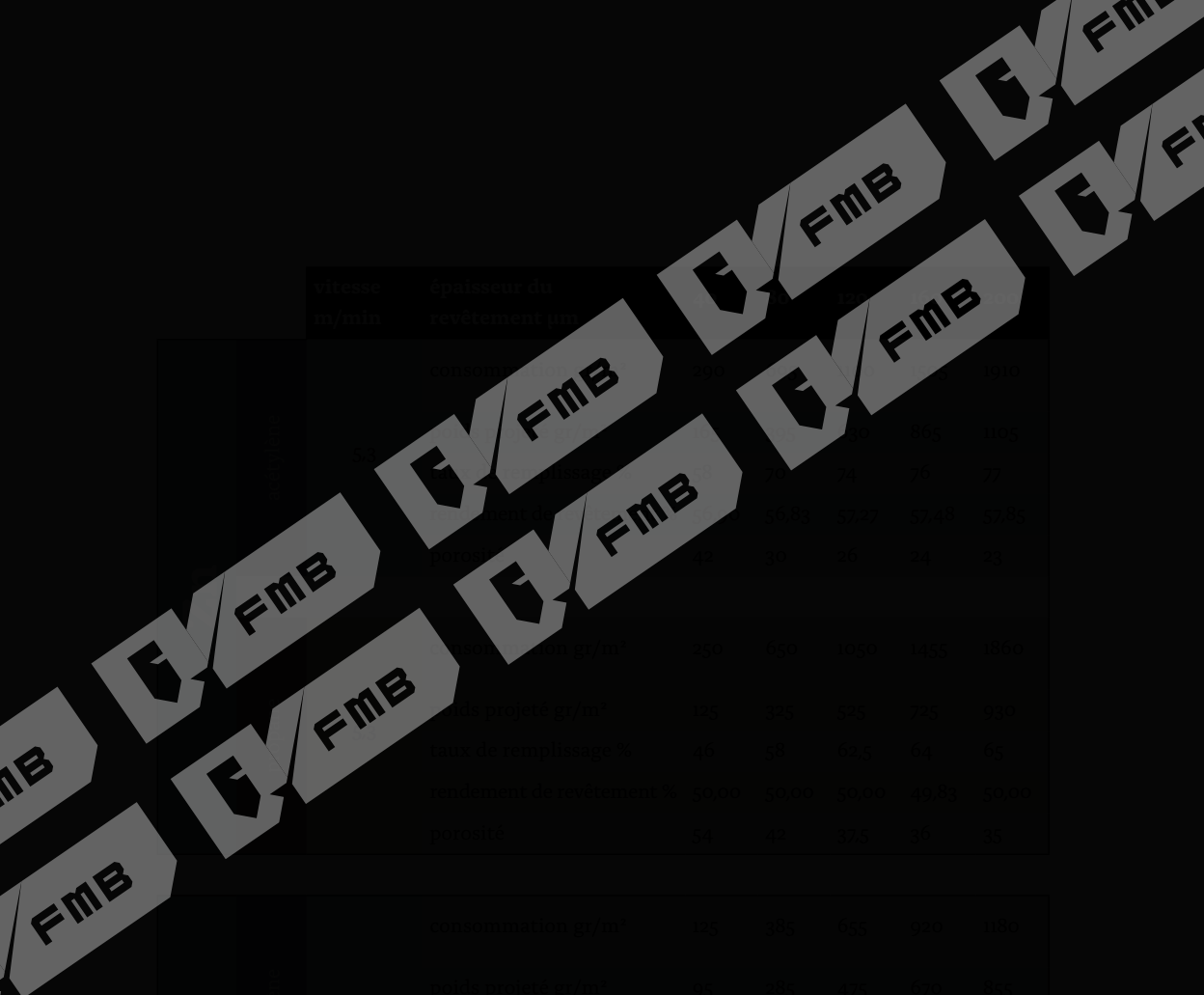
Épaisseur de revêtement
de Zn en μm , du passage



Épaisseur de revêtement
de ZnAl₁₅ en μm , du passage



Tous droits réservés. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de la FMB est formellement interdite. Toute utilisation non autorisée sera considérée comme une violation des lois en vigueur.



vitesse
m/min

épaisseur du
revêtement µm

	100	150	200	250	300	350	400	450	500
consommation en m ³ /h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
puissance propre en kW	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
taux de remplissage	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
rendement de revêtement	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
parabole	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
consommation en m ³ /h	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
puissance propre en kW	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
taux de remplissage	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
rendement de revêtement	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
parabole	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

© 2014 FMB - Tous droits réservés. Toute réimpression est interdite.

3.2.3 Études récentes avec un arc électrique

À l'heure actuelle, les installations électriques sont de plus en plus fréquemment utilisées pour la métallisation. Il était donc temps de recommencer l'étude des années 70 avec les pistolets de projection à l'arc électrique actuels. L'étude a été réalisée au centre d'application de trials Werke AG (Duisburg, Allemagne) au cours de la période 2019-2020 et comprenait entre autres l'influence de la plupart des paramètres du procédé sur l'efficacité de recouvrement de la métallisation et les avantages de l'utilisation d'un fil de Zn/Al dans la lutte contre la corrosion.

Plusieurs paramètres peuvent être réglés sur les pistolets de projection à arc électrique : leur influence sur la qualité du revêtement de métallisation était également testée. Certains chaînons manquants ont ainsi été trouvés et les résultats des séries de test antérieures [6, 66] ont été complétés. Pour éviter l'influence de paramètres humains, un KUKA robot a été utilisé et l'échantillon prélevé était suffisamment grand pour obtenir de bons résultats et de bonnes données pour les différents réglages paramétriques. Une plaque d'acier de 1/4 m² était découpée et grenillée selon la norme ISO 10000 à un degré de propreté Sa 2,5. La surface de surface finale de la plaque d'acier représente le traitement de surface d'essai.



Différents paramètres étaient testés, tels que le diamètre du fil, la densité de courant, la tension, la distance par rapport à la surface, la pression de l'air, la vitesse, le rythme de fusion et également différents types de pistolets.

Résultats de l'étude

Le but de l'étude était l'analyse de l'efficacité de revêtement de Zn/Al en fonction de différents paramètres de métallisation.

Le revêtement de Zn/Al est mesuré par rapport au poids de la surface de la plaque d'acier. Le poids moyen de Zn/Al est mesuré par rapport au poids de la surface de la plaque d'acier.

Le revêtement de Zn/Al est mesuré par rapport au poids de la surface de la plaque d'acier.

Le revêtement de Zn/Al est mesuré par rapport au poids de la surface de la plaque d'acier.

Le revêtement de Zn/Al est mesuré par rapport au poids de la surface de la plaque d'acier.

Le revêtement de Zn/Al est mesuré par rapport au poids de la surface de la plaque d'acier.

Le revêtement de Zn/Al est mesuré par rapport au poids de la surface de la plaque d'acier.



La vitesse de recouvrement augmente avec l'augmentation du diamètre et on obtient un avantage d'environ 10 % pour le fil en ZnAl par rapport au fil en Zn.

Vitesse de recouvrement pour une épaisseur de revêtement moyennée de 100 µm

Ø	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

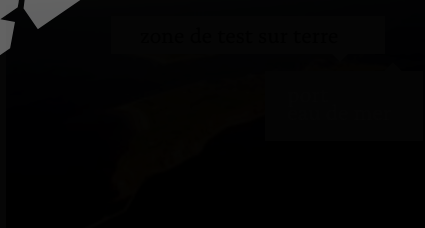
Qualité de la métallisation

L'effet de la pression de l'air est le plus important sur la qualité de la métallisation. Plus le fil est épais, plus la couche de protection est poreuse. Ceci est indiqué dans la figure 2.10.

2.2.4. Étude comparative des couches de protection par métallisation dans un environnement offshore & maritime [40]

Dans le cadre du test de systèmes anticorrosion pour des installations offshore, un projet a démarré en 1999 pour comparer la composition optimale des différents systèmes de métallisation. Il s'agissait d'une pré-étude pour le test de plusieurs systèmes duplex présentant une métallisation ZnAl comme sous-couche. Tous les systèmes étaient testés à l'aide d'échantillons particuliers sur une plate-forme destinée à cette fin. Trois systèmes de plate-forme étaient étudiés simultanément pour l'action de la métallisation à long terme rapport à la corrosion dans les zones de classe C2/M2 dans une atmosphère d'écoulement de vent dans une zone de classe C2/M2 dans une atmosphère d'écoulement de vent dans une zone de classe C2/M2.

Le test a été effectué sur une plate-forme offshore pendant 10 ans.



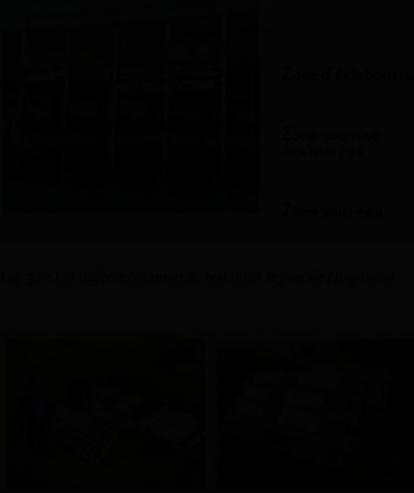
Étant donné que l'agressivité de la mer du Nord est au moins 1,5 fois de celle comprise du collier, la protection contre la corrosion (comme les dimensions et les influences des matériaux) doit provoquer également une fois et demi plus de corrosion. On constate une existence d'une corrosion supplémentaire de 50 % et également une

Pour obtenir une vue globale de la protection contre la corrosion d'une couche de laque abîmée (par exemple par une rayure/fissure), une série de tests complète a été mise au point en 1999 pour tester la protection finale contre la corrosion apportée par la métallisation à nu dans les quatre zones de sollicitation (atmosphère maritime, zone sous eau, zone soumise aux marées et zone d'éclaboussure) et ce pour des revêtements de métallisation présentant différentes concentrations en aluminium (0 %, 2 %, 4 %, 10 %, 15 % et 22 %). Le but était de déterminer laquelle de ces compositions se comportait le mieux dans une zone donnée (cf. tableau 2.2).

	Temps en h	Épaisseur de revêtement
Zone 1	2000	200 µm
Zone 2	2000	200 µm
Zone 3	2000	200 µm
Zone 4	2000	200 µm
Zone 1	2000	200 µm
Zone 2	2000	200 µm
Zone 3	2000	200 µm
Zone 4	2000	200 µm

Après leur prélèvement, les échantillons ont dû être nettoyés soigneusement pour obtenir une vue de l'état des surfaces. Ils étaient en effet fortement recouverts d'algues, un des trois éléments de sollicitation (fig. 3.2) dans la mer du Nord. Les tests comparatifs ont été réalisés selon la norme EN 10269.

La fig. 3.22 montre les zones de test telles qu'installées dans le port de Helgoland pour la zone sous eau, la zone scumlar aux marées et la zone d'éclaboussure. La fig. 3.23 représente les panneaux de test sur terre.



Les panneaux dans la zone de l'atmosphère maritime (sur terre fig. 3.24) donnent une image uniforme. On ne constate aucune corrosion directe ni une après l'exposition à l'air de la mer du Nord sur terre. La mesure de l'épaisseur de revêtement montre toutefois une perte d'épaisseur pour la métallisation en zinc pur.



Résultats

L'état a été évalué selon la norme DIN EN 12065. L'état général des échantillons en ce qui concerne la rouille a été contrôlé après le nettoyage. Ensuite, une mesure de l'épaisseur de revêtement a été effectuée. Elle a été réalisée après 2 ans, 4 ans et 6 ans de corrosion par la mer.

