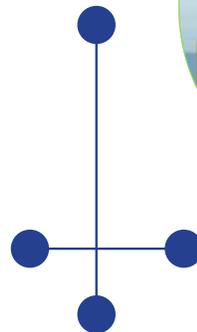
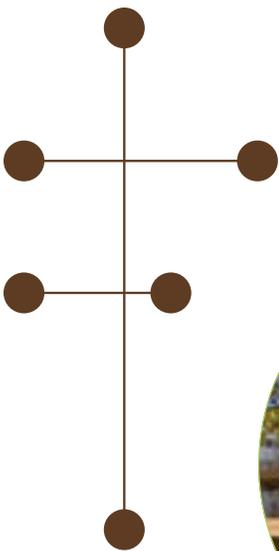
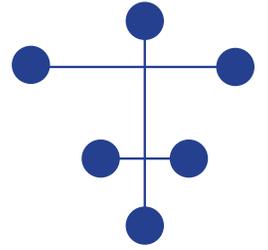


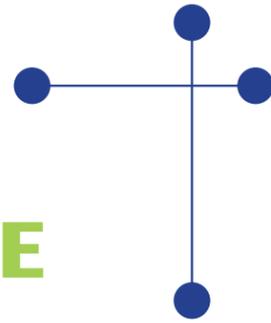
LA GALVANISATION À CHAUD POUR LA PROTECTION CONTRE LA CORROSION

guide pour les rédacteurs de devis



LA GALVANISATION À CHAUD POUR LA PROTECTION CONTRE LA CORROSION

guide pour les rédacteurs de devis



Corrosion

Comment et pourquoi
Processus de corrosion

Galvanisation à chaud

Historique
Processus

Pourquoi les rédacteurs de devis choisissent la galvanisation à chaud

Protection contre la corrosion

Barrière, cathodique, patine de zinc

Durabilité

Résistance à l'abrasion
Protection uniforme
Couverture complète

Longévité

Atmosphère
Sol
Eau
Béton

Autres environnements

Disponibilité et polyvalence

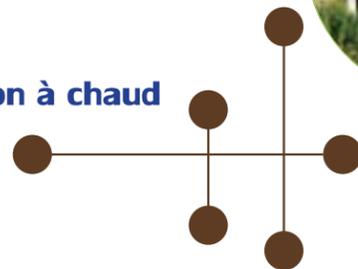
Matériaux abondants
Efficacité
Flexibilité

Esthétique

Se fondre naturellement dans l'environnement
Applications architecturales
Systèmes à double revêtement

Pérennité

Environnemental
Économique



Prescription de la galvanisation à chaud

Conclusion

© 2012 American Galvanizers Association. Le présent document a été rédigé pour fournir des informations exactes et faisant autorité sur l'après-fabrication de l'acier galvanisé à chaud. Ce document fournit uniquement des informations d'ordre général et, en ce qui concerne sa pertinence et son applicabilité, il n'est pas destiné à remplacer les examens et les vérifications professionnels effectués par un personnel compétent. Les informations fournies ici ne devront être considérées ni comme une interprétation ni une garantie de la part de l'AGA. Quiconque faisant usage de ces informations doit en assumer la pleine responsabilité.



Corrosion:

Comment et pourquoi

La corrosion et la réparation des dommages dus à la corrosion représentent un problème de plusieurs milliards de dollars: les estimations les plus récentes font état d'un coût de la corrosion métallique aux États-Unis avoisinant les 423 milliards de dollars par an (52 milliards de dollars au Canada), soit environ 3% du PIB de chaque nation. Toutefois, le coût de la corrosion est beaucoup plus conséquent que le simple coût financier: elle peut également être à l'origine du gaspillage des ressources naturelles, de pannes dangereuses et de bien d'autres coûts indirects. La corrosion est un phénomène naturel qui n'a jamais été complètement éradiqué; toutefois, il est absolument faux de dire que rien ne peut être fait. L'utilisation de systèmes de protection contre la corrosion adéquats dès le début d'un projet, par exemple la galvanisation à chaud, peut réduire ces coûts annuels de manière significative.

Depuis plus de 100 ans, la galvanisation à chaud après fabrication a été prescrite pour lutter contre la corrosion de l'acier dans les conditions les plus difficiles et dans divers marchés. Toutefois, la prescription et l'utilisation d'acier galvanisé à chaud évoluent constamment au fur et à mesure que de nouveaux marchés émergent. Autrefois considérée uniquement comme un moyen de protection contre la corrosion, la galvanisation à chaud est maintenant prescrite pour une infinité de raisons, notamment l'abaissement du coût initial, la durabilité, la longévité, la disponibilité, la polyvalence, la pérennité et même l'esthétique. Le simple fait de comprendre les caractéristiques et la résistance de l'acier galvanisé à chaud facilitera et renforcera la prescription du revêtement dans les applications où la galvanisation améliorera le projet.

processus de corrosion

La corrosion, qui peut simplement se définir comme étant de la rouille, est de façon plus appropriée la tendance des métaux à retourner à leur état naturel de minerai de faible énergie. La corrosion métallique est un processus électrochimique, ce qui veut dire qu'elle implique à la fois des réactions chimiques et un flux d'électrons. L'action galvanique est un processus électrochimique basique qui favorise la corrosion des métaux: il s'agit d'un courant généré en interne par des réactions physiques et chimiques se produisant parmi les composants de la cellule.

La corrosion coûte

\$423 milliards
de dollars

annuellement

corrosion galvanique

Il y a deux types principaux de cellules galvaniques qui sont à l'origine de la corrosion : le couple bimétallique et la cellule de concentration. Un couple bimétallique (*Figure 1*) est comme une pile consistant en deux métaux dissemblables immergés dans une solution électrolyte. Un courant électrique (flux d'électrons) est généré quand les deux électrodes sont reliées par un chemin métallique continu externe. Une cellule de concentration se compose d'une anode et d'une cathode fabriquées dans le même métal ou alliage et d'un chemin de courant réfléchi. La force électromotrice est fournie par une différence de concentration des solutions en contact avec le ou les métaux. Dans une cellule galvanique, il y a quatre éléments nécessaires pour que la corrosion se produise:

- **Anode** - l'électrode au niveau de laquelle des ions négatifs se déchargent et des ions positifs se forment, ou d'autres réactions oxydatives se produisent. La corrosion se produit au niveau de l'anode.
- **Cathode** - l'électrode au niveau de laquelle des ions positifs se déchargent, des ions négatifs se forment, ou d'autres réactions de réduction se produisent. La cathode est protégée de la corrosion.
- **Électrolyte** - milieu conducteur dans lequel le flux de courant est accompagné d'un mouvement de matières. Parmi les électrolytes figurent les solutions aqueuses d'acides, de bases et de sels
- **Chemin de courant métallique** - le passage métallique reliant l'anode à la cathode. Il s'agit souvent du substrat sous-jacent

En retirant l'un quelconque de ces éléments, on arrête l'écoulement du courant et la corrosion ne se produira pas. Substituer un métal différent à l'anode ou à la cathode peut inverser le sens du courant et aboutir au changement de l'électrode au niveau de laquelle se produit la corrosion.

Les séries galvaniques énumèrent les métaux et les alliages par ordre décroissant d'activité électrique. Les métaux au sommet de la liste sont « moins nobles » et ont une plus forte tendance à perdre des électrons que les métaux qui se trouvent en bas de la liste. L'utilisation d'acier galvanisé à chaud exploite ce phénomène en sacrifiant du zinc (anode) pour protéger l'acier sous-jacent (cathode).



COURANT CONVENTIONNEL

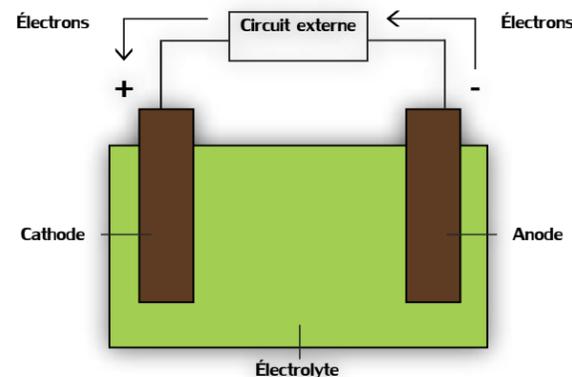
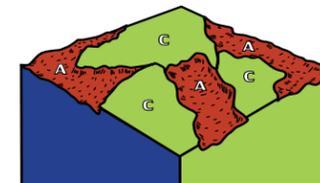


Figure 1: Couple bimétallique

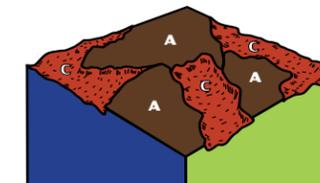
corrosion de l'acier

Le processus de corrosion qui a lieu sur une pièce d'acier nu est très complexe en raison des variations de la composition/structure de l'acier, de la présence d'impuretés due à l'instance plus élevée de l'acier recyclé, de contraintes internes hétérogènes ou d'une exposition à un environnement changeant.