FMB

FMB

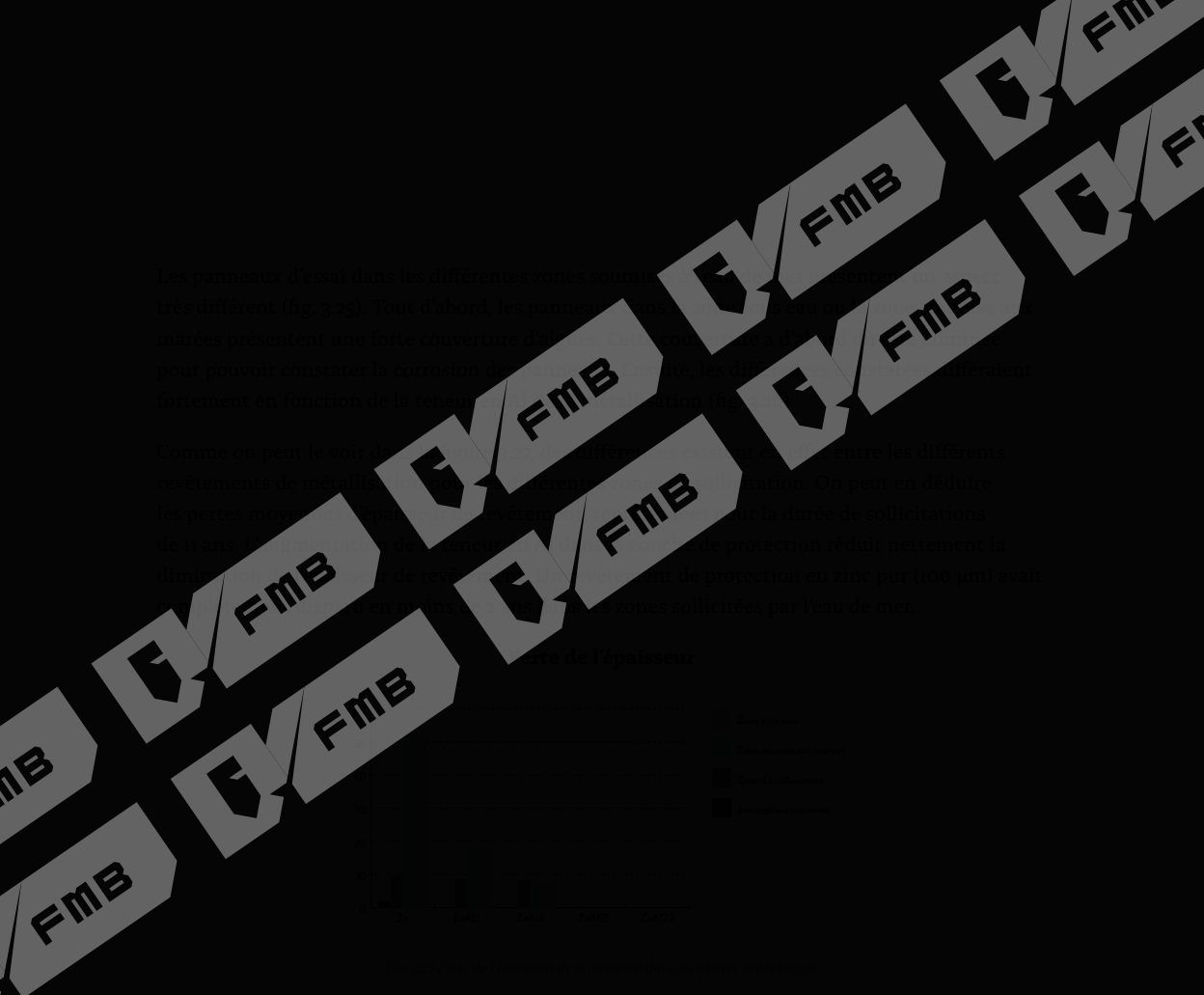
FMB

FMB

FMB

FMB

FMB



De manière générale, on peut dire que le choix de vos équipements de site est la bonne solution si peut complètement répondre vos besoins pour le bon coût de votre système d'info.

Résumé

Suite à un choix de système minimal visant à satisfaire comme population pour les opérations de base, vous réalisez dans un délai et un espace de développement minimum un investissement de complément des plus surmontés d'un système de langage double et basé depuis sur un environnement performant capable de gérer tous les besoins, une couche de protection à base de polyméthacrylate.

© 2000 FMB - Tous droits réservés. FMB est une marque déposée de FMB.

Adresse postale :
FMB - 10000
Téléphone :
Fax :
E-mail :
Site Web :

10000 FMB - 10000 FMB - 10000 FMB - 10000 FMB - 10000 FMB

Une forte croissance d'algues est constatée dans la zone sous eau et la zone soumise aux marées, mais celle-ci ne semble pas avoir eu d'influence sur la corrosion des systèmes sur la durée du test. Les différents types de sollicitation n'ont pas d'influence sur le comportement de corrosion, sauf dans la zone d'éclaboussure, où l'acier à nu est très critique.

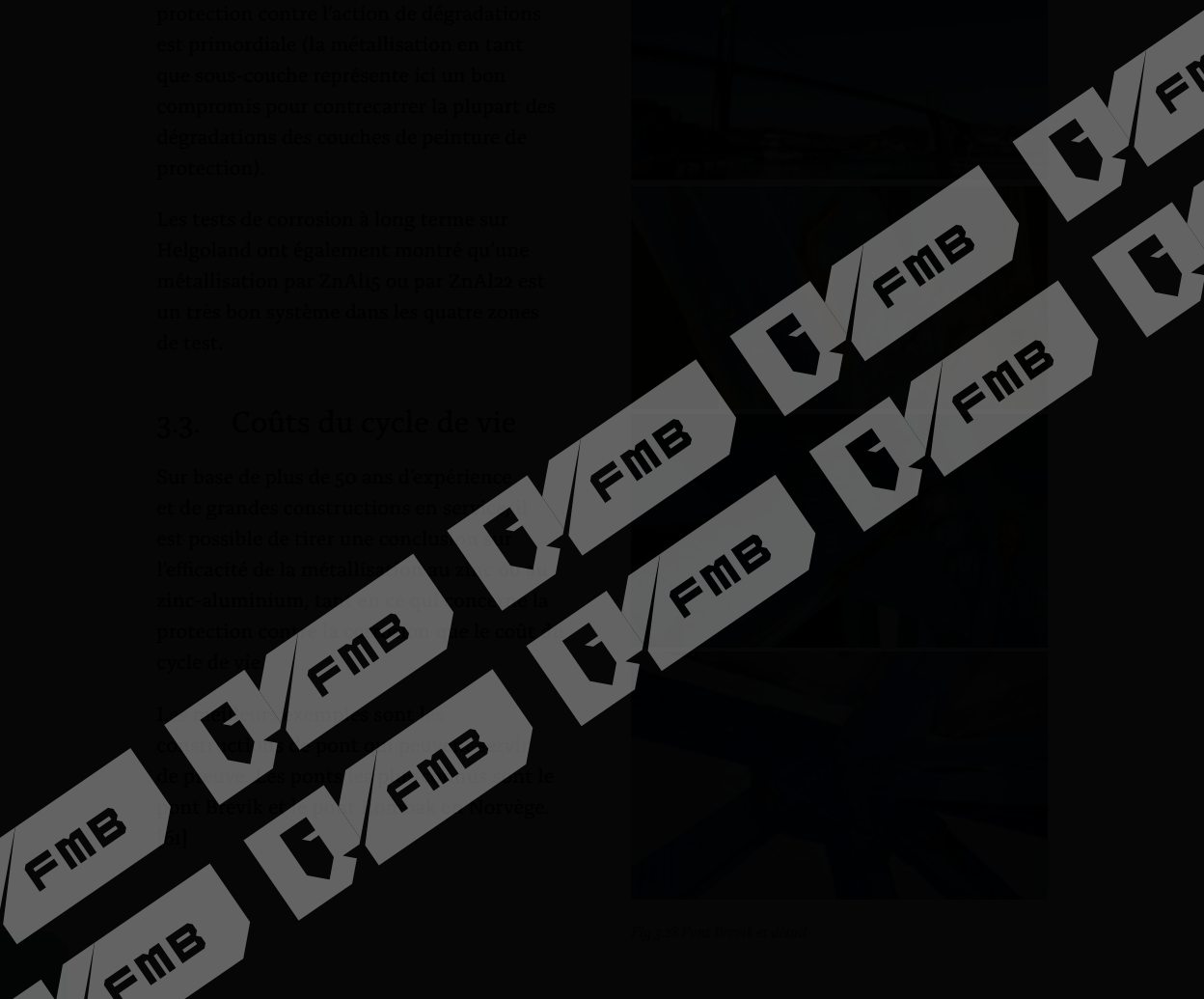
Une dégradation du revêtement de protection (action d'une entaille) est très agressive et provoque une corrosion de l'acier. Par conséquent, le très bon adhérence mécanique des revêtements de protection contre l'action de dégradations est primordiale (la métallisation en tant que sous-couche représente ici un bon compromis pour compenser la plupart des dégradations des couches de peinture de protection).

Les tests de corrosion à long terme sur Helgoland ont également montré qu'une métallisation par Zn-Alu ou par Zn-Al-Cd est un très bon système dans les quatre zones de test.

3.3 Coûts du cycle de vie

Sur base de plus de 30 ans d'expérience et de grandes constructions en acier, il est possible de tirer une conclusion favorable de la durabilité d'un revêtement aluminium + protection cathodique. Le coût du cycle de

Le pont Breck (cf. fig. 220) a été construit en 1972 avec un revêtement classique par des systèmes de peinture. Au cours de la période 1972-1990, le pont a été renoué plusieurs fois par des systèmes de peinture et, en 1991, une rénovation complète par un sablage et des systèmes de peinture les plus modernes a été effectuée : peinture riche en résine époxy et une couche de friction en polyuréthane. En 2001, une nouvelle corrosion au niveau des transitions et des brides était constatée, ce qui a conduit à une rénovation complète en 2003.



Le pont Fombal (cf. fig. 2.20) à Narvik a été construit avec un système duplex à base de métallisation au zinc et une couche intermédiaire en peinture de protection. Une peinture de renouvelage de la couche de peinture est observée après 40 ans de service.



Figure 2.20. Comparatif du coût de protection (coût initial + coûts d'entretien) sur une période de 100 ans.

Coût (€)	Année
Investissement initial (duplex)	200
Coût d'entretien (duplex)	10
Total	210

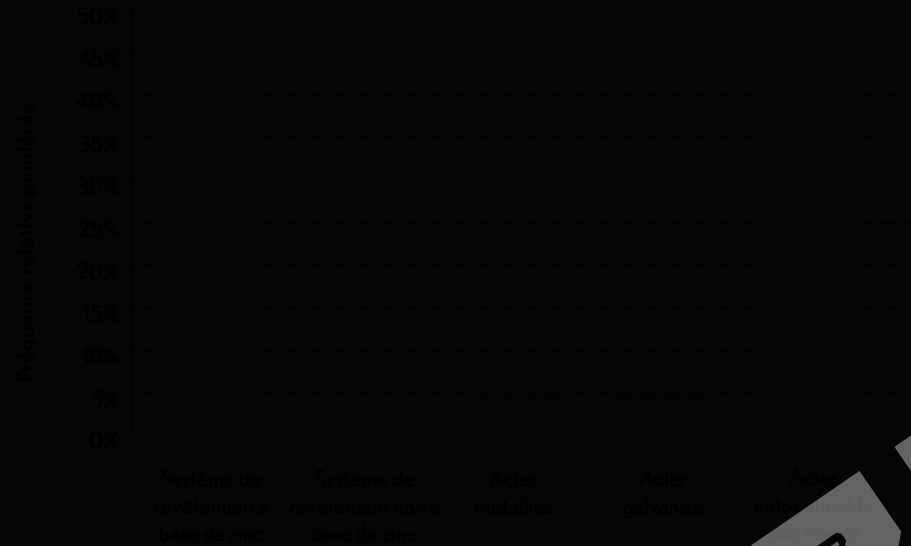
Coût (€)	Année
Investissement initial	100
Coût d'entretien (100)	10
Coût d'entretien (200)	10
Reconstruction totale (200)	200
Coût d'entretien (200)	10
Total	330

Par conséquent, une prescription d'un système duplex TSZ à peinture a été décidée pour tous les ponts en Norvège.

En 2010, une étude de suivi a été réalisée aux États-Unis [62] par la National Corporate Highway, se rapportant aux constructions en acier et leurs coûts d'entretien. Étant donné qu'au fil du temps, plusieurs systèmes de protection avaient été utilisés, cette étude donne un bon aperçu de la résistance des différents systèmes de protection utilisés contre la corrosion.

aux États-Unis, jusqu'à 90% de mobilisation ne représentant que 2% de constructions (cf. fig. 20).

À quelle fréquence utilise-t-on chacune des technologies de protection contre la corrosion de nouvelles constructions dans une nouvelle conception d'un pont en acier ?



Il est intéressant de noter que la mobilisation pondérée des technologies de protection contre la corrosion de nouvelles constructions est de 2% (cf. fig. 20).

Coût relatif pour un pont en acier

Le coût relatif pour un pont en acier est de 1,00 (cf. fig. 21).

Le coût relatif pour un pont en béton est de 1,00 (cf. fig. 21).

Le coût relatif pour un pont en bois est de 1,00 (cf. fig. 21).

Le coût relatif pour un pont en acier est de 1,00 (cf. fig. 21).

Le coût relatif pour un pont en béton est de 1,00 (cf. fig. 21).

Le coût relatif pour un pont en bois est de 1,00 (cf. fig. 21).

Le coût relatif pour un pont en acier est de 1,00 (cf. fig. 21).

Sur le plan de l'entretien, on a tout d'abord constaté nettement moins d'entretien, voire aucun, en ce qui concerne les revêtements destinés aux ponts en acier, que les coûts de revient annuels moyennés des constructions pour les ponts en béton.

Enfin,

on a constaté que les revêtements destinés aux ponts en acier ont des coûts de cycle de vie plus élevés que ceux des revêtements destinés aux ponts en béton. On a constaté également que les revêtements destinés aux ponts en acier ont des coûts de cycle de vie plus élevés que ceux des revêtements destinés aux ponts en béton.

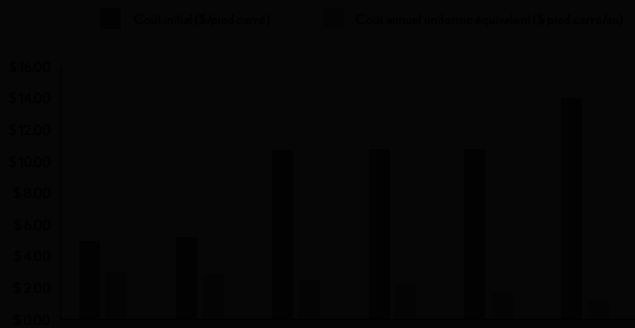
En conclusion, on a constaté que les revêtements destinés aux ponts en acier ont des coûts de cycle de vie plus élevés que ceux des revêtements destinés aux ponts en béton.

En conclusion, on a constaté que les revêtements destinés aux ponts en acier ont des coûts de cycle de vie plus élevés que ceux des revêtements destinés aux ponts en béton.

En conclusion, on a constaté que les revêtements destinés aux ponts en acier ont des coûts de cycle de vie plus élevés que ceux des revêtements destinés aux ponts en béton.

En conclusion,

Coût initial et coût de cycle de vie pour 6 revêtements destinés à des ponts en acier pour une durée de service de 60 ans dans un environnement corrosif



1. Revêtement à base de ciment

2. Revêtement à base de ciment avec fibres

3. Revêtement à base de ciment avec fibres et silice

4. Revêtement à base de ciment avec fibres et silice et silice

5. Revêtement à base de ciment avec fibres et silice et silice et silice

6. Revêtement à base de ciment avec fibres et silice et silice et silice et silice

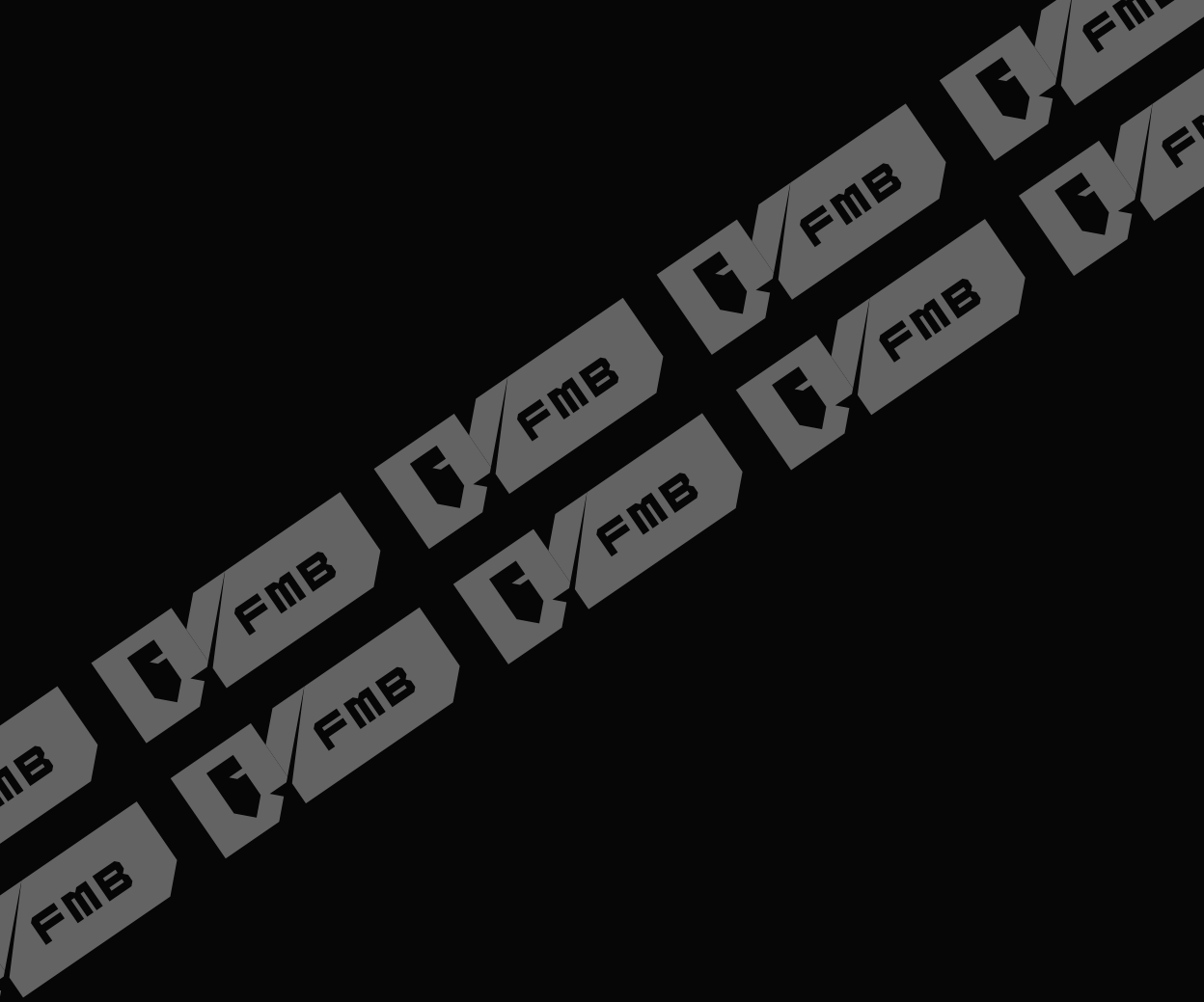
7. Revêtement à base de ciment avec fibres et silice et silice et silice et silice et silice

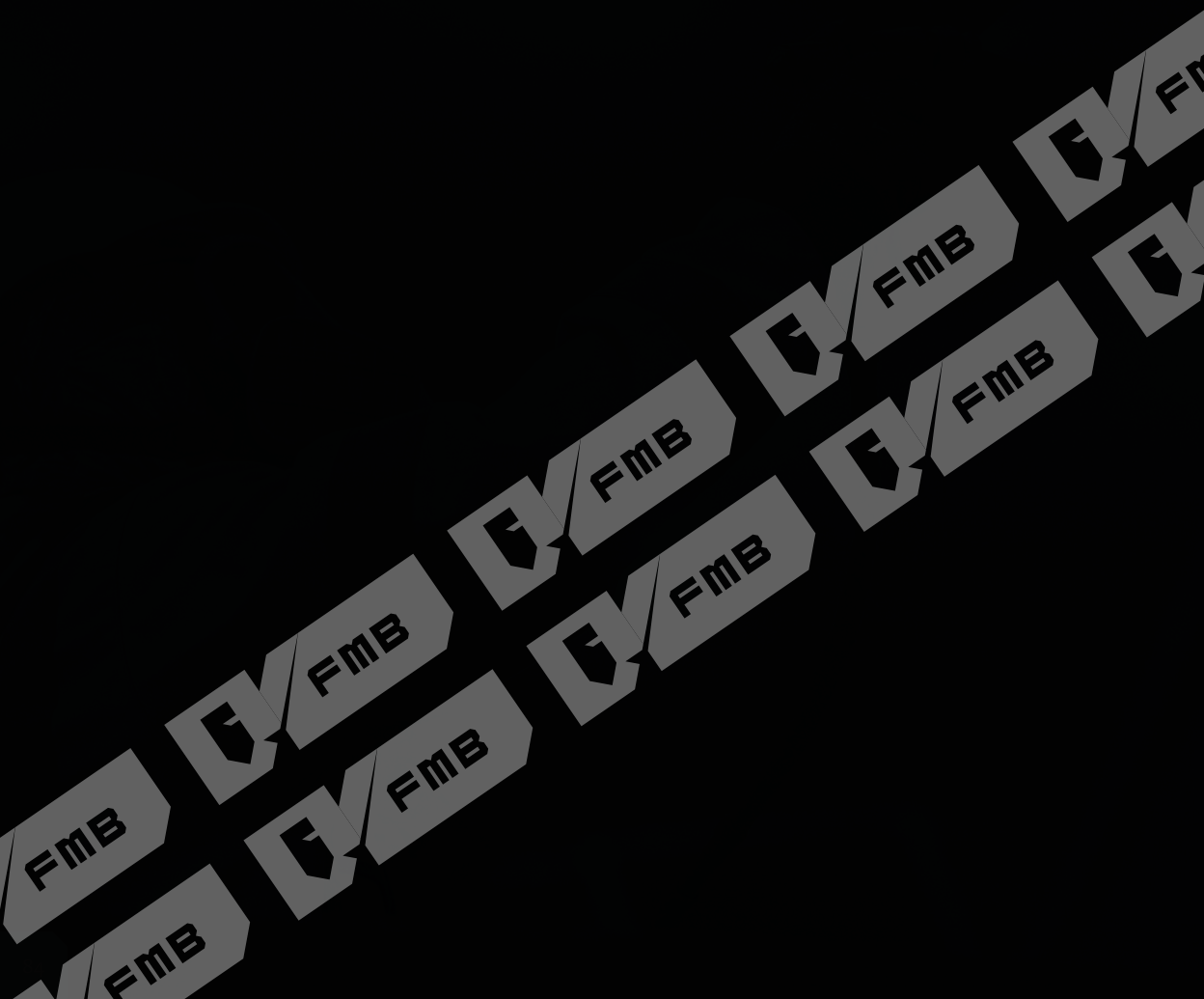
Toutes ces études montrent que la protection contre la corrosion par des systèmes duplex à base d'une métallisation par Zn et ZnAl présente le meilleur rapport coût/efficacité pour une protection à long terme contre la corrosion. Les systèmes de peinture sont initialement moins coûteux, mais présentent une évolution graduelle au fil du temps et se révèlent en fin de vie plus coûteux que les systèmes plus performants à base de métallisation par Zn et ZnAl (fig. 3-3).