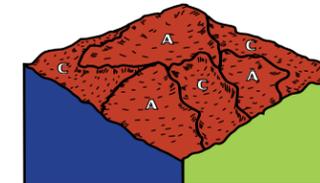
Il est facile pour les zones microscopiques du métal exposé de devenir relativement anodique ou cathodique, et nombre de ces zones peuvent se développer en petites sections du métal exposé. C'est pourquoi il est fort possible que plusieurs cellules différentes de corrosion bimétallique soient présentes dans la même petite zone de la pièce d'acier se corrodant activement.



Mosaïque des anodes et des cathodes, reliées électriquement par la sous-couche d'acier.



L'humidité de l'air permet une connectivité électrique entre les anodes et les cathodes. En raison d'une différence de potentiel, le courant électrique se propage tandis que les zones anodiques sont consommées. Les ions de fer ainsi produits se combinent à l'environnement afin de former les flocons d'oxyde de fer mieux connus sous le nom de rouille.



À mesure que les zones anodiques corrodent, un nouveau matériel de composition et de structure différente est exposé. Ceci entraîne un changement de potentiel électrique et un déplacement des zones anodiques et cathodiques. Avec le temps, les endroits auparavant sains sont attaqués et une corrosion uniforme de la surface en résulte. Ceci continue jusqu'à ce que l'acier soit entièrement corrodé.

Figure 2: Changements dans les zones cathodiques et anodiques

Au fur et à mesure que le processus de corrosion progresse, l'électrolyte peut changer en raison des matériaux de la solution qui se dissolvent ou se précipitent. En outre, les produits de la corrosion pourraient avoir tendance à s'accumuler sur certaines zones du métal. Le temps passant, il peut y avoir un changement de l'emplacement des zones cathodiques et anodiques et des zones du métal jusque-là non corrodées peuvent être attaquées et se corroder (*Figure 2*).

La vitesse de corrosion des métaux est contrôlée par des facteurs comme la température, l'humidité, le pH de l'électrolyte et le potentiel et la résistance électriques des zones anodiques et cathodiques.

Galvanisation à chaud pour la protection contre la corrosion

La galvanisation à chaud est un processus qui consiste à immerger de l'acier ou du fer fabriqué dans une cuve ou un bain de zinc fondu. Le processus est simple en soi et offre un avantage distinct sur d'autres méthodes de protection contre la corrosion. D'une origine qui remonte à plus de 250 ans, voici une visite guidée plus détaillée du processus et de son histoire.

histoire de la galvanisation

L'histoire de la galvanisation, ou du moins celle qui est inscrite dans les livres, remonte à 1742 quand P.J. Malouin, un chimiste français, décrit devant l'Académie royale française une méthode de revêtement du fer consistant à l'immerger dans du zinc fondu. Trente ans plus tard, Luigi Galvani (d'où la

galvanisation tire son nom) fait de nouvelles découvertes sur le processus électrochimique qui se déroule entre les métaux. La recherche de Galvani est approfondie en 1829 quand Michael Faraday découvre l'action sacrificielle du zinc et en 1836 quand l'ingénieur français Sorel obtient un brevet pour le tout premier processus de galvanisation. En 1850, l'industrie britannique de la galvanisation utilisait 10 000 tonnes de zinc par an pour la protection de l'acier, et en 1870 la première usine de galvanisation ouvre ses portes aux États-Unis. Aujourd'hui, on retrouve la galvanisation dans pratiquement toutes les applications et industries majeures où le fer ou l'acier sont utilisés. L'acier galvanisé à chaud a fait ses preuves depuis longtemps et son succès repose sur une myriade d'applications 8 dans le monde entier.



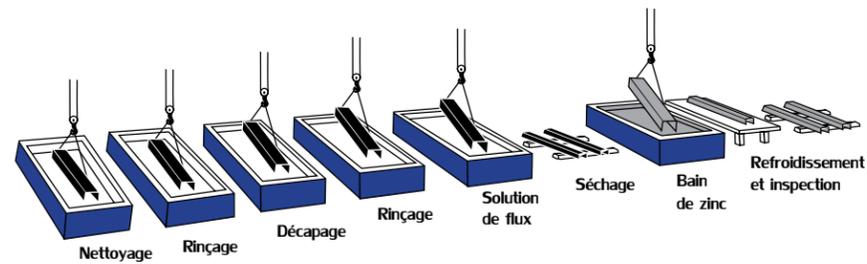


Figure 3: Processus de galvanisation à chaud par lot

processus de galvanisation

Le processus de galvanisation se compose de trois étapes basiques : préparation de la surface, galvanisation et inspection (Figure 3).

préparation de la surface

La préparation de la surface est l'étape la plus importante de l'application du revêtement, quel qu'il soit. Dans la plupart des cas, quand un revêtement rend l'âme avant la fin de sa durée de vie prévue, c'est parce que la préparation de la surface a été inadéquate.

L'étape de préparation de la surface dans le processus de galvanisation a sa propre méthode intégrée de contrôle qualité parce que tout simplement le zinc ne réagira pas avec de l'acier qui n'est pas propre. Tout manquement ou insuffisance dans la préparation de la surface sera immédiatement apparent quand l'acier sera retiré du bain de zinc : les zones qui ne sont pas propres resteront en effet nues, mais une action corrective immédiate peut être entreprise.

La préparation de la surface pour sa galvanisation se compose de trois étapes:

- **Dégraissage** - une solution alcaline chaude, un bain acide doux ou un nettoyage biologique permet d'éliminer tous les contaminants organiques, par exemple la saleté, les marques de peinture, la graisse et l'huile de la surface du métal. Les résines d'époxy, les vinyles, l'asphalte ou le laitier qui ne peuvent pas être retirés par dégraissage doivent être éliminés avant la galvanisation par grenailage, sablage ou d'autres moyens mécaniques.
- **Décapage** - une solution diluée d'acide sulfurique chauffé ou d'acide chlorhydrique à température ambiante retire la calamine et les oxydes de fer (rouille) de la surface de l'acier. En remplacement ou ensemble avec le décapage, cette étape peut également s'effectuer en faisant appel à un nettoyage abrasif ou en projetant par air forcé du sable, de la grenaille ou des particules abrasives sur l'acier.
- **Addition de flux** - l'étape finale de préparation de la surface dans le processus de galvanisation, une solution de chlorure de zinc ammoniacal remplit deux objectifs. Elle permet d'éliminer tous les oxydes restants et de déposer une couche protectrice sur l'acier pour l'empêcher des oxydes de se former sur la surface avant l'immersion dans le zinc fondu.

galvanisation

Pendant l'étape même de galvanisation du processus, le matériau est complètement immergé dans un bain de zinc fondu. La composition chimique du bain est spécifiée par l'ASTM B6 et nécessite au moins 98% de zinc pur maintenu à environ 449 C (840 F).

Pendant qu'il est immergé dans la cuve, le zinc réagit avec le fer dans l'acier pour former une série de couches d'alliages intermétalliques zinc-fer. Une fois que la croissance du revêtement des pièces fabriquées est achevée, elles sont retirées lentement du bain de galvanisation et le zinc en excès est retiré par drainage, vibration et/ou centrifugation.

La réaction métallurgique se poursuivra après le retrait des pièces du bain et aussi longtemps que la température de celles-ci restera proche de celle du bain. Les pièces sont refroidies par immersion dans une solution de passivation, en utilisant de l'eau ou en les laissant à l'air libre.



inspection

L'inspection de l'acier galvanisé à chaud est simple et rapide. L'épaisseur du revêtement et l'aspect du revêtement sont les deux propriétés du revêtement galvanisé à chaud minutieusement examinées. Divers tests physiques simples et de laboratoire peuvent être effectués pour déterminer l'épaisseur, l'uniformité, l'adhérence et l'aspect.

Les produits sont galvanisés conformément aux normes établies, acceptées et homologuées de longue date de l'ASTM International, l'Organisation internationale de normalisation (ISO), l'Association canadienne de normalisation (CSA) et l'American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). Ces normes couvrent tout, de l'épaisseur minimale de revêtement requise pour les diverses catégories de pièces galvanisées à la composition du zinc utilisé dans le processus.

Les méthodes de test et d'interprétation des résultats sont couvertes dans la publication, *L'inspection des Produits Galvanisés à Chaud après Fabrication*, publiée par l'American Galvanizers Association (AGA). Cette publication, ainsi que toutes celles qui sont référencées dans ce guide, peut être consultée sur le site Web de l'AGA (www.galvanizeit.org).