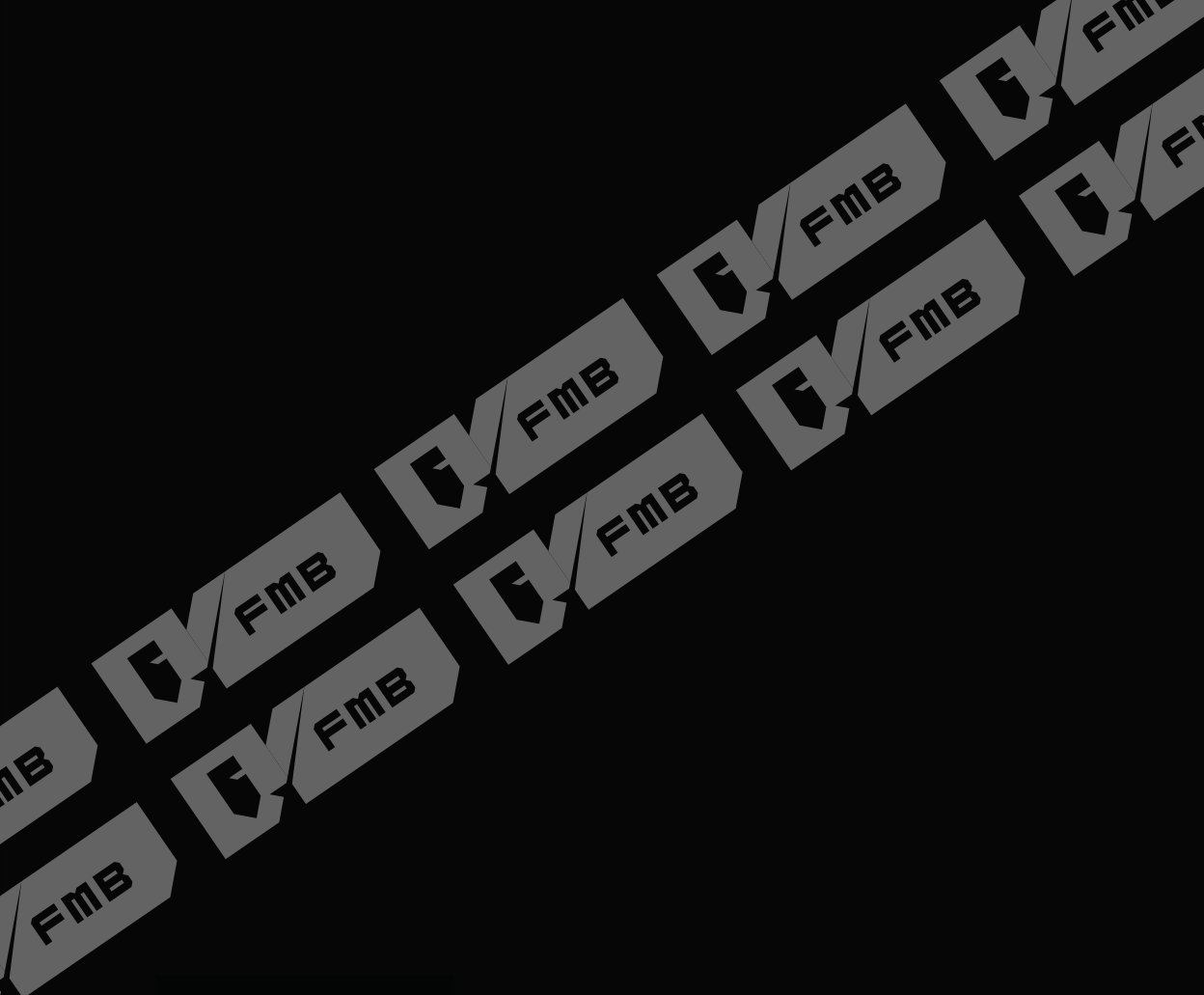
Évolution des coûts



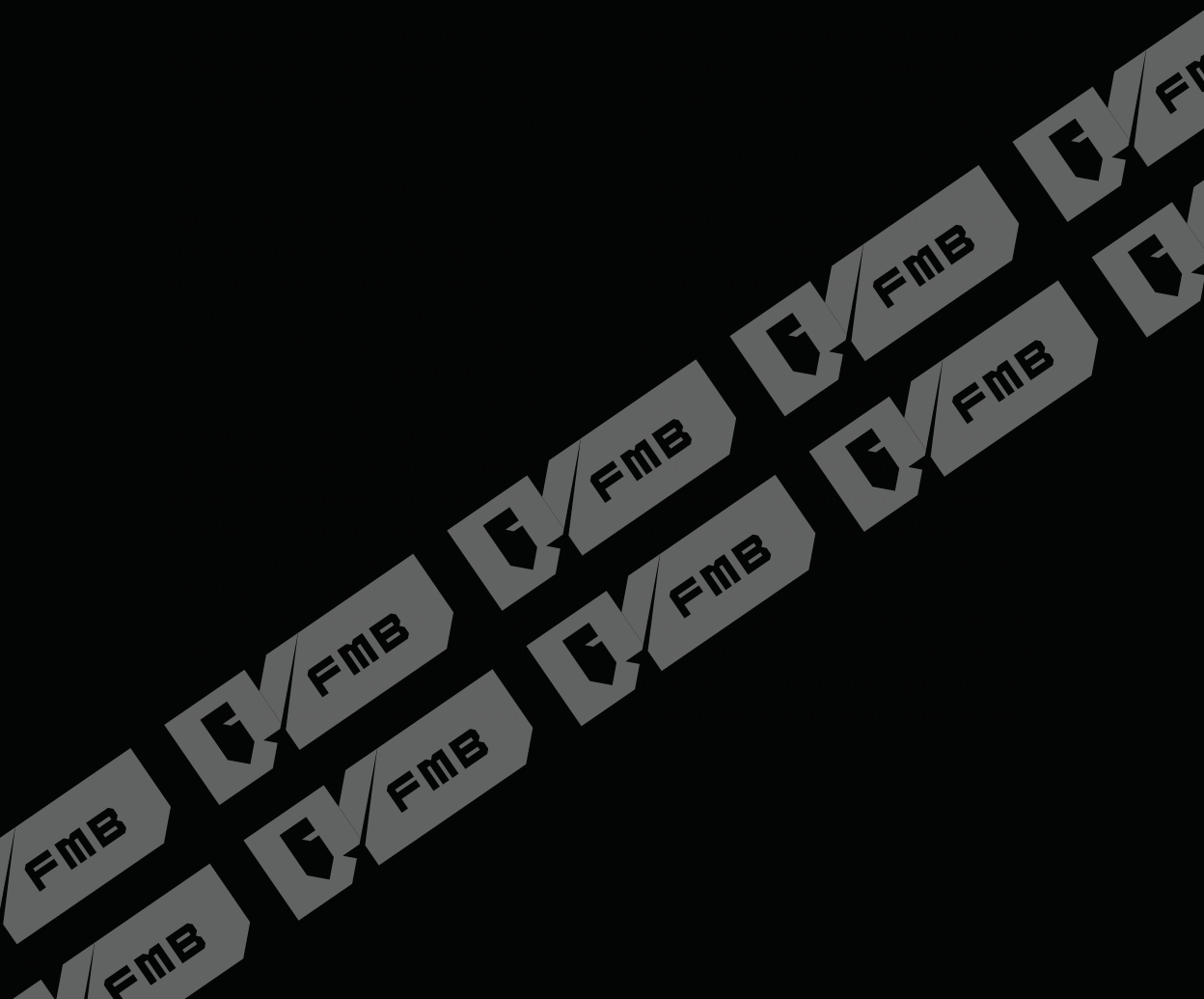
Source: www.fmb.com, www.fmb.com, www.fmb.com







SYSTÈMES DUPLEX ET MULTICOUCHES



En fonction des circonstances et de l'application, nous distinguons trois groupes de produits: la protection de surface d'aluminium ou d'un alliage Zn/Al (pour bien que l'alliage Zn/Al (82/18) est le plus souvent utilisé en Europe), les revêtements métalliques et les revêtements organiques. Les produits métalliques sont utilisés sur la base d'une norme EN 12087 (C1 à C5, Im1 à Im4) et les produits organiques sur la base d'une liste limitée des produits.

Les revêtements métalliques et les revêtements organiques sont soumis au même processus de certification correcte de toutes les étapes de la chaîne de valeur: la production, la qualification et leur adaptation aux conditions d'application. Les opérations de qualification et d'application de couches métalliques et organiques sont soumises à une réglementation stricte en matière d'environnement et de sécurité de travail. Dans la présente directive pratique, nous partons de l'hypothèse que les opérations effectuées répondent à la réglementation et aux prescriptions en vigueur.

Les informations dans ce chapitre ont été mises à jour compte tenu du développement des normes et de l'état de la technique actuellement d'application sur le marché belge.

Des solutions sont décrites pour protéger les constructions en acier contre la corrosion, indépendamment du fait que ces constructions se situent à l'intérieur de bâtiments ou à l'extérieur.

Le but de ce chapitre est de fournir un fil conducteur à tous les acteurs dans la construction (maîtres d'ouvrage, architectes,

ingénieurs, etc.). Les solutions les plus courantes et les mieux adaptées sont proposées. L'existence d'autres solutions acceptables pour un projet spécifique, qui ne sont pas décrites ici, est possible.

Systèmes innovateurs

De nouveaux systèmes anticorrosion sont développés et mis sur le marché en continu. Ils ne sont pas abordés ici et aucun avis sur leurs performances n'est donc émis ici. Simplement, ces systèmes sont encore en développement ou des directives pratiques n'existent pas encore.

Prescriptions environnementales

Nous soulignons que les prescriptions environnementales qui sont d'application sur les produits anticorrosion deviennent de plus en plus strictes et qu'elles dépendent de l'endroit où ils sont mis en œuvre. La vérification de la conformité des systèmes appliqués aux prescriptions environnementales relève de la responsabilité des différents acteurs.

Conditions spécifiques

Pour choisir un système de protection optimal, chaque étude de projet doit tenir compte des conditions spécifiques qui sont d'application pour les constructions (intérieur ou extérieur, structure visible ou cachée, accessibilité, ...).

Corrosion atmosphérique

La corrosion atmosphérique joue un rôle pour les constructions qui ne sont ni enfouies, ni immergées dans un liquide (généralement de l'eau). La corrosion de constructions enterrées ou immergées est traitée dans le § 2.2.6.

Le risque d'une corrosion atmosphérique et sa vitesse d'apparition dépendent principalement des paramètres suivants :

- l'humidité relative (de l'air interne ou externe) dans laquelle la construction en acier se trouve ;
- le risque de condensation (en fonction de l'humidité relative, de la température de l'acier et de la vitesse de déplacement de l'air) ;
- la concentration en substances polluantes corrosives (gaz, particules solides ou liquides), telles que le dioxyde de soufre, les NO_x, les acides, les alcalis ou le sel.

© FMB - 2022, 2023, 2024

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.
Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

Les solutions pour la corrosion atmosphérique sont disponibles en français sur www.fmb.be/fr/corrosion-atmospherique et en anglais sur www.fmb.be/en/corrosion-atmospheric.

4.1 Construction

4.1.1 Composition et conception du matériau de base

Le composite de base doit être conçu et fabriqué conformément aux normes EN 12068-1 et EN 12068-2. Les exigences relatives aux matériaux de base sont énoncées dans les normes EN 12068-1 et EN 12068-2. Les exigences relatives aux matériaux de base sont énoncées dans les normes EN 12068-1 et EN 12068-2.

4.1.2 Construction et soudure

Pour obtenir le meilleur résultat possible, les règles suivantes relatives à la construction doivent être observées :

lors de la conception technique de la construction, en plus certaines règles de base de construction doivent être prises en considération, ainsi qu'une limitation pour la projection thermique n'apparaît ultérieurement, comme il conviendrait lors de la conception technique, nous renvoyons aux normes EN 12068-1 et EN 12068-2, ainsi qu'aux normes EN 12068-1 et EN 12068-2.

Les transmissions nécessaires pour le dialogue thermique sont réalisées lors de la installation et ne doivent donc pas être réalisées.

Les soudures doivent être conçues de sorte que les exigences de base de construction soient prises en compte. Les exigences de base de construction sont énoncées dans les normes EN 12068-1 et EN 12068-2.

Les soudures doivent être conçues de sorte que les exigences de base de construction soient prises en compte. Les exigences de base de construction sont énoncées dans les normes EN 12068-1 et EN 12068-2.

Les soudures doivent être conçues de sorte que les exigences de base de construction soient prises en compte. Les exigences de base de construction sont énoncées dans les normes EN 12068-1 et EN 12068-2.

Les soudures doivent être conçues de sorte que les exigences de base de construction soient prises en compte. Les exigences de base de construction sont énoncées dans les normes EN 12068-1 et EN 12068-2.

Les soudures doivent être conçues de sorte que les exigences de base de construction soient prises en compte. Les exigences de base de construction sont énoncées dans les normes EN 12068-1 et EN 12068-2.

4.1.3 Constructions intégrées dans la maçonnerie

Lorsque des éléments de structure en acier se situent dans la paroi externe d'un bâtiment et qu'ils ne sont pas totalement visibles ou accessibles, le choix du système anticorrosion ne peut pas toujours être basé sur la classe de corrosivité de l'atmosphère interne du bâtiment.

Lorsque la structure en acier est protégée contre l'eau depuis l'extérieur, le choix du système anticorrosion est basé sur la classe de corrosivité qui correspond à l'atmosphère interne du bâtiment.

Cette situation se présente dans les cas suivants :

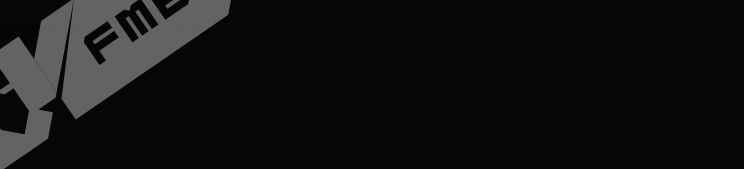
- lorsque le mur de parement extérieur du bâtiment est étanche (fig. 4.2a)
- lorsque la structure en acier est protégée contre l'eau d'infiltration :
 - soit par une couche d'air d'au minimum 40 mm (fig. 4.2b)
 - soit par une couche de matériau ininterrompu et imperméable d'une épaisseur minimale de 25 mm (fig. 4.2c).



a) Mur de parement imperméable

b) Mur de parement non imperméable - présence d'une couche d'air

c) Mur de parement non imperméable - présence d'une couche imperméable



Conditions locales

Dans certains cas, les conditions locales de l'air sont plus contraignantes et la dose de référence est le critère. On pense par exemple à la pollution autour des raffineries de pétrole, des centrales thermiques, l'incinération de gaz comprimé.