Pourquoi les rédacteurs de devis choisissent

la galvanisation à chaud

Traditionnellement, l'acier galvanisé à chaud est prescrit pour sa protection supérieure contre la corrosion, spécialement dans les milieux difficiles. Bien que la résistance à la corrosion soit inhérente à chaque fois que l'on fait appel à la galvanisation, de plus en plus de rédacteurs de devis sélectionnent l'acier galvanisé à chaud pour d'autres raisons, notamment le très faible coût initial, la durabilité, la longévité, la disponibilité, la polyvalence, l'esthétique et la pérennité.

protection contre la corrosion

L'acier est un matériau de construction abondant et efficace qui offre aux rédacteurs de devis toute liberté pour la conception. Toutefois, pour des projets exposés à l'air libre et à d'autres milieux difficiles, il est essentiel de revêtir l'acier pour le protéger de la corrosion. Souvent les grands projets de construction

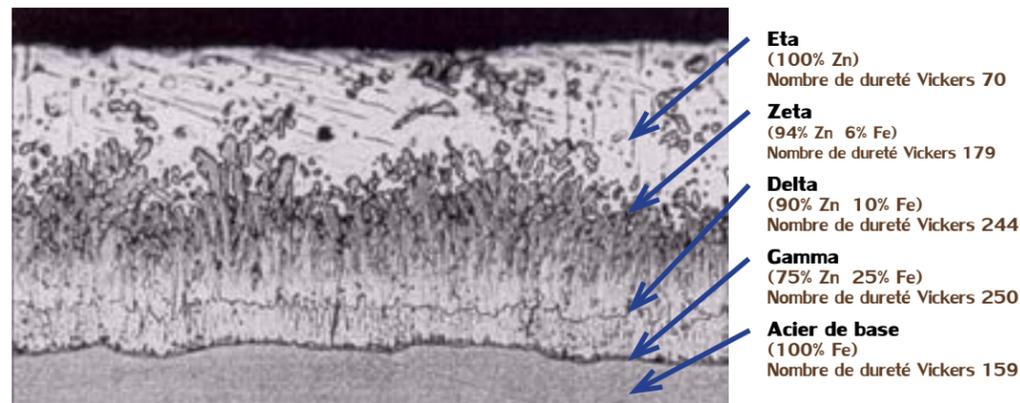
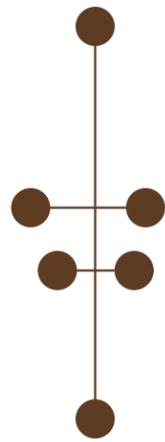
visent une durée de vie de la conception de 50 à 100 ans, soulignant ainsi la nécessité d'avoir une protection contre la corrosion qui soit durable et pérenne. La galvanisation à chaud offre trois niveaux de résistance à la corrosion pour l'acier : barrière de protection, protection cathodique et patine du zinc.

barrière de protection

La première ligne de défense contre la corrosion est une barrière de protection. Comme les peintures, le revêtement galvanisé à chaud offre une protection en isolant l'acier des électrolytes de l'environnement. Aussi longtemps que la barrière est intacte, l'acier est protégé et il n'y aura pas de corrosion. Toutefois, si la barrière est rompue, la corrosion commencera.

Puisque la barrière doit demeurer intacte pour offrir une résistance à la corrosion, l'adhésion au métal de base et la résistance à l'abrasion sont deux propriétés importantes de la barrière de protection. Le fait que le zinc soit fortement lié et qu'il soit de nature résistante en fait un revêtement offrant une très bonne barrière. Les revêtements tels que la peinture sont piqués et sont susceptibles d'être pénétrés par des éléments en aidant la corrosion rampante de se propager rapidement.





Eta
(100% Zn)
Nombre de dureté Vickers 70

Zeta
(94% Zn 6% Fe)
Nombre de dureté Vickers 179

Delta
(90% Zn 10% Fe)
Nombre de dureté Vickers 244

Gamma
(75% Zn 25% Fe)
Nombre de dureté Vickers 250

Acier de base
(100% Fe)
Nombre de dureté Vickers 159

Figure 5: Photomicrographie d'un revêtement galvanisé

protection cathodique

Outre la fourniture d'une barrière de protection, la galvanisation à chaud protège cathodiquement l'acier, ce qui veut dire que le zinc se corrodera préférentiellement pour protéger l'acier de base sous-jacent.

Les séries galvaniques de métal (Figure 4) donnent la liste des métaux par ordre d'activité électrochimique dans l'eau de mer (l'électrolyte). Cet ordre donné aux métaux détermine le métal qui sera l'anode et celui qui sera la cathode quand les deux sont mis dans une cellule électrolytique. Les métaux les plus hauts dans la liste sont anodiques par rapport aux métaux situés en dessous, ce qui veut dire qu'ils fournissent une protection cathodique ou sacrificielle quand les deux sont reliés. C'est pourquoi le zinc protège l'acier. En fait, cette protection cathodique est assurée même si le revêtement de galvanisation à chaud est endommagé à un point tel que l'acier nu est exposé (jusqu'à 1/4 de pouce de diamètre), aucune corrosion ne commencera tant que le zinc autour ne sera pas entièrement rogné.

patine du zinc

Et le développement de la patine de zinc est le facteur final de protection de longue durée contre la corrosion de la galvanisation à chaud. La patine du zinc est la formation de sous-produits de la corrosion du zinc sur la surface de l'acier. Le zinc, comme tous les métaux, commence à s'altérer dès qu'il est exposé à l'air libre. Quand les revêtements galvanisés sont exposés à la fois à l'humidité et à l'air circulant librement, les sous-produits de corrosion se forment sur la surface du revêtement. La formation de ces sous-produits (oxyde de zinc, hydroxyde de zinc et carbonate de zinc) a lieu pendant les cycles naturels secs et humides de l'environnement. La patine du zinc, une fois qu'elle s'est complètement développée, ralentit la vitesse de corrosion du zinc à un taux d'environ 1/30e de celui de l'acier dans un environnement comparable et elle agit comme une barrière supplémentaire passive et résistante pour le revêtement galvanisé à chaud.

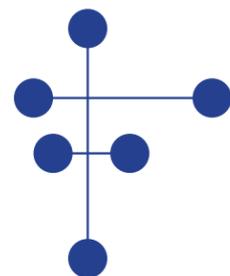
durabilité

La durabilité reconnue est un autre aspect de la galvanisation à chaud. L'acier galvanisé à chaud a été

largement prescrit pour des projets pétrochimiques, industriels, de distribution d'électricité et de construction de ponts et de routes en raison de sa durabilité hors pair dans ces milieux difficiles. La galvanisation à chaud reste durable grâce à sa résistance à l'abrasion, sa protection uniforme et sa couverture complète

résistance à l'abrasion

Le développement de couches intermétalliques fortement liées (~3 600 psi) et résistantes à l'abrasion est une caractéristique unique du revêtement galvanisé à chaud. La Figure 5 représente une section transversale d'un revêtement d'acier galvanisé illustrant les trois couches intermétalliques (gamma, delta et zeta) et la couche supérieure



L'un quelconque de ces métaux ou alliages se corrodera tout en offrant une protection à l'un quelconque des autres métaux ou alliages plus bas dans la série et aussi longtemps que les deux sont électriquement reliés. Toutefois, en pratique, le zinc est de loin le plus efficace.

EXTRÉMITÉ CORRODÉE Anodique ou moins noble

- Magnésium
- Zinc
- Aluminium
- Cadmium
- Acier
- Plomb
- Étain
- Nickel
- Laiton
- Bronze
- Cuivre
- Alliages nickel-cuivre
- aciers inoxydables (passifs)
- Argent
- Or
- Platine

Cathodique ou plus noble EXTRÉMITÉ PROTÉGÉE

Figure 4: Séries galvaniques

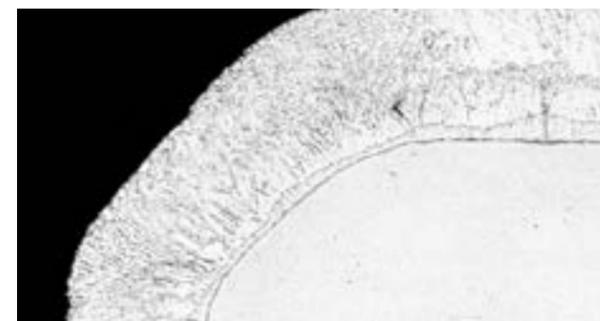


Figure 6: Revêtement de zinc autour d'une arête incurvée

de zinc pur (eta). Pendant le processus de galvanisation, ces couches se développent naturellement durant une réaction métallurgique entre le fer dans l'acier et le zinc dans la cuve. La photomicrographie montre également la dureté de chacune des couches sous forme d'un nombre de dureté Vickers et vous pouvez constater que les trois couches intermétalliques sont plus dures que l'acier de base, tandis que la couche eta a une ductilité qui rend très difficile tout endommagement du revêtement de galvanisation à chaud.

La résistance à l'abrasion de la galvanisation à chaud fournit une protection hors pair contre les dommages causés par une manutention rude pendant le transport et l'érection et également quand la pièce est en service. D'autres revêtements ayant des résistances d'adhésion plus faibles (entre 300 et 600 psi) peuvent être facilement endommagés pendant l'expédition et la construction, affaiblissant ainsi leur efficacité, et ce dans la mesure où la barrière de protection dépend de l'intégrité du revêtement.

protection uniforme

La protection uniforme est un autre aspect de la durabilité de la galvanisation à chaud. Pendant la réaction de diffusion métallurgique dans la cuve de galvanisation, le revêtement galvanisé croît perpendiculairement à toutes les surfaces. C'est pourquoi le revêtement est naturellement aussi épais sur les coins et les arêtes que

sur les surfaces plates (Figure 6). Puisque le revêtement s'endommage communément au niveau des arêtes, une protection supplémentaire à ces endroits est importante. Les revêtements appliqués au pinceau ou pulvérisés ont une tendance naturelle à s'amincir aux coins et sur les arêtes en laissant la pièce exposée aux attaques. La protection uniforme de l'acier galvanisé à chaud ne laisse aucun point faible susceptible d'accélérer la corrosion.

couverture complète

La galvanisation à chaud est un processus d'immersion totale, ce qui veut dire que l'acier est entièrement plongé dans les solutions de nettoyage et le revêtement de zinc recouvre toutes les surfaces internes et externes. Cette couverture complète garantit même que les parois internes des structures tubulaires et creuses ainsi que les filets des attaches sont revêtus. Puisque la corrosion a tendance à se former en s'accroissant sur l'intérieur des structures creuses où il y a de l'humidité et de la condensation, le revêtement intérieur est très bénéfique. Les structures creuses qui sont peintes n'ont aucune protection contre la corrosion à l'intérieur. Le revêtement complet des attaches est également important car elles sont utilisées à des points de jonction qui sont essentiels pour le maintien de l'intégrité structurelle.

Durabilité



L'usine de recyclage total d'Abu Dhabi
Abu Dhabi, Émirats arabes unis

Cette usine de recyclage est soumise à des conditions d'exploitation et environnementales extrêmement difficiles. Située à Abu Dhabi, l'usine est continuellement exposée aux rayons UV, à des températures supérieures à 49 degrés et même de tempêtes de sable. Elle est également constamment rongée par les conditions créées par l'utilisation mouvementée d'un broyeur.

Plus d'un million de livres d'acier profilé, de sections de convoyeur, de trémies et d'acier pour les escaliers ont été galvanisés pour ce projet. Pour se protéger de l'environnement difficile, la barrière supérieure et la protection contre la corrosion de l'acier galvanisé à chaud seront utilisées pour préserver cette structure et lui permettre de jouer son rôle avec fluidité.

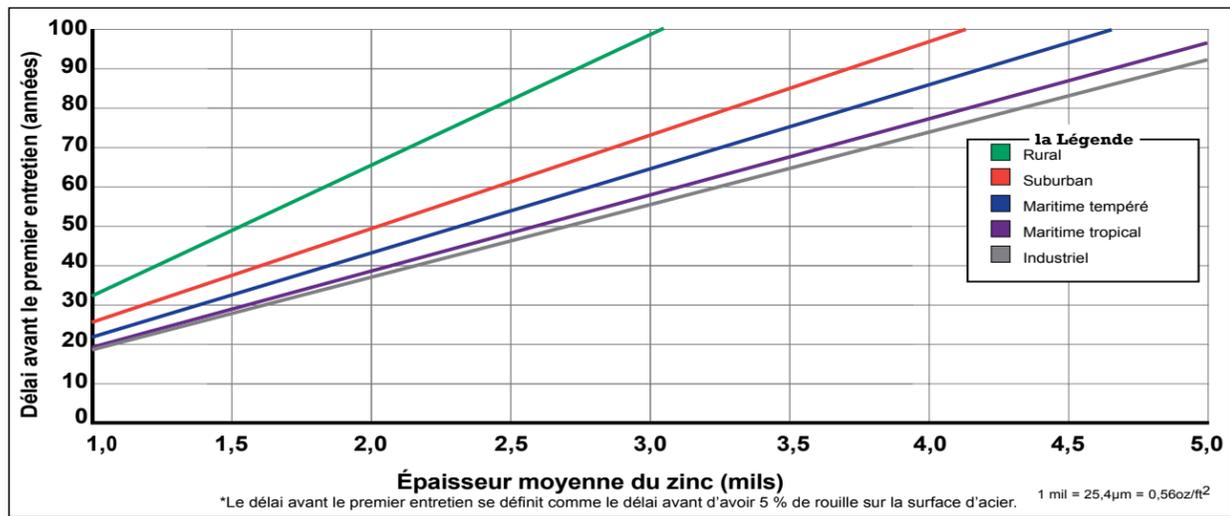


Figure 7: Tableau des délais avant le premier entretien

Longévité

L'acier galvanisé à chaud est souvent utilisé dans certains des environnements les plus difficiles que l'on puisse imaginer, et pourtant il offre une longévité sans entretien nécessaire pendant des décennies. La résistance à la corrosion de la galvanisation à chaud varie en fonction de son environnement, mais généralement la corrosion se produit à un rythme de 1/30 inférieur à celui de l'acier nu dans le même environnement. Des mesures du taux d'usure réel du revêtement pendant les premières années de service fournissent de bonnes données pour projeter une estimation conservatrice du délai avant le premier entretien, car au fur et à mesure que des sous-produits de la corrosion du zinc s'accumulent sur la surface, qui dans la plupart des environnements sont adhérents et relativement insolubles, la vitesse de corrosion ralentit souvent au fil du temps.

Qu'il soit exposé à l'air libre, bombardé de rayons UV, battu par la neige ou d'autres éléments, immergé dans de l'eau ou enfoui dans le sol ou dans du béton, l'acier galvanisé à chaud peut résister aux différents éléments corrosifs et satisfaire la durée de vie de la conception pour laquelle il a été prévu. De plus amples renseignements sur la longévité de l'acier galvanisé à chaud se trouvent dans la publication de l'AGA sur *La Résistance des Produits en Acier Galvanisé à Chaud*.

dans l'atmosphère

L'environnement dans lequel l'acier galvanisé à chaud est le plus communément exposé est l'atmosphère. Quand de l'acier galvanisé à chaud est exposé à l'atmosphère, le zinc interagit avec la libre circulation d'air et l'humidité pour développer la patine du zinc. La patine du zinc est essentielle pour la longévité de l'acier galvanisé dans l'atmosphère et c'est pourquoi les essais accélérés au brouillard salin qui ne reproduisent pas les conditions d'exposition en situation réelle ne permettent pas d'extrapoler avec précision la longévité de l'acier galvanisé à chaud.

La résistance de l'acier galvanisé à chaud exposé à l'atmosphère dépend de cinq facteurs principaux : température, humidité, précipitations, concentration de dioxyde de soufre dans l'air (pollution) et salinité de l'air. Aucun de ces facteurs ne peut

être isolément considéré comme le principal contributeur de la corrosion du zinc, mais ils jouent tous un rôle pour déterminer comment le revêtement galvanisé à chaud pour la protection contre la corrosion peut se comporter dans sous certaines conditions atmosphériques.

Depuis près d'un siècle, les essais indépendants et industriels conduits sur des échantillons de cinq types d'environnement (industriel, rural, suburbain, maritime tropical et maritime tempéré) ont fourni des données de résistance en situation réelle pour l'acier galvanisé à chaud. En utilisant ces données de corrosion en situation réelle, des méthodes statistiques et la technologie de réseau neuronal, le Dr Gregory Zhang de Teck Metals Ltd. a développé le prédicteur de durée de vie des revêtements de zinc (ZCLP) pour estimer la durée de vie des revêtements galvanisés à chaud dans des conditions atmosphériques. En utilisant le ZCLP, vous pouvez entrer des paramètres spécifiques pour un environnement quelconque et obtenir un délai avant le premier entretien (TFM) pour le revêtement galvanisé (Figure 7).

Le délai avant le premier entretien se définit comme étant le délai avant d'avoir 5 % de rouille sur la surface d'acier de base, ce qui veut dire que 95 % du revêtement de zinc est encore intact, et un entretien initial est recommandé pour prolonger la durée de vie de la structure. Selon l'A123 de l'ASTM International, la spécification directrice pour la galvanisation à chaud, l'acier d'un quart de pouce d'épaisseur ou plus doit avoir au moins 3,9 mils de zinc sur la surface, mais plus souvent l'épaisseur sera plus grande que l'exigence minimale. C'est pourquoi, en utilisant le tableau des délais avant le premier entretien, l'acier profilé galvanisé à chaud (> ¼ po d'épaisseur) offre un délai de 72 à 73 ans avant le premier entretien, même dans l'atmosphère la plus corrosive, celle en milieu industriel.