Les sollicitations

Les résultats de la modélisation sont comparés aux sollicitations. Les fig. 2.13 à 2.16

présentent des exemples en utilisant la méthode de l'indice de pollution. Les fig. 2.17 à 2.20

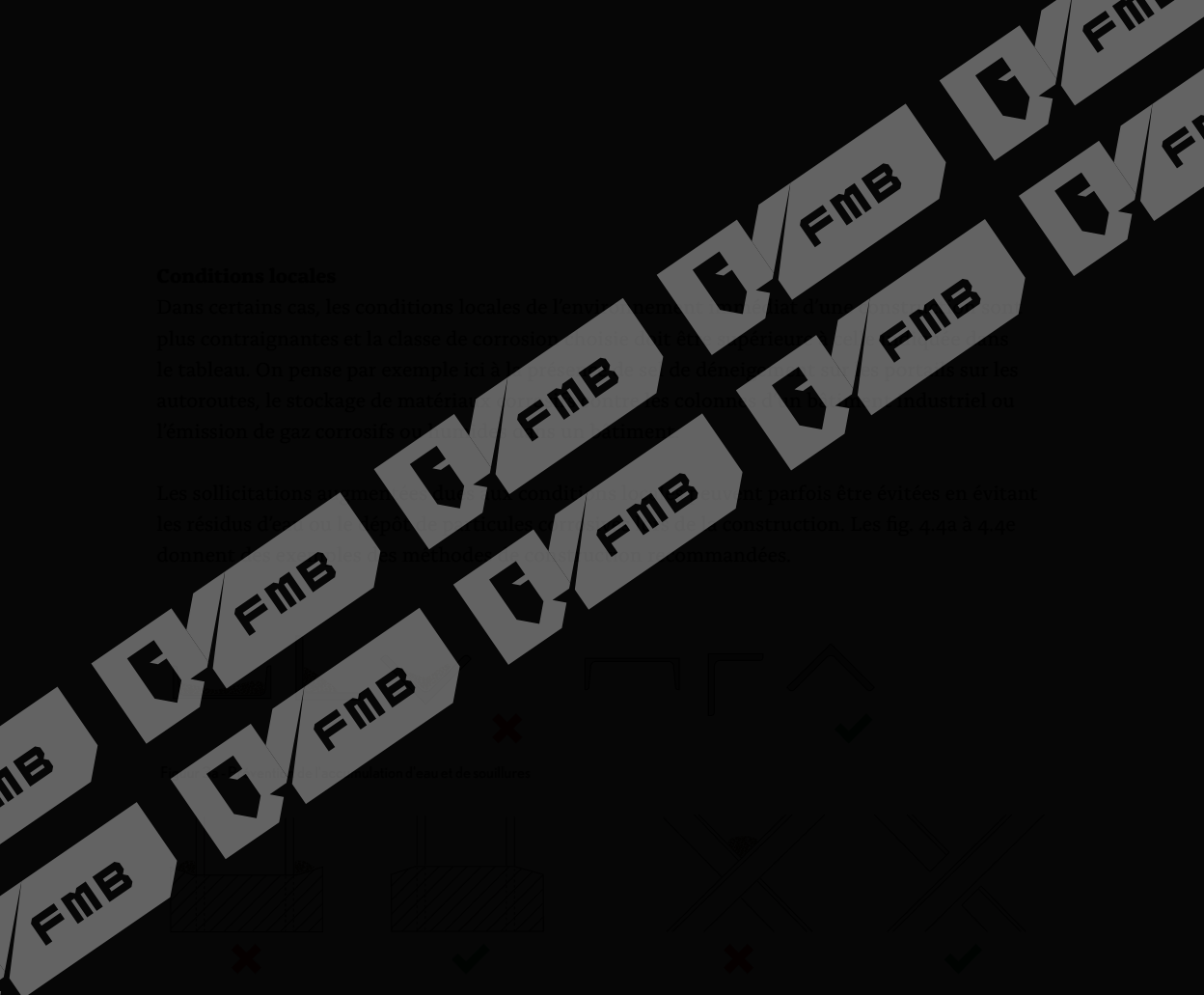


Figure 20. Présentation de la pollution de gaz comprimé (incinération)

Figure 21. Présentation de la pollution de gaz comprimé (incinération) sur des données de la modélisation

Figure 22. Présentation de la pollution de gaz comprimé (incinération)

Figure 23. Présentation de la pollution de gaz comprimé (incinération)

La couche de base est le nombre de climats développés pour la métallisation (cf. les instructions du fournisseur de peinture) et doit être appliquée au plus tard dans les 24 heures (en fonction du fournisseur de peinture) après le revêtement de la couche de base.

Les peintures à base d'alkyde et/ou la couche de finition doivent être appliquées dans les 24 heures après le revêtement.

Il faut utiliser des peintures contenant des liants qui sont compatibles avec les différents revêtements de métallisation (zinc, zinc-aluminium). La compatibilité entre les peintures contenant des liants alkyde et un revêtement de métallisation n'est cependant pas toujours assurée, car le risque de sapinification existe. Dans ce cas, le fournisseur doit confirmer par écrit que la peinture est compatible avec la métallisation.

En fonction du niveau d'agressivité de l'environnement dans lequel les pièces sont placées, les différents types de laques humides, leurs épaisseurs de couche et le nombre de couches sont prescrits par le maître d'ouvrage en concertation avec le fournisseur et l'applicateur. Si cette information fait défaut, la norme NBN EN ISO 12944-5:1998 peut être utilisée comme fil conducteur.



Le revêtement en poudre est appliqué sans traitement chimique sur la couche de métallisation. Le choix du système de laque en poudre dépend des attentes du client final en termes d'aspect de la couche de laque en poudre et de durée de vie souhaitée. La connaissance des conditions auxquelles la construction sera soumise est un point essentiel ici (cf. EN ISO 12944-3:2010).

L'application d'une laque en poudre dégraissante est fortement recommandée en raison de la porosité du revêtement de métallisation. On obtient ainsi les meilleurs résultats de durée de vie et d'aspect. Les systèmes suivants sont fréquemment utilisés :

système monocouche

Produit : laque en poudre de polyester dégraissante, durable à l'extérieur

Épaisseur de couche recommandée du système de peinture : 80-100 µm et aucune mesure inférieure à 50 µm

Remarque : dans de très rares cas, une laque en poudre thermoplastique est appliquée sur un revêtement de

métallisation. Des épaisseurs de couche supérieures à 200 µm sont alors obtenues en un seul traitement. Un dégrasage préalable est fortement recommandé ici.

Système à deux couches

Produit

- Couche de base : apprêt epoxy ou epoxy/polyester dégraissant.
- Couche supérieure : poudre de polyester résistante aux UV, durable à l'extérieur, dégraissant en noir.

L'épaisseur de couche totale

recommandée du système de peinture dépend de la classe de corrosion dans laquelle on se situe et de la durée de vie souhaitée.

Pour une durabilité optimale, il faut que la laque en poudre fine forme une barrière entre le revêtement de métallisation et l'environnement. La laque en poudre doit donc être blanche (l'utilisation d'une poudre dégraissante est indiquée à cette fin) et suffisamment épaisse selon le nombre de fois présente par le fournisseur de poudre. Le revêtement ne présentera les propriétés souhaitées que si la ventilation est optimale.

En fonction du niveau d'agressivité de l'environnement dans lequel les pièces sont placées, les différents types de poudre, épaisseurs de couche et le nombre de fois sont prescrits par le fabricant de poudre en concertation avec le fabricant de pièces et l'applicateur.

Contrôle de la qualité du revêtement

Le revêtement doit être homogène et sans

entre ces différentes parties est d'une grande importance lors de l'évaluation des revêtements. Ci-dessous nous présentons les tests les plus courants. Si toutefois des tests supplémentaires devaient être effectués ou d'autres valeurs fixes, des records réalisables entre toutes les parties concernées sont recommandés, en vue de fixer les responsabilités et les dispositions de garantie.

Éprouvettes

Les éprouvettes sont de préférence réalisées au niveau de la production, après l'application du revêtement. Elles doivent être représentatives de la série.

Tests

Les tests suivants doivent être réalisés lors du prélevement des pièces, sans dépasser les contraintes convenues entre le maître d'ouvrage et l'applicateur.

Épaisseur de couche

L'épaisseur de couche est mesurée

à l'aide d'un appareil à ultrasons

ou d'un appareil à magnéto-induction

ou d'un appareil à rayons X.

Le revêtement doit être homogène

et sans défauts (voir tableau ci-dessous).

Le revêtement de couche ne peut être

inférieur à 80 % de l'épaisseur de couche

exigée. Au maximum 20 % des éprouvettes

peuvent se situer sous l'épaisseur exigée.

Adhérence

L'adhérence de la couche de laque doit être déterminée après durcissement complet selon la norme EN ISO 12937 [30] (test de quadrillage) ou selon une collaboration par un laboratoire selon la norme ASTM D 4541 [31] (précédent). Les valeurs minimales jusqu'à 100 µm d'épaisseur de laque sont de 10 N/mm² et de 2 N/mm² pour les applications extérieures. A cette distance, la couche de protection ne peut pas présenter de rides, de coutures, d'inclusions, de piqûes ni d'autres irrégularités qui peuvent être considérées comme gênantes. Si l'application du produit exige d'autres distances de contrôle et/ou critères d'évaluation, ceux-ci doivent être fixés au préalable entre le maître d'ouvrage, l'applicateur et le métalliseur.

Lors de l'application de revêtements métalliques, vu les différences de teintes, une concertation préalable entre l'applicateur et le maître d'ouvrage est souhaitable.

Couleur

La couleur peut être évaluée par une comparaison visuelle selon la norme EN ISO 3668:2001 [32] ou mesurée selon

la norme EN ISO 12937 [30]. La brillance sous incidence normale doit être contrôlée selon la norme EN ISO 2813 [33]. La différence de brillance dans un même lot ne peut pas être supérieure à 10 % par rapport aux valeurs prescrites par le fournisseur du revêtement pour le produit durci.

Aucun pore ne peut être visible lors de l'inspection visuelle.

Pour des épaisseurs de couche jusqu'à 300 µm qui sont complètement étanches, la présence de pores dans le revêtement peut être contrôlée à l'aide d'un appareil basse tension pourvu d'une sponge. On se référera ici à la norme ASTM D463-01 [35].

Contrôle du procédé de durcissement lors du revêtement de poudre

Les laques en poudre thermodurcissables doivent être cuites selon le cycle prescrit par le fabricant. La température de l'air doit donc être contrôlée en continu en différents endroits du four à convection. La mesure de la température des pièces à des intervalles réguliers est également importante. L'élaboration d'un système de qualité propre à l'applicateur du revêtement, tenant compte de la géométrie des pièces à traiter, pour ainsi surveiller la qualité du travail de laqueage, est recommandée.

Outre la mesure dans le four, le test de polymérisation (test MEL) d'un revêtement en poudre est une méthode

importantes pour vérifier que les poudres de polyester dégrasantes sont suffisamment durcies. Dans ce test, les indications du fabricant de poudres doivent être suivies scrupuleusement pour exclure les évaluations subjectives.

4.2 Les différentes classes de corrosion

4.2.1 Classe de corrosion C1

La classe de corrosion C1 correspond à une atmosphère intérieure neutre d'un bâtiment sec et chauffé. Dans cette classe, les éléments non visibles (plafonds abaissés, greniers, ...) ne nécessitent pas de traitement anticorrosion, sauf certaines constructions intégrées dans la machinerie. Lorsque les éléments dans une atmosphère intérieure de classe C1 sont visibles, une protection minimale peut être souhaitée pour des raisons esthétiques et en vue d'un nettoyage aisé.

On notera ici qu'un bâtiment sec et chauffé dans lequel l'atmosphère n'est pas neutre (présence de gaz corrosifs ou de chlorures) relève d'une classe de corrosivité supérieure.

4.2.2 Classe de corrosion C2

Exposition dans une région non urbaine (à l'intérieur des terres). Atmosphère avec un faible taux de pollution ; région rurale, sèche avec peu de pollution de l'air.

Exemple : environnements ruraux.

Bâtiments non chauffés, condensation éventuelle.

Exemples : entrepôts, halls sportifs.





Classe de corrosion	Description de l'atmosphère	Exemples de fabrication	Exemples d'industries
C1	Atmosphère sèche et non polluée	Acier inoxydable	Industrie chimique
C2	Atmosphère sèche et faiblement polluée	Aluminium	Industrie alimentaire
C3	Atmosphère sèche et moyennement polluée	Aluminium anodisé	Industrie chimique
C4	Atmosphère sèche et fortement polluée	Aluminium anodisé épais	Industrie chimique
C5	Atmosphère humide et faiblement polluée	Aluminium anodisé épais	Industrie chimique
C6	Atmosphère humide et moyennement polluée	Aluminium anodisé épais	Industrie chimique
C7	Atmosphère humide et fortement polluée	Aluminium anodisé épais	Industrie chimique
C8	Atmosphère très humide et fortement polluée	Aluminium anodisé épais	Industrie chimique

Classe de corrosion C1
Sécheresse et industrielle à faible pollution par SO₂ à l'intérieur des locaux ou climat maritime rural.