Durée de vie estimée de l'acier galvanisé à chaud dans un sol

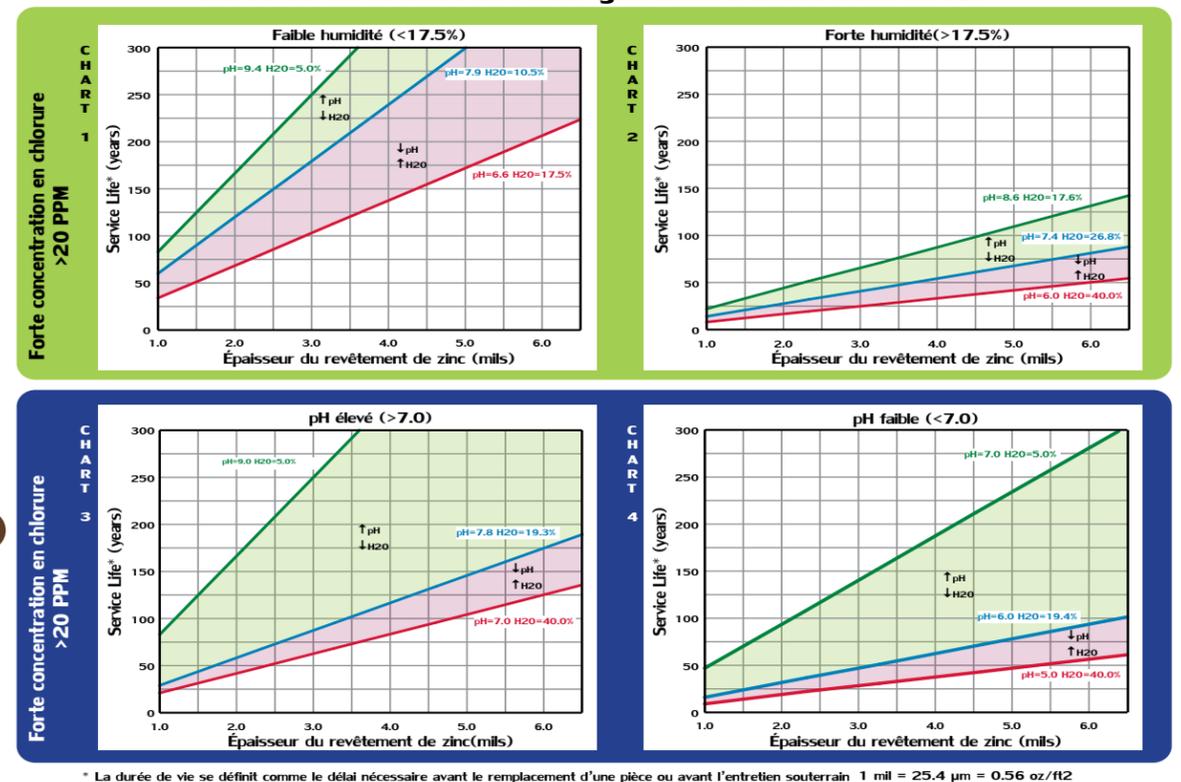


Figure 8: Tableaux des sols

dans le sol

L'acier galvanisé à chaud partiellement ou complètement enterré dans le sol représente un autre type commun d'exposition. Plus de 200 différents types de sols ayant été identifiés en Amérique du Nord, la résistance de la galvanisation à chaud dans le sol est variée et difficile à prédire. Les principaux facteurs qui conditionnent la corrosivité du sol sont la teneur en humidité, le niveau de pH et les chlorures. Ces conditions du sol sont affectées par des caractéristiques supplémentaires, par exemple l'aération, la température, la résistivité et la texture ou la taille des particules. La règle générale veut que la galvanisation ait une bonne résistance dans les sols sablonneux bruns, et moins bonne dans les sols gris et crayeux. C'est parce que les sols ayant des particules plus grosses absorbent l'humidité de la surface plus rapidement et ainsi la pièce galvanisée est moins exposée à l'humidité.

La première étape pour estimer la résistance de l'acier galvanisé à chaud dans le sol consiste à le classer. Et puisque la vitesse de corrosion de l'acier dans le sol peut varier de moins de 20 microns par an dans des conditions favorables à 200 microns ou plus par an dans des sols très corrosifs, une mauvaise classification du sol peut donner une résistance imprévue. L'AGA a élaboré un tableau pour estimer la résistance de la galvanisation à chaud dans le sol en se basant sur des données de corrosion en situation réelle. Dans ce cas, la durée de service se définit comme l'usure totale du revêtement plus 25 %, et c'est une indication du moment où la structure devrait être remplacée. Il y a quatre

tableaux différents basés sur la classification du sol (Figure 8). Pour utiliser le tableau, la première classification est par concentration en chlorure — Les Tableaux 1 et 2 (rangée supérieure) sont utilisés pour les sols à forte concentration en chlorures (> 20 ppm) et les tableaux 3 et 4 (rangée inférieure) sont utilisés pour les sols à faible concentration en chlorures (< 20 ppm).

Une fois que vous avez identifié la concentration en chlorure, il y a une seconde classification pour déterminer le tableau approprié à utiliser. Pour les sols à forte concentration en chlorures, la seconde détermination devrait être la teneur en humidité. Les sols ayant une humidité faible (< 17,5%) tombent dans le Tableau 1, tandis que les sols ayant une forte humidité (> 17,5%) tombent dans le Tableau 2. Pour les faibles concentrations en chlorures, la seconde détermination est le niveau de pH. Les sols ayant des niveaux de pH élevés (< 7,0) tombent dans le Tableau 3, tandis que les sols ayant des niveaux de pH faibles (> 7,0) tombent dans le Tableau 4.

La ligne bleue sur les quatre tableaux représente la moyenne pour les sols étudiés dans ce groupe de caractéristiques. La ligne verte représente le meilleur sol dans la catégorie échantillonnée, et la ligne rouge représente le pire sol dans la catégorie de l'étude. Les zones grisées montrent comment les changements de pH et de teneur en humidité affectent la durée de vie estimée. En supposant que 3,5 mils soit l'épaisseur minimale pour la galvanisation à chaud enterrée dans le sol, le tableau montre que la durée de vie moyenne dans les sols les plus difficiles (peu communs) serait d'environ 50 ans, et dans les sols les meilleurs, elle serait supérieure à 120 ans.

Longévité



Serres Metrolina
Huntersville, Caroline du Nord

Fondées en 1971 et les serres occupant 20 000 pieds carrés sur 3 acres à Charlotte en Caroline du Nord, les Serres Metrolina sont devenues le site de serres le plus grand des États-Unis. La première serre était une structure galvanisée recouverte de plastique s'étendant sur un acre. La galvanisation à chaud, utilisée depuis le premier jour, a fait partie intégrante de toute nouvelle expansion ou construction. L'acier galvanisé a été mis au point dans les premiers bâtiments et toutes les futures constructions l'ont adopté pour protéger l'acier de l'environnement humide de la serre.

L'addition la plus récente de 50 millions de dollars aux Serres Metrolina portera la surface totale du bâtiment à 5,8 millions de pieds carrés. Elles emploient 550 personnes tout au long de l'année et 300 travailleurs temporaires pendant les périodes de pointe de l'année. Chaque année, plus de 75 millions de plantes et plus de 700 variétés sont cultivées dans cette serre chauffée.

Le fondateur de Metrolina a cité la durée de vie exceptionnellement longue de l'acier galvanisé dans l'environnement chaud et humide de la serre comme faisant partie intégrante de leurs objectifs de construction et de production. Pendant 41 ans, l'acier galvanisé à chaud a protégé les structures de la serre contre la corrosion dans un environnement constamment humide, et il continuera ainsi sans entretien nécessaire pendant plusieurs décennies d'activité de serres et de production de plantes.

dans les environnements riches en humidité

L'acier galvanisé submergé ou exposé à l'eau est un environnement moins commun. L'humidité est extrêmement corrosive pour la plupart des métaux, y compris l'acier et le zinc. Toutefois, en raison du développement de la patine du zinc qui est passive et essentiellement non soluble, la vitesse de corrosion de l'acier galvanisé est beaucoup plus lente que l'acier nu. Il y a de nombreux types d'eau différents (eau pure, eau douce naturelle, eau potable [eau de boisson traitée] et eau de mer) et chacun a des mécanismes différents qui déterminent la vitesse de corrosion.

Comme pour les sols, les variétés d'eau rendent très difficile la prévision des vitesses de corrosion. Bien que le pH est l'effet le plus important, de nombreux paramètres affectent la corrosion des métaux dans un milieu aquatique, notamment la teneur en oxygène, la teneur en eau, l'agitation, la présence d'inhibiteurs et les conditions des marées. Malgré toute la difficulté que représente la prédiction de la corrosion, l'acier galvanisé à chaud est l'une des meilleures méthodes de protection contre la corrosion pour les applications immergées, et ce en raison de sa couverture complète et uniforme

L'eau ayant une forte teneur en oxygène libre ou en dioxyde de carbone est plus corrosive que l'eau contenant moins de ces gaz et l'eau dure est beaucoup moins corrosive que l'eau douce. Un tartre naturel formé de sels insolubles a tendance à se former sur la surface galvanisée quand la dureté de l'eau est moyenne ou élevée. Les sels se combinent avec le zinc pour former une barrière protectrice de carbonate de calcium et de carbonate de zinc basique.

Comme pour l'eau douce, les revêtements galvanisés fournissent une protection considérable à l'acier qui est immergé dans de l'eau de mer ou exposé aux embruns salés. Les facteurs influençant la corrosion du zinc dans l'eau douce jouent également un rôle dans l'eau de mer. Toutefois, les sels dissous (principalement des sulfures et de chlorures) dans l'eau de mer sont les principaux facteurs affectant le comportement à la corrosion du zinc. Étant donné le niveau élevé de chlorure dans l'eau de mer, on pourrait s'attendre à une vitesse de corrosion très élevée. Toutefois, la présence d'ions de magnésium et de calcium a un effet inhibiteur sur la corrosion du zinc.



dans le béton

Le béton est un matériau extrêmement complexe. L'utilisation de types variés de béton dans la construction a fait des propriétés chimiques, physiques et mécaniques du béton et de sa relation aux métaux un thème de recherche permanente. Les armatures d'acier en barres sont mises en place dans le béton pour le renforcer et sont critiques pour l'intégrité et la résistance de la structure tout au long de sa vie. Le béton est un matériau poreux et des éléments corrosifs, par exemple l'eau, les ions de chlorure, l'oxygène, le dioxyde de carbone et d'autres gaz se déplacent dans la matrice de béton pour finalement venir en contact avec les armatures d'acier. Une fois que la concentration de ces éléments corrosifs dépasse le seuil de corrosion de l'acier, l'armature d'acier commence à se corroder. Quand l'armature d'acier se corrode, de la pression s'accumule autour de la barre et crée des fissures, des tâches et finalement l'effritement du béton (Figure 9).

Puisque l'attaque de l'armature en barres compromet la capacité structurale ou la rend défaillante, il est fondamental de se prémunir contre une défaillance prématurée de l'armature en barres. Comme pour l'atmosphère, les armatures d'acier en barres galvanisées prolongent la durée de vie dans le béton. Les mécanismes de corrosion dans le béton sont assez différents de ceux rencontrés lors d'une exposition atmosphérique, l'un des facteurs les plus importants étant la concentration en chlorure. Les armatures d'acier en barres galvanisées, en comparaison avec l'acier noir, peuvent résister à une concentration en chlorure au moins quatre à cinq fois supérieure et reste passivées à des niveaux de pH plus faibles, ralentissant ainsi la vitesse de corrosion.

Outre la tolérance au chlorure plus élevée, une fois que des produits de la corrosion du zinc se forment sur l'armature d'acier en barres galvanisée, ils sont moins volumineux que l'oxyde de fer et migrent en s'éloignant de la barre. La Figure 10 illustre la migration des particules blanches de zinc qui s'éloignent de la barre (revêtement galvanisé) et vont dans les pores de la matrice de béton. Cette migration empêche la pression de s'accumuler et l'effritement causé par les particules d'oxyde de fer.

La durée de vie totale de l'acier galvanisé dans le béton dépend du temps pris par le zinc pour sa dépassement, plus le temps pris pour l'usure du revêtement de zinc, dans la mesure où celui-ci protège sacrificiellement l'acier sous-jacent. Ce n'est uniquement qu'une fois que le revêtement est complètement

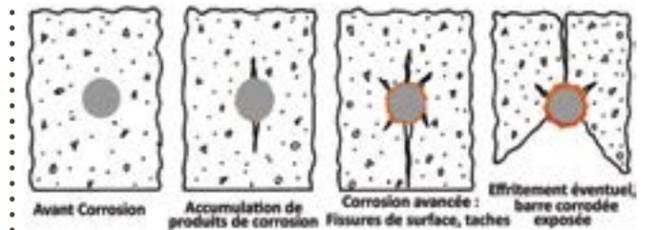


Figure 9: Béton effrité

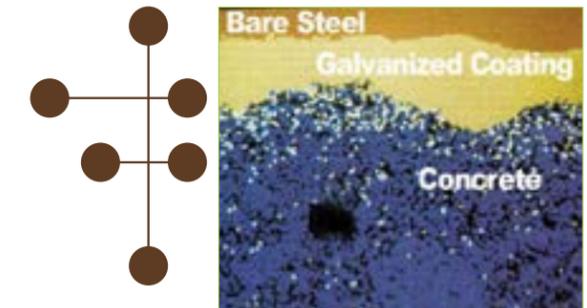
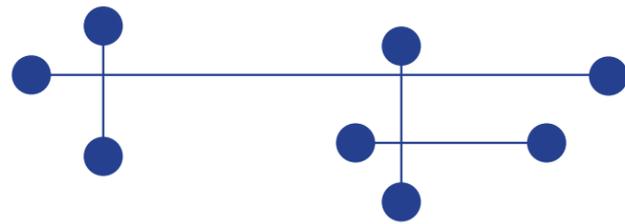


Figure 10: Migration du zinc dans l'armature d'acier en barres



rogné dans une région de la barre que la corrosion de l'acier commence. Des études et des informations complémentaires sur les armatures d'acier en barres galvanisées se trouvent dans le site Web www.galvanizedrebar.com et dans la publication de l'AGA, *Hot-Dip Galvanized Reinforcing Steel: A Specifier's Guide* ou sur le site Web de l'AGA www.galvanizeit.org.



Disponibilité et polyvalence



Sous-station Talbot
Dayton, Washington

Un des grands avantages liés à l'utilisation d'acier galvanisé à chaud pour la protection contre la corrosion est que les pièces galvanisées peuvent être facilement stockées pour une utilisation future. Ceci veut dire que les propriétaires peuvent empiler des éléments s'ils savent qu'ils en auront besoin pour un remplacement ou un agrandissement, les achetant quand les prix sont bas et créant ainsi un stock de matériaux utilisables le jour venu.

Ceci peut s'avérer spécialement avantageux pour des structures telles que des sous-stations, des pylônes de distribution, des tours pour les cellulaires, des produits pour les routes et le transport (garde-corps, panneaux de signalisation, réverbères, mains courantes), etc.

Une sous-station, comme celle ci-dessus, peut facilement constituer un stock d'éléments sur site, exposé aux intempéries. En attendant d'être utilisés, la barrière de zinc durable et la protection cathodique maintiendront les pièces exemptes de corrosion et prêtes le moment venu.

Quarante-sept tonnes d'acier ont été galvanisées pour la sous-station Talbot, y compris tout l'acier profilé, les attaches, les boulons d'arrimage, les armatures pour béton, les bornes d'amarrage, les supports de fixation de l'éclairage et toutes les plateformes de mise à la terre. Les pièces de rechange pour ces éléments et d'autres ont pu être facilement achetées à l'avance et stockées en attendant qu'elles soient utilisées, grâce à la protection de

dans d'autres environnements

Il y a un certain nombre d'autres environnements où l'acier galvanisé à chaud est communément prescrit pour sa longévité. Certains environnements où l'acier galvanisé à chaud peut bien résister se trouvent dans les solutions chimiques ayant un pH neutre (4-13), en contact avec du bois traité et sous des températures extrêmes (entre -40 F et 392 F). Les environnements où la galvanisation à chaud n'est pas recommandée sont les solutions chimiques ayant des niveaux de pH en dehors de la plage homologuée et en contact avec d'autres métaux. L'acier inoxydable et l'aluminium sont deux exceptions à la règle des métaux dissemblables, à moins qu'ils soient en présence d'eau ou d'air salé ayant une forte concentration en chlorure.

disponibilité et polyvalence

L'acier galvanisé à chaud est polyvalent et immédiatement disponible. On peut galvaniser un large éventail de formes et de tailles, que ce soit des petits écrous, des boulons ou des attaches, de grandes pièces profilées ou même des œuvres d'art aux détails les plus intriqués. En raison du processus d'immersion totale, même les pièces fabriquées les plus complexes peuvent être revêtues entièrement pour les protéger contre la corrosion.

De nombreuses méthodes de protection contre la corrosion dépendent de conditions de température et d'humidité appropriées pour être efficaces. Toutefois, puisque la galvanisation à chaud est un processus contrôlé en usine, elle peut être effectuée tous les jours de l'année, qu'il pleuve ou non. Le zinc se solidifie dès son retrait du bain, et il se durcit sans délai; et, de façon réaliste, l'acier galvanisé peut être galvanisé, expédié sur le chantier et érigé le même jour. D'un autre côté, si le matériau galvanisé ne doit pas être installé immédiatement, on peut facilement l'entreposer dehors, car les rayons UV ne dégradent pas l'intégrité du revêtement.

matériaux abondants

L'Amérique du Nord continue à aspirer au développement durable et il en va de même pour les matériaux utilisés dans la construction. Un autre caractéristique du zinc qui fait qu'il est idéalement adapté pour cela est son abondance. Les principaux matériaux utilisés dans le processus de galvanisation, le zinc et l'acier, sont communs; en fait, le zinc est le 27^e matériau le plus abondant dans la croûte terrestre, le fer étant en 4^e position. Le zinc et l'acier sont tous les deux entièrement recyclables sans la perte de leurs propriétés chimiques ou physiques : l'acier est le matériau le plus recyclé dans le monde.

Le zinc est un élément naturel qui se trouve dans l'air, dans le sol et dans l'eau. Environ 5,8 millions de tonnes de zinc sont recyclées dans l'atmosphère tous les ans, grâce à un phénomène naturel. Le zinc est également commun et essentiel à la vie. Le zinc se trouve dans un certain nombre de produits que nous utilisons quotidiennement, par exemple les cosmétiques, les pneus, les remèdes pour le rhume, les crèmes pour bébés pour prévenir les irritations dues aux couches, les traitements pour les coups de soleil et les écrans solaires. En fait, l'oxyde de zinc bloque davantage de rayons UV que n'importe quel autre ingrédient utilisé dans les écrans solaires. En outre, nous avons tous besoin de zinc pour vivre dans la mesure où il assiste les fonctions régulières, par exemple la vision, la reproduction, la digestion et la respiration.



efficacité

Grâce à l'acier galvanisé, vous pouvez faire plus ou faire moins. En raison du rapport résistance-poids élevé, prescrire des projets utilisant l'acier économise des matériaux et de l'énergie. En fait, une tonne d'acier fournit en moyenne la même résistance que 8 tonnes de béton, et selon la World Steel Association, le rapport résistance-poids réduit au minimum les coûts des fondations et peut également faire économiser de l'argent sur le transport et la manutention.