Exemples de fabrication à degrés plus élevés d'humidité et air pollué

Exemples d'industries : papeterie, industrie alimentaire

Climat externe	Atmosphère urbaine et industrielle légèrement polluée	
Classe de corrosion	C4	
Type de régime de pollution	Métallisation / forte humidité	Métallisation – rouillement en poudre
Niveau	150 mg/m ³ - 100 mg/m ³	100 mg/m ³ - 150 mg/m ³
Précipitation	Sécher 20-25 / métallisation 20-30 mm/moyenne	Sécher 20-25 / métallisation 20-30 mm/moyenne
Température	Moyenne / Solaire (colmatage)	Rouillement en poudre épaisse ou polystyrène 20 µm
Couche intermédiaire	Sécher épais 40-60 µm	polystyrène 20 µm
Couche de finition	Polystyrène 20 µm	Rouillement de polystyrène 20 µm
Épaisseur totale nominale	100 µm	60 µm
Durée de vie prévue	10-20 ans	10-20 ans

4.2.4 Classe de corrosion C4

Climat industriel et régions côtières à faible teneur en sel

Exemples : industrie chimique, piscines





Climat extrême

Régions industrielles

Coastal

Classe de corrosion C1

Classe de corrosion C2

Classe de corrosion C3

Classe de corrosion C4

Classe de corrosion C5

Classe de corrosion C6

Classe

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

Classe de corrosion

42.5. Classes de corrosion lourde

Zone industrielle ou bâtiment à humidité élevée

42.5.1. Classe de corrosion C5

Zones industrielles et zones côtières à degré élevé d'humidité

- Zones industrielles et zones côtières à degré élevé d'humidité et atmosphère agressive, zones côtières à degré élevé de salinité
- Bâtiments et régions à condensation permanente et à degré élevé de pollution



Clima exterior	Región industrial y oficinas a temperatura ambiente	
Clase de corrosión	C2	
Tipo de sistema de protección	Metálico + capa húmeda	Metálico + revestimiento en polvo
Norma	ISO 9001 + ISO 14001	ISO 9001 + ISO 14001
Tratamiento	Sulfato de zinc + metalización en polvo	Sulfato de zinc + metalización en polvo
Capa de base	Metálico + capa (opcional)	Revestimiento en polvo (opción poliéster 120 µm)
Capa intermedia	Seda epoxy 120 µm	
Capa de acabado	Polvo húmedo 20 µm	Revestimiento de poliéster 20 µm
Resistencia a la corrosión	20 años	20 años
Garantía de pintura	5 años	5 años

4.2.2. Clase de corrosión C2

Región climática industrial y oficinas a temperatura ambiente



Régions offshore à degré élevé de salinité et atmosphère agressive ainsi que les Régions industrielles à degré élevé de salinité

Climat offshore	Climat industriel	Climat maritime en mer
<p>Préparation de surface</p> <p>Prétraitement</p> <p>Prétraitement</p>	<p>Prétraitement à haute température</p> <p>150-200µm + 150-200µm</p> <p>Sablage Sa 2,5 + métallisation 100µm Zn/Al</p> <p>Métalcoat® (selon fabricant)</p> <p>Sealer epoxy 100µm</p> <p>Polyuréthane 50µm</p>	<p>Métallisation + revêtement en poudre</p> <p>150-200µm + 150-200µm</p> <p>Sablage Sa 2,5 + métallisation 100µm Zn/Al</p> <p>Revêtement en poudre epoxy ou polyester 100µm</p> <p>Revêtement de polyurethane 50µm</p>
<p>Épaisseur totale revêtement</p> <p>Durée de vie prévue</p>	<p>≥ 200µm</p> <p>≥ 20 ans</p>	<p>≥ 200µm</p> <p>≥ 20 ans</p>

4.2.6 Classes de corrosion immergées ou enfouies

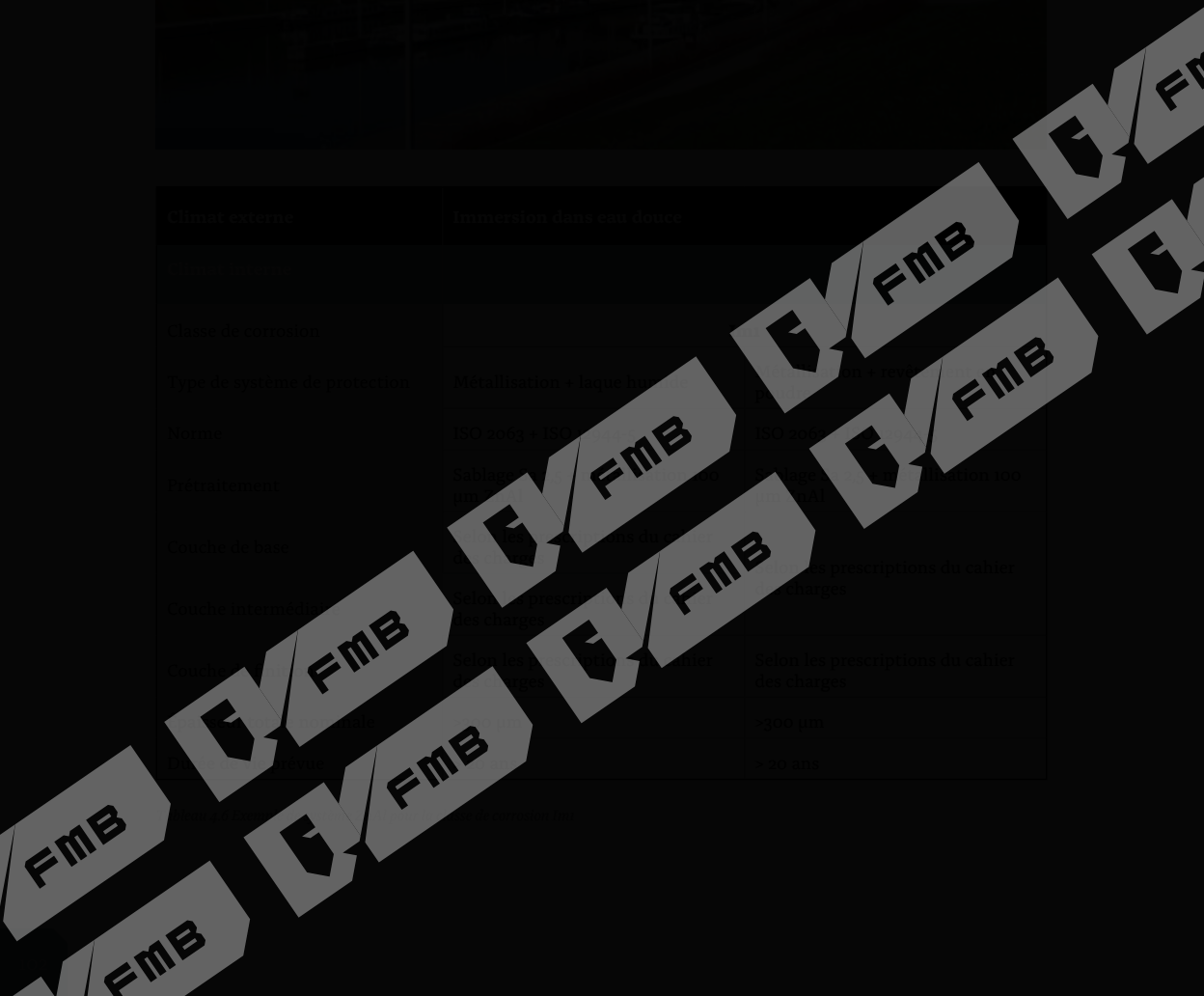
Le choix d'un système anticorrosion pour les constructions enfouies ou immergées dépend d'un grand nombre de paramètres. Il s'agit d'un choix complexe dans lequel un spécialiste doit être consulté.

Pour les constructions enfouies, les paramètres suivants doivent être pris en considération : composition chimique, teneur en eau, degré de pollution du sol et sollicitation mécanique.

4.2.6.1 Im1 – Immersion dans eau douce

Pour les constructions immergées, il faut tenir compte de la teneur en sel et de la composition chimique de l'eau et des éventuels cycles d'immersion et de séchage (qui sont déterminants pour la zone immergée, la zone de transition et la zone d'éclaboussure).

Exemples : Barrages, centrales hydroélectriques.



Global economy

Transmission data and device

Business operations

Product development

Market

Manufacturing

Customer service

Supply chain

Marketing and sales

R&D projects

Production

Logistics

Customer support

FMB

FMB

FMB

FMB

FMB

Product development
Marketing and sales
Production
Logistics
Customer support

Business operations

Market

Manufacturing

Supply chain

4.2.6.2 Im2 – Immersion dans eau de mer cathodique

Structures sous eau sans protection cathodique

Exemples structures sous

Climat externe	Immersion dans eau de mer sans protection cathodique	
Classe climatique	Im1	
Type de système de protection	Métallisation + laque humide	Métallisation + revêtement en poudre
Épaisseur	120 µm ± 10% / 120 µm ± 5%	120 µm ± 10% / 120 µm ± 5%
Prétraitement	Sablage Sa 2,5 + métallisation 100 µm ZnAl	Sablage Sa 2,5 + métallisation 100 µm ZnAl
Couche de base	Selon les prescriptions du cahier des charges	Selon les prescriptions du cahier des charges
Couche intermédiaire	Selon les prescriptions du cahier des charges	Selon les prescriptions du cahier des charges
Couche de finition	Selon les prescriptions du cahier des charges	Selon les prescriptions du cahier des charges
Épaisseur totale nominale	≥ 200 µm	≥ 200 µm
Durée de vie prévue	≥ 30 ans	≥ 30 ans

4.2.6.3 Im3 – emplacements souterrains

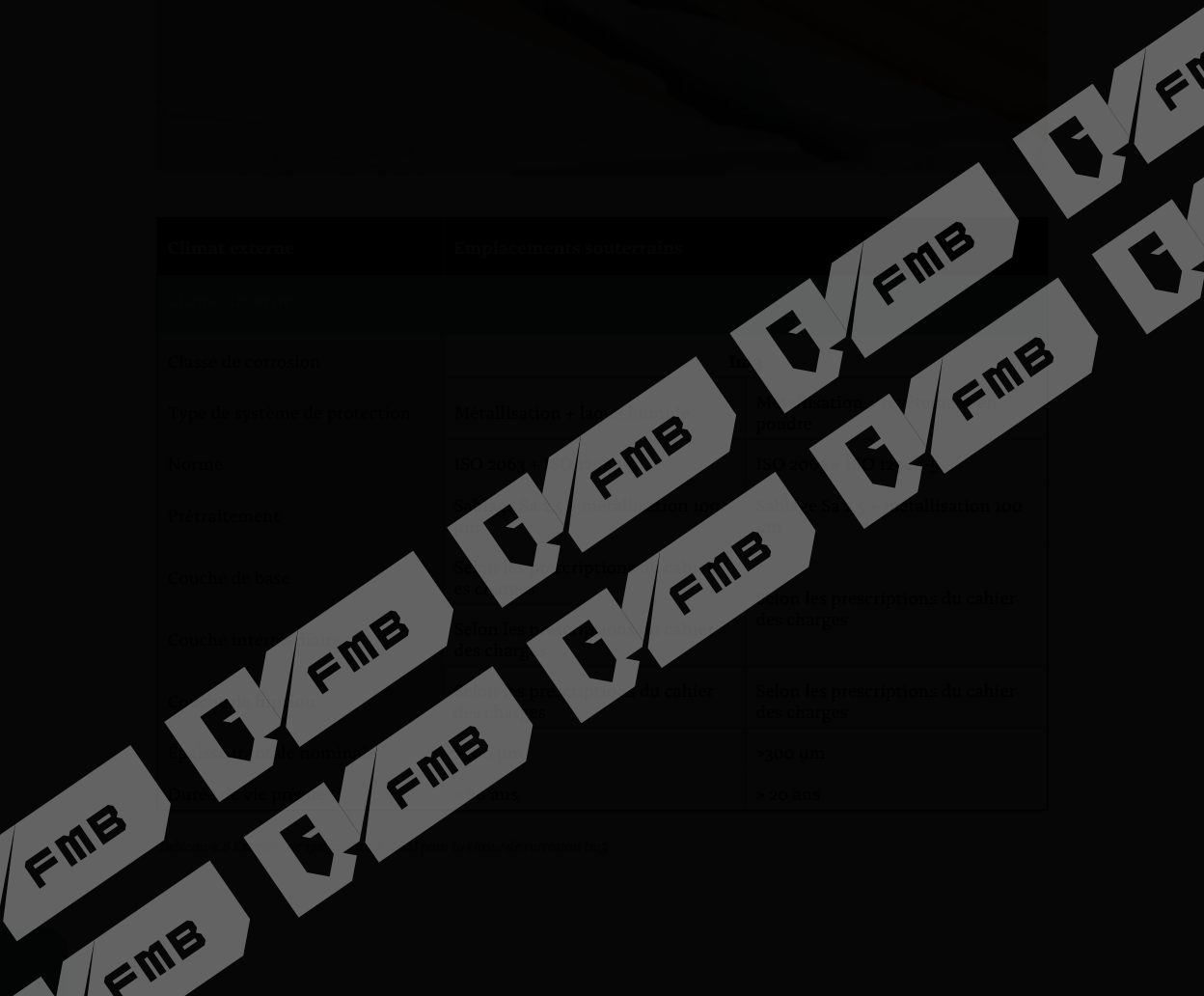
Exemples : citernes, tuyaux et puits souterrains en acier.

Climat externe	Emplacements souterrains
Classe de corrosion C4	Classe de corrosion C4
Température ambiante 10°C	Température ambiante 10°C
Humidité relative 60%	Humidité relative 60%
Conductivité de l'air 0,023 W/mK	Conductivité de l'air 0,023 W/mK
Conductivité du sol 1,0 W/mK	Conductivité du sol 1,0 W/mK
Conductivité du béton 1,7 W/mK	Conductivité du béton 1,7 W/mK
Conductivité de l'acier 50 W/mK	Conductivité de l'acier 50 W/mK

selon la prescription du volume
de l'acier

selon la prescription du volume
de l'acier

selon la prescription du volume
de l'acier



4.2.6.4 Img – Immersion dans eau de mer avec protection cathodique

Structures sous sol avec protection cathodique.
Exemples structures anodes

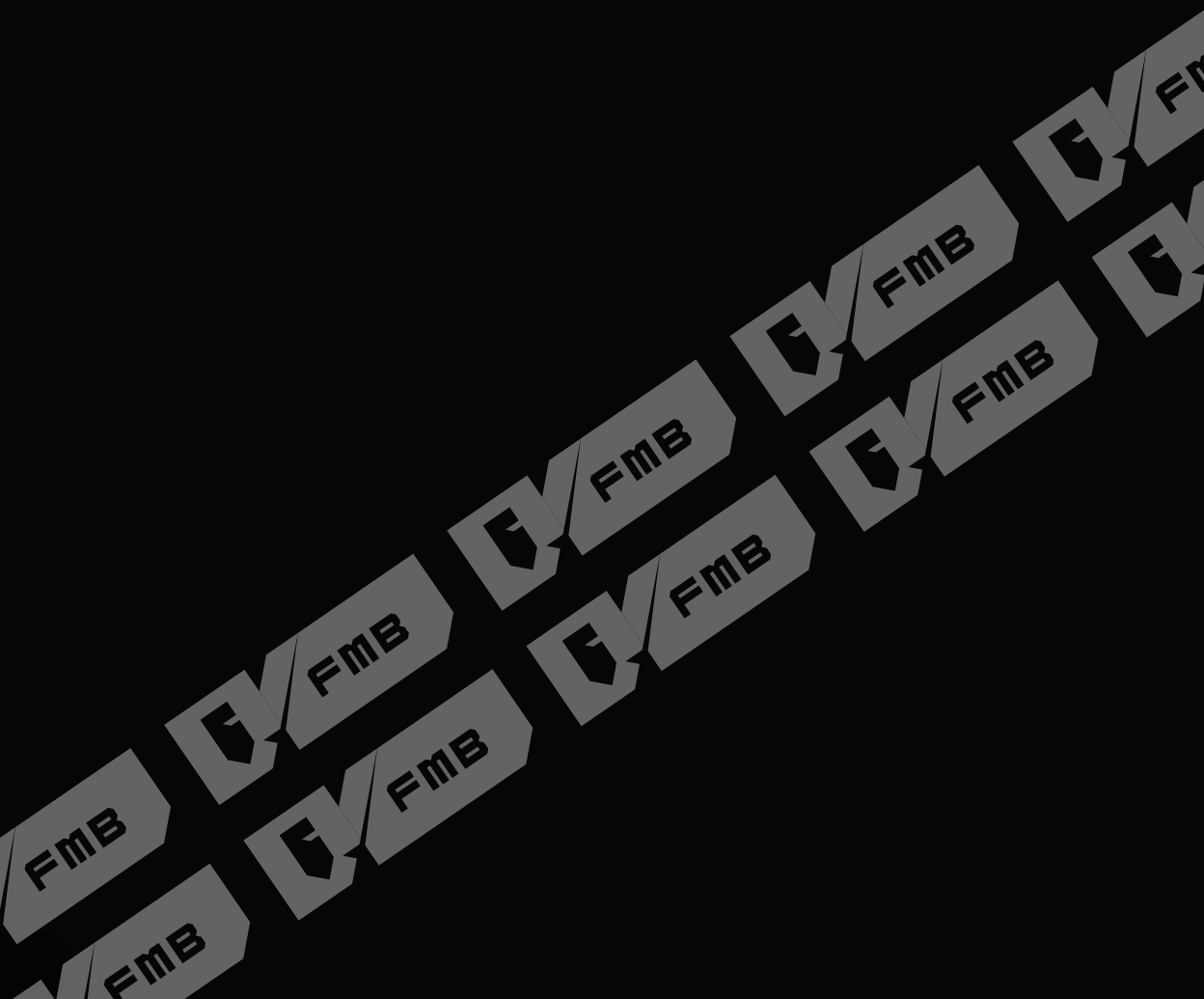


Climat externe	Immersion dans eau de mer avec protection cathodique	
Dans de combien	Img	
Type de système de protection	Métallisation + boje humide	Métallisation + revêtement en poudre
Noms	150 2003 + 150 2044 S	150 2003 + 150 2044 S
Préparations	Sablage Sa 2,5 + métallisation 100 µm ZnAl	Sablage Sa 2,5 + métallisation 100 µm ZnAl
Couche de base	Selon les prescriptions du cahier des charges	Selon les prescriptions du cahier des charges
Couche intermédiaire	Selon les prescriptions du cahier des charges	Selon les prescriptions du cahier des charges
Couche de finition	Selon les prescriptions du cahier des charges	Selon les prescriptions du cahier des charges
Épaisseur totale nominale	2000 µm	2000 µm
Durée de vie prévue	20 ans	20 ans

4.2.7 Durée de vie

On trouvera de plus amples informations sur l'action des différents systèmes anticorrosion sur base de zinc dans la norme EN ISO 14713:2009 [14] pour les matériaux d'ingénierie et ISO 20633 [14] pour les matériaux métalliques.

L'action varie en fonction du système utilisé, de l'épaisseur de la couche de protection et de la classe de corrosion.



5. Références

- [1] ISO 9004:2004 Corrosion of metals and alloys – basic terms and definitions
- [2] [https://industriemuseum-niederrhein.de/en/industry-heritage/industrial-heritage/industrial-heritage/sandaminprotection](https://industriemuseum-niederrhein.de/en/industry-heritage/industrial-heritage/industrial-heritage/industrial-heritage/sandaminprotection)
- [3] <https://www.iso.org/standard/41734.html> Preparation grades of welds, edges and surfaces with surface imperfections
- [4] <https://www.iso.org/standard/54610.html> Part 4: initial surface conditions, preparation grades and finish rust grades in connection with water jetting
- [5] <https://www.iso.org/standard/41734.html> Part 1 – design considerations and quality requirements for corrosion protection systems
- [6] <https://www.iso.org/standard/41734.html> Part 2 – execution of corrosion protection systems
- [7] ISO 3002:2013 hot rolled and cold reduced electrolytic zinc-coated carbon steel sheet of commercial and drawing qualities
- [8] EN 10323:2009 electrolytically zinc coated cold rolled flat products for cold forming
- [9] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Galvaniseren>
- [10] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Schopieren>
- [11] <https://nl.wikipedia.org/wiki/Sherardiseren>
- [12] <https://www.wink.de/themen/korrosionsschutz/mechanisches-verzinken/>
- [13] ISO 8501:2007 preparation of steel substrates before application of paints and related products – visual assessment of surfaces
- [14] ISO 3002:2013 Thermal spraying – metallic and other inorganic coatings – Zinc, aluminium and their alloys
- [15] <https://www.iso.org/standard/41734.html> Part 1 – design considerations and quality requirements for corrosion protection systems
- [16] ISO 14017:2012 Thermal spraying – terminology classification
- [17] ISO 3274:1996 geometrical Product Specification (GPS) – Surface texture profile method – Nominal characteristics of contact stylus instruments
- [18] Kokon Study- Influence of surface preparation; IOT RWTH Aachen (2018)
- [19] ASTM D 692: 2012 standard test method for nondestructive Measurements of dry film thickness of applied organic coatings using an ultrasonic coating thickness gage
- [20] ISO 3808:2007 Paint and varnishes- determination of film thickness

[20] SS PC-Pap, 2015, measurement of dry coating thickness using ultrasonic gauges

[21] E. Bullitt, G. Geng, S. M. Pizer, Wei-Lin, S. R. Ayward, Measuring tortuosity of the intracerebral vasculature from MRA images. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, Volume 23, Issue 9, Sept. 2004, p. 1163–1171

[22] Gostovic, D. et al., Three-dimensional reconstruction of porous LSCF cathodes. *Electrochemical and Solid State Letters* 2007, 10(12), p. 1374–1375

[23] ISO 4628-3: 2009, Paint and varnishes – evaluation of degradation of coatings – designation of quantity and size of defects and of intensity of uniform changes in appearance

Part 3: Assessment of degree of rusting

[24] ISO 14713: 2009, Zinc coatings – guidelines and recommendations for the protection against corrosion of iron and steel in structures

Part 1: general principles of design and corrosion resistance

Deal 2: hot dip galvanizing

[25] ISO 12944: 2012, paint and varnishes – corrosion protection of steel structures – protective paint system

Part 1: General information

Part 2: Classification of corrosion environments

Part 3: Selection of paint systems

Part 4: Application of paint systems

Part 5: Maintenance of paint systems

Part 6: Laboratory performance test methods

Part 7: Execution and supervision of paint work

Part 8: development of specifications for new work and maintenance

Part 9: Protective paint systems and laboratory performance test methods for offshore and related structures

[26] EN 12556: Thermal spraying – Recommendations for constructional design of components with thermal sprayed coatings

[27] EN 12557: 2013, Thermal spraying – Surface preparation of metallic constructions for thermal spraying

[28] ISO 14910: 2015, thermal spraying – rods and cords for flame and arc classification – chemical supply

[29] ISO 2178: 2015, Measurement of magnetic induction of coatings thickness

[30] ISO 2179: 2015, Measurement of magnetic induction of coatings thickness

[31] ISO 2180: 2015, Measurement of magnetic induction of coatings thickness

[32] ISO 2181: 2015, Measurement of magnetic induction of coatings thickness – Mechanically deposited zinc and zinc alloy – specification and test method

[33] ISO 4624: 2016, paint and varnishes – pull-off test for adhesion



[28] ISO 277:2005 Non-magnetic coatings on magnetic substrates - determination of coating thickness - magnetic method

[29] ISO 8501:2006 Preparation of steel substrates before application of paints and related products - test methods for surface cleanliness

[30] EN 12954:2006 Beschleunigte Prüfung des Aufbaus von Zink- und Zink-Nickelüberzügen

[31] EN 12955:2006 Methoden zur Korrosionsprüfung von Metallen und anderen organischen Beschichtungen

[32] VOM-Praktische Richtlijn duplex BPR - Kwaliteits Eisen voor het aanbrengen van organische deklagen op discontinu thermisch verzinkt staal (duplexstelsel)

[33] VOM-Praktische Richtlijn duplex BPR - Kwaliteits Eisen voor het aanbrengen van organische deklagen op discontinu thermisch verzinkt staal (duplexstelsel)

[34] QUALICOAT specifications for a quality label for paint, lacquer and powder coatings on aluminium for architectural applications, 6th edition, 2nd part test methods and requirements

[35] VISEM-Kwaliteits Eisen voor het industrieel aanbrengen van poedercoatings op thermisch verzinkt staal uitgegeven in oktober 2005

[36] VMRG-Kwaliteits Eisen en Adviezen 2007

[37] www.vom.be

[38] www.vts.org

[39] www.metalliseurs.be

[40] EN 12954:2006 Beschleunigte Prüfung des Aufbaus von Zink- und Zink-Nickelüberzügen

[41] EN 12955:2006 Methoden zur Korrosionsprüfung von Metallen und anderen organische Beschichtungen

[42] EN 12954:2006 Beschleunigte Prüfung des Aufbaus von Zink- und Zink-Nickelüberzügen

[43] EN 12955:2006 Methoden zur Korrosionsprüfung von Metallen und anderen organische Beschichtungen

[44] EN 12954:2006 Beschleunigte Prüfung des Aufbaus von Zink- und Zink-Nickelüberzügen

[45] ISO 1518:2002 Verven en Vernissen - toepassing op cilindrische doorn

[46] EN 13507:2001 Thermisch spuiten - voorbehandeling van oppervlakken van metalen delen en onderdelen voor thermisch spuiten

[47] ISO 8501:2012 Preparation of steel substrates before application of paints and related products

[48] Part 1: specifications and definitions for ISO surface profile comparators for assessment of abrasive blast-cleaned surfaces

[49] Part 2: Method for the grading of surface profile of abrasive blast-cleaned steel-comparator method

[50] Part 3: method for the calibration of ISO surface profile comparators and for the

determination of surface profile – foraging microscope procedure

Part 4: method for the calibration of ISO surface profile comparators and for the determination of surface profile – Stylus instrument methods