Outre l'abondance et la durée d'exécution rapide du processus, l'acier galvanisé facilite également l'agrandissement de structures existantes en raison de sa flexibilité et de stockabilité. Les membrures d'acier galvanisé sont faciles à rénover et à agrandir en soudant, boulonnant et/ou raccordant des éléments profilés verticaux et horizontaux et en les renforçant. L'agrandissement de structures existantes permet d'obtenir l'efficacité maximale de l'espace disponible. Les membrures d'acier sont plus légères que de nombreux autres matériaux, mais offrent toujours une excellente résistance et, par conséquent, occupent la même place au sol pour une meilleure efficacité.

En outre, en raison de la nature durable et n'exigeant aucun entretien de l'acier galvanisé à chaud, les éléments peuvent être empilés à l'extérieur pendant des années sans compromettre le revêtement de zinc et sa protection contre la corrosion. Le revêtement de zinc de la galvanisation à chaud n'est pas affecté par les rayons UV, les températures extrêmes, la pluie, la neige ou l'humidité; par conséquent, grâce à un entreposage approprié, il est simple de maintenir des stocks à disposition pour un remplacement rapide en cas d'urgence. Le stockage de pièces fréquemment utilisées jusqu'à ce qu'on en ait besoin économise du temps et, si on les achète quand les prix sont bas, économise de l'argent.

sécurité

La sécurité et la stabilité structurelle sont d'une importance critique pour l'intégrité des constructions en acier et ne peuvent pas être maintenues si la structure a été affaiblie par les ravages de la corrosion. Les pièces d'acier galvanisé à chaud qui restent résistantes à la corrosion pendant des décennies préservent l'intégrité structurelle des constructions en acier et les protègent contre les catastrophes.

Les zones d'activité sismique représentent un des domaines de la sécurité où l'acier galvanisé à chaud offre des avantages. Les éléments d'acier sont ductiles et plus légers, réduisant ainsi les effets d'inertie des charges sismiques. En lui permettant de se plier raisonnablement sans casser, la résistance à la traction de l'acier galvanisé à chaud peut empêcher les structures d'être endommagées ou même de s'effondrer pendant une activité sismique.

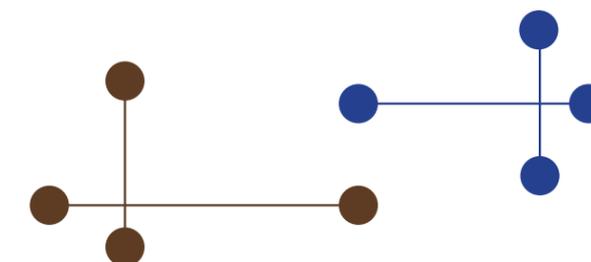
Esthétique



EEl Andaluz a fait passer la galvanisation du fonctionnel au fantastique en intégrant des éléments galvanisés structurels et artistiques juxtaposés de façon frappante à un kaléidoscope de sols en céramique, de fontaines, de corniches et d'escaliers aux couleurs sublimes. Les bureaux commerciaux d'El Andaluz, ensemble avec les appartements en copropriété, font ressortir les éléments d'acier galvanisé à chaud dans l'adaptation de l'architecte d'une cour pittoresque similaire à six pâtés de maisons de l'océan Pacifique à Santa Barbara.

Grâce à la réputation qu'il a de favoriser les éléments d'acier galvanisé dans ses créations, l'architecte a compté sur le revêtement de patine du zinc qui s'est développée dans les mois suivant la galvanisation pour donner une fière allure à sa création artistique. Quand la patine se développe, l'acier galvanisé prend non seulement un aspect gris mat uniforme, correspondant ainsi à la vision de l'architecte, mais assure également une protection de longue durée pour le projet. L'acier galvanisé a été intégré pour assurer l'intégrité structurelle de l'architecture pour de nombreuses décennies à venir, mais aussi pour le côté esthétique séduisant.

Outre la couleur métallique agréable à l'œil qu'il procure, l'acier a pu être façonné et découpé en formes artistiques. Dans d'autres projets, des poutrelles d'acier galvanisé ont également été cintrées et arquées pour créer des courbures, ou même des panneaux ondulés. L'acier galvanisé combine à la fois l'esthétique, la flexibilité visuelle et la durabilité pour créer des structures réussies qui durent des générations.





esthétique

L'esthétique est importante pour pratiquement tous les projets de construction. Que ce soit une sculpture dessinée artistiquement ou un élément d'acier, un pont, une gare d'autobus ou un autre élément d'infrastructure à l'architecture visible, l'acier galvanisé offre une grande flexibilité pour leur conception et un revêtement naturel gris qui est séduisant, ou si on préfère une couleur, il peut être facilement peint ou thermolaqué.

se fondre naturellement dans le paysage

Pour certains projets d'acier galvanisé, par exemple les sous-stations électriques, les panneaux solaires ou les infrastructures de chemin de fer, l'objectif est souvent de se fondre dans le paysage. Quand l'acier galvanisé vieillit et que la patine du zinc se forme, le revêtement prend une couleur d'un gris mat uniforme. Que ce soit dans des régions rurales ou boisées qui sont sensibles à la faune ou dans les villes où la réflectivité n'est pas de mise, le revêtement naturel et non intrusif fourni par la galvanisation à chaud complète et se fond naturellement dans tout paysage.

exposition architecturale

Outre le fait de fournir un aspect naturel pouvant se fondre dans le paysage, l'utilisation de la galvanisation à chaud sur l'acier profilé faisant l'objet d'une exposition architecturale offre la tranquillité d'esprit visuelle d'un acier en bon état. Les éléments d'acier profilé faisant l'objet d'une exposition architecturale et conçus pour être des structures attirant tous les regards et des sujets de discussion sur la construction en acier.

Le rapport résistance-poids élevé et la ductilité de l'acier permet de prévoir des courbes, des arches et des motifs et conceptions compliqués lors de la planification des éléments d'acier profilé faisant l'objet d'une exposition architecturale. Toutefois, quand des éléments d'acier profilé faisant l'objet d'une exposition architecturale sont exposés à l'atmosphère, il est important de s'assurer qu'ils soient toujours des éléments joliment dessinés quand on les protège contre la corrosion. Les éléments d'acier profilé faisant l'objet d'une exposition architecturale et galvanisés à chaud peuvent être protégés contre la corrosion pendant des décennies sans brider votre liberté créative.

systèmes à double revêtement

Le revêtement naturel gris mat ne convient pas à tous les projets de chaque rédacteur de devis, car parfois de la couleur est préférée ou nécessaire pour la stratégie d'une marque, le marquage de la sécurité, etc. Toutefois, en prescrivant un système à double revêtement, galvaniser votre projet, puis le peindre ou le thermolaquer pour obtenir la couleur souhaitée vous assure que vous n'aurez pas à sacrifier les avantages de la protection contre la corrosion et l'entretien prolongé de l'acier galvanisé à chaud.

Les systèmes à double revêtement offrent des avantages et bien plus que de simples options esthétiques. La combinaison d'acier galvanisé à chaud et de

peinture ou de thermolaquage fournit un effet synergique. La peinture/poudre prolonge la durée de vie du revêtement en fournissant une barrière supplémentaire aux couches de zinc, tandis que l'acier galvanisé prolonge la durée de vie du revêtement de peinture en empêchant la corrosion et l'écaillage sous la pellicule.

Les deux revêtements agissant en synergie donnent lieu à une protection prolongée contre la corrosion. La durée de vie d'un système à double revêtement est supérieure de 1,5 à 2,3 fois au total des durées de vie des deux systèmes individuels. Par exemple, si la durée de vie du revêtement galvanisé dans un environnement particulier est de 70 ans et si la durée de vie de la peinture est de 10 ans, la durée de vie du système à double revêtement devrait être d'au moins 120 ans (1,5 x [70+10]).