Part 5: replica tape methods for the determination of surface profile

[45]–[48] ISO 1499: 2001 Thermisch spuiten – Draden, staven en pijpen voor vlame- en hoogspuiten – Indeling – Technische leveringsvoorwaarden (ISO 1499: 2001)

[49] ISO 9223: 2012 Corrosie van metalen en legeringen – Corrosiebestendigheid van de atmosfeer – Classificatie

[50] experiences with TiZ duplex coatings, Sintel 2014

[51] arc ITSC 1037 /flame: Grillo Werke AG

[52] www.zinc.org

[53] https://www.media.de/fileadmin/user_upload_attachment/downloads/Kataloge/Allgemeines_Verzinkungsverfahren.pdf

[54] O. Knudsen, Coating systems for long lifetime thermal sprayed duplex zinc, final report, Sintel materials research, Sintel Al 0869, 2010

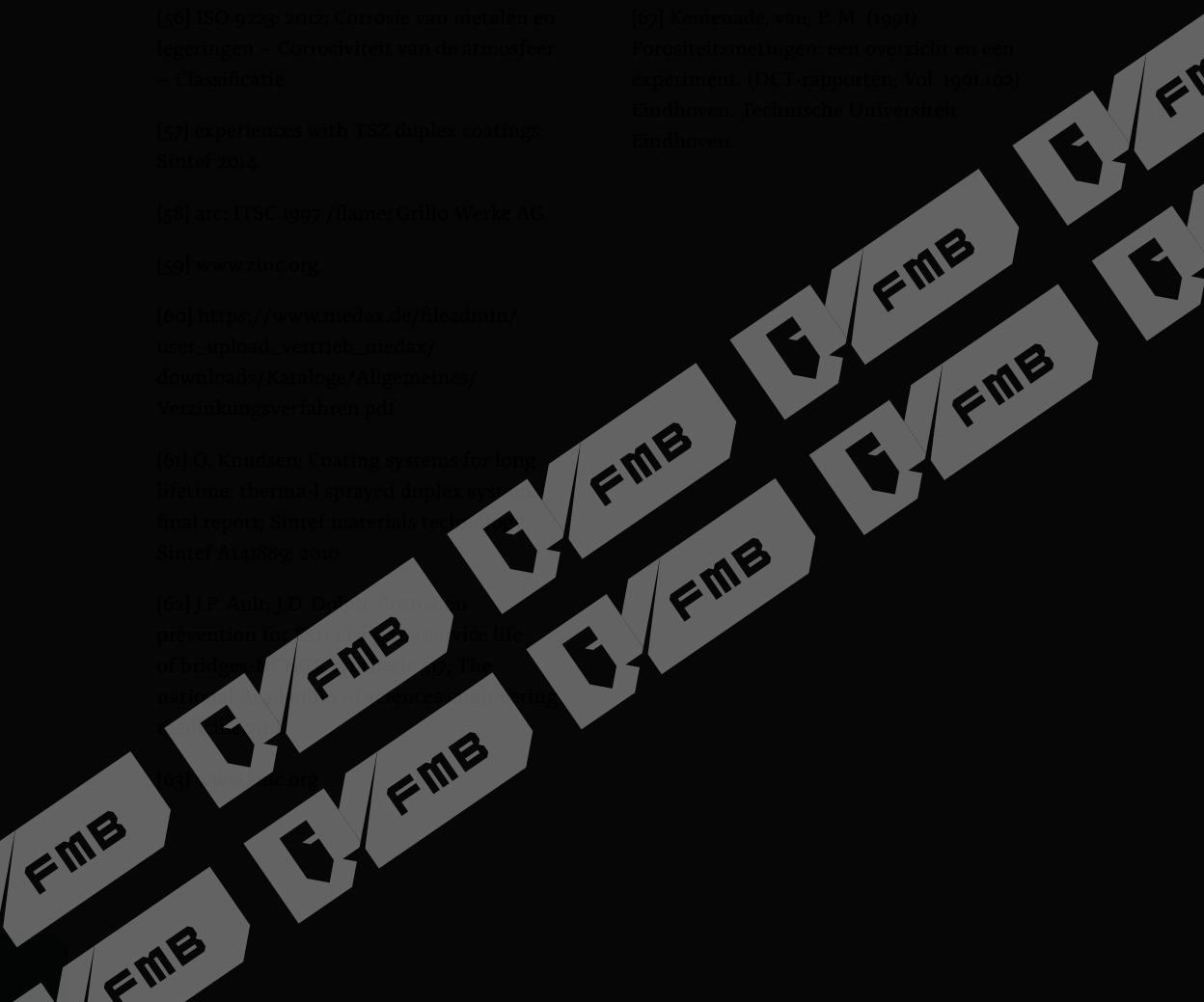
[55] J.P. Aulsebrook, The prevention of corrosion of bridge steelwork by zinc coating

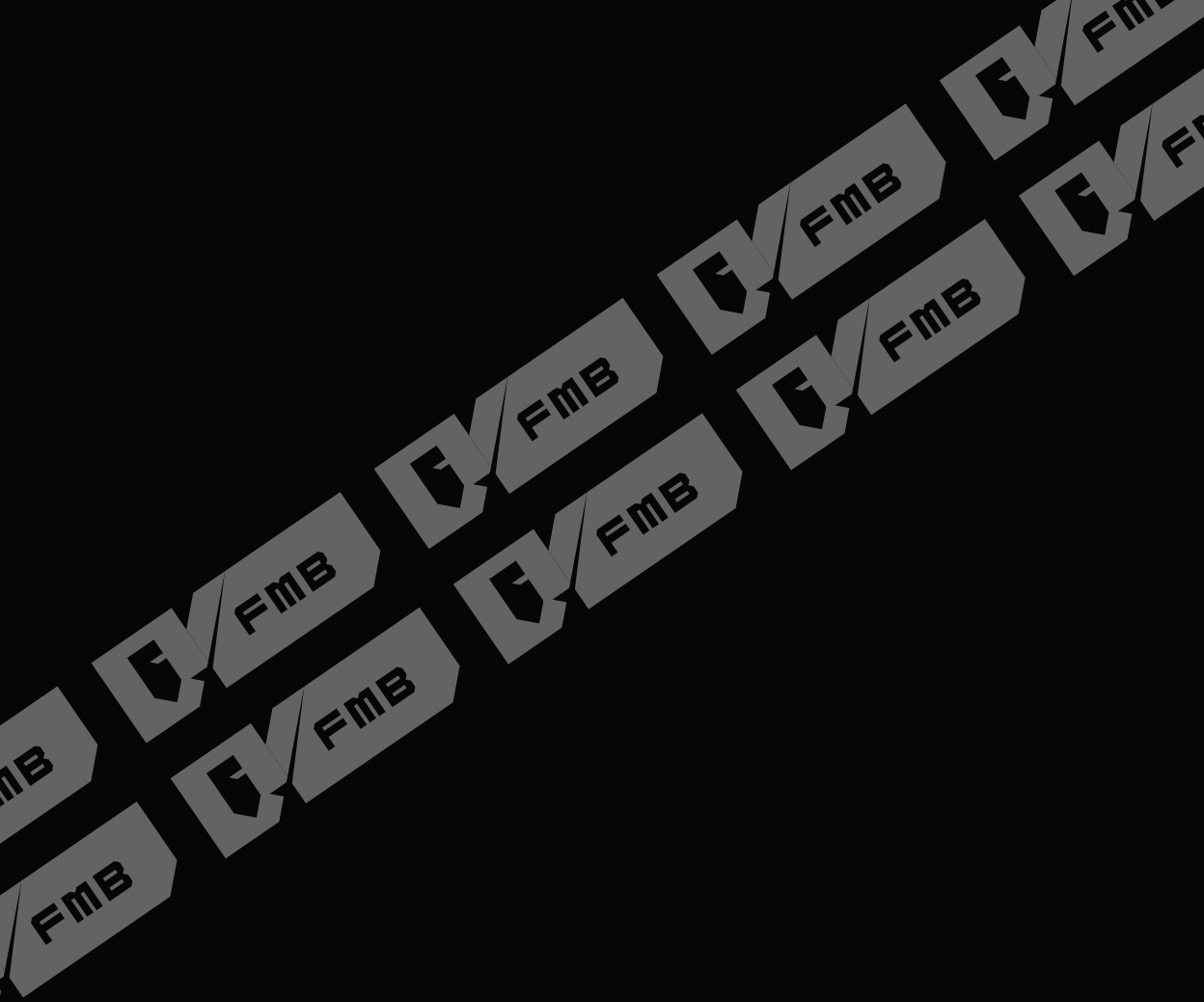
[56] EN 1480: 2003 Sherardizing and diffusion coatings on ferrous products – specification

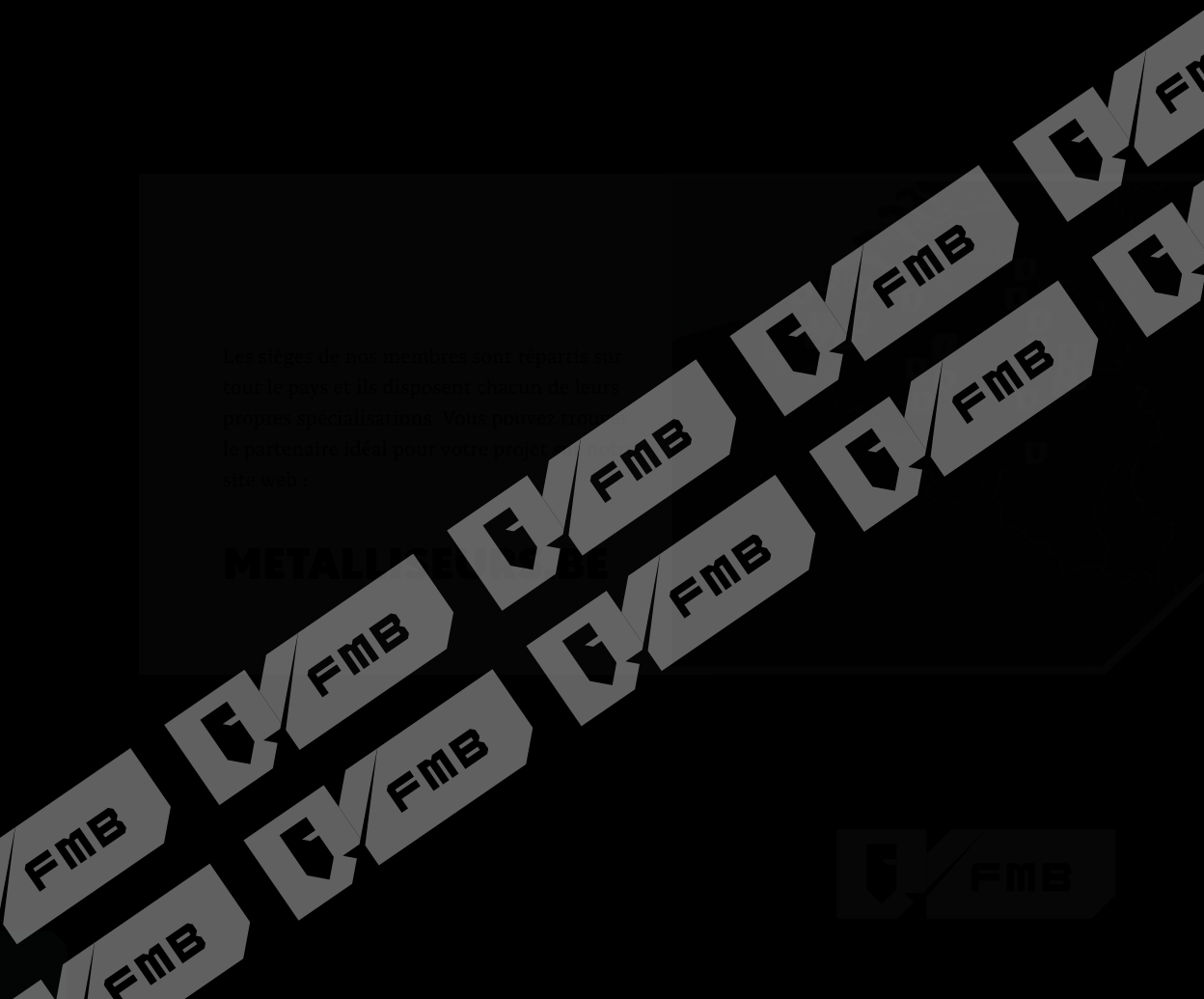
[57] M. Leclercq, Het metalliseren met zink door thermisch spuiten, deel 1: parameters bij het opspuiten met zuiver zink of met een legering met 15% aluminium, Laserschrift 4-1977

[58] M. Leclercq, Het metalliseren met zink door thermisch spuiten, deel 2: parameters bij het opspuiten met zuiver zink of met een legering met 15% aluminium, Laserschrift 4-1977

[59] Kennede van P.M. (1990) Faculteitmetingen, een overzicht en een experiment, OCT rapporten, Vol. 100/100, Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven







METALL