Cette durée de vie prolongée suppose qu'aucun entretien ne sera effectué pour garder intacts la peinture ou le thermolaquage. De façon réaliste, si quelqu'un investit initialement dans un système à double revêtement qui est plus coûteux, c'est qu'il envisage probablement de conserver la couleur sur la structure. Ainsi, en termes pratiques, l'effet synergique dû à l'utilisation d'un système à double revêtement se traduit par le cycle d'entretien prolongé qu'il fournit. En utilisant l'acier galvanisé à chaud comme un « apprêt », le délai avant le premier entretien pour la peinture ou le thermolaquage est prolongé de 1,5 à 2,0 fois ce qu'il devrait être pour l'acier nu. La publication de l'AGA sur les systèmes à double revêtement *Painting Over Hot-Dip Galvanized Steel* and instructional DVD guides *Preparing HDG Steel for Paint* and *Preparing HDG Steel for Powder Coating* offre de plus amples renseignements sur les systèmes à double revêtement.

pérennité

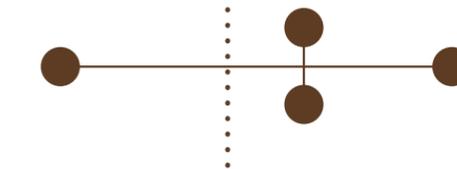
Le développement durable est un engagement social, économique et environnemental envers la croissance et le développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des futures générations à répondre à leurs propres besoins. Comme la pression sociale continue à monter pour que l'on construise un environnement durable, les rédacteurs de devis s'investissent de plus en plus et analysent davantage les matériaux qu'ils choisissent. La longévité de l'absence d'entretien nécessaire de l'acier galvanisé à chaud fournit des avantages environnementaux et économiques positifs aux futures générations.

avantages environnementaux

Comme nous l'avons vu plus haut, le zinc existe naturellement dans l'air, dans l'eau et dans le sol et c'est le 27^e élément le plus abondant dans la croûte terrestre. Plus de 5,8 millions de tonnes de zinc sont naturellement recyclées dans l'environnement par les plantes, les animaux, les précipitations et d'autres activités naturelles. Et le zinc est essentiel à toutes les formes de vie, qu'il s'agisse des êtres humains ou des microorganismes les plus petits. C'est pourquoi l'utilisation de l'acier galvanisé à chaud n'est pas dangereuse pour l'environnement; en effet, le zinc se trouve déjà naturellement là.

Outre le fait que le zinc est naturel, comme l'acier il est recyclable à l'infini sans qu'il perde l'une quelconque de ses propriétés physiques ou chimiques. Environ 30% de l'approvisionnement en zinc provient de sources recyclées chaque année, et davantage serait recyclé s'il était disponible. Par ailleurs, l'acier est le matériau le plus recyclé dans le monde, pratiquement 100% de l'acier profilé provenant de sources recyclées, faisant ainsi de l'acier galvanisé un matériau renouvelable à l'infini.

L'analyse du cycle de vie (ACV) est une mesure objective de l'impact environnemental d'un produit. Souvent appelée étude « du berceau à la tombe », l'ACV quantifie l'impact environnemental d'un processus ou d'un produit depuis l'acquisition des matières premières, l'intrant énergétique et les extrants d'énergie pendant la production et l'utilisation, ainsi que la gestion de fin de vie (recyclage/élimination).



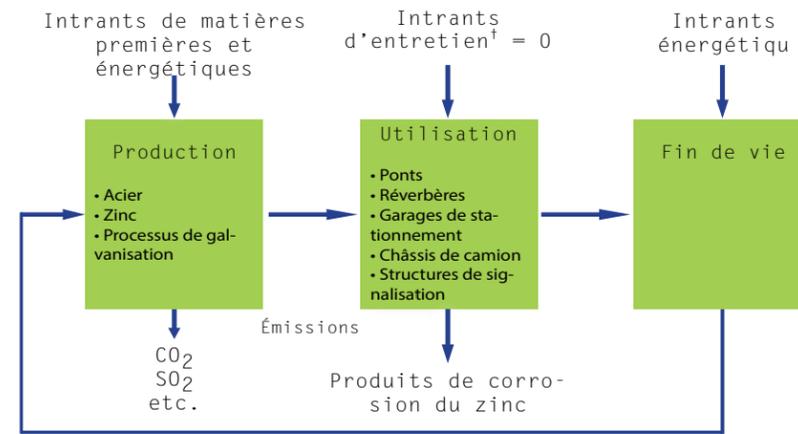
Les ACV ont commencé à gagner les faveurs de la communauté des rédacteurs de devis en tant que moyen de jauger la durabilité d'un produit.

En 2008, l'International Zinc Association (IZA) a recruté les experts d'obédience internationale en matière d'ACV Five Winds International et PE International pour conduire un inventaire du cycle de vie (ICV) et une analyse du cycle de vie (ACV) pour l'acier galvanisé à chaud. En utilisant les données de sources du monde entier concernant la consommation d'énergie et les émissions d'air/fluide/solide mesurées pendant la production de zinc et pendant le processus de galvanisation réel, et en les combinant avec des données d'enquêtes analogues de l'industrie de l'acier, une ACV a été compilée pour l'acier galvanisé à chaud. La *Figure 11* montre un aperçu général de l'impact de l'acier galvanisé à chaud de sa production à sa fin de vie.

La galvanisation à chaud est unique dans la mesure où tous les intrants de matériaux et énergétiques et les extrants d'émissions sont isolés pour la phase de production, et ce puisqu'il n'y a aucun entretien nécessaire pendant 70 ans ou plus dans la plupart des environnements et que le produit est entièrement recyclable à la fin de sa vie. La publication de l'AGA *Hot-Dip Galvanizing for Sustainable Design* comporte davantage d'informations sur la durabilité de l'acier galvanisé, notamment l'ACV complète.

avantages économiques

Outre le fait de construire des structures qui sont écologiques, pour que la durabilité soit réelle, ces structures doivent être également économiquement responsables envers les futures générations. L'acier galvanisé à chaud peut fournir des économies à la fois au départ et tout au long de la vie d'un projet, libérant ainsi de l'argent pour de nouvelles constructions plutôt que dans un entretien coûteux.



Boucle de recyclage de l'acier et du zinc (100%)
 † Pour toutes les conditions environnementales, même les plus rudes et les plus corrosives, il n'y a ni intrant énergétique ni intrant de matières premières pendant l'utilisation (75 ans et plus)
 ‡ Pour l'acier galvanisé à chaud, oxyde de zinc, hydroxyde de zinc et carbonate de zinc se produisant naturellement

Figure 11: ACV de galvanisation

Dans la communauté des rédacteurs de devis a régné pendant longtemps le sentiment que l'acier galvanisé à chaud avait un coût prohibitif au départ. Toutefois, en raison des améliorations régulières apportées au processus, l'acier galvanisé n'est pas seulement compétitif, mais souvent moins cher initialement que d'autres systèmes de protection contre la corrosion. En outre, en raison de délais d'exécution et d'érection rapides, l'utilisation d'acier galvanisé à chaud offre souvent de larges économies de coûts pendant la construction.

Bien que le coût initial soit important, l'analyse des coûts tout au long de la vie du projet fournit une image plus complète des coûts pour les futures générations. Le coût du cycle de vie (CCV) tient compte non seulement du coût initial, mais aussi des coûts directs d'entretien tout au long de la vie de structure et de la valeur de rendement de l'argent sur la durée de vie du projet en utilisant des calculs de valeur actualisée nette (VAN) et de valeur future nette (VFN).

Puisque l'acier galvanisé à chaud fournit des décennies de protection contre la corrosion sans entretien nécessaire, souvent le coût initial est le coût final du cycle de vie. L'évaluation du CCV peut être lourde; pour faciliter l'analyse,

l'AGA a élaboré un calculateur de coût du cycle de vie sur le site lccc.galvanizeit.org. Ce calculateur en ligne permet aux utilisateurs de saisir les paramètres pour un projet et de comparer les coûts initiaux et de cycle de vie de la galvanisation à chaud avec plus de 30 systèmes de protection contre la corrosion en se basant sur des données de coûts publiées. Pour de plus amples renseignements, visitez le site du calculateur en ligne ou lisez la publication de l'AGA *Hot-Dip Galvanizing Costs Less, Lasts Longer*.

Prescription de la galvanisation à chaud

Une fois que la décision a été prise de prescrire la galvanisation à chaud, il est important d'ouvrir les lignes de communication entre le rédacteur de devis, le fabricant et le galvaniseur. Une communication précoce dans le processus de conception est clé pour produire des revêtements galvanisés de qualité optimale, réduire au minimum mes coûts et améliorer les délais d'exécution. La protection contre la corrosion commence au niveau de la planche à dessin et l'intégration du détail et des principes de conception assurera le succès. La publication de l'AGA *La Conception des Produits à Galvaniser par Immersion à Chaud après Fabrication* fournit des informations basées sur des spécifications bien établies.

Il y a trois spécifications principales qui régissent l'épaisseur du revêtement, l'adhérence et le revêtement pour les revêtements galvanisés: l'ASTM A123, A153 et A767. L'A123 est la spécification principale et couvre tous les types de produits galvanisés, à l'exception des attaches et des petites pièces qui sont couvertes par l'A153, et les armatures d'acier en barres couvertes par l'A767. Il y a une poignée de spécifications justificatives référencées dans ces spécifications; elles couvrent les pratiques de conception, la réparation et la retouche ainsi que la peinture sur la galvanisation. Ensemble avec l'ASTM International, l'AGA publie une compilation de ces spécifications, *Selected Specifications for Hot-Dip Galvanizing*, qui peut être achetée auprès de l'AGA.

Conclusion

Le monde continue à évoluer et il en va de même pour les spécifications de pratiques et de conception de construction. Les développeurs de l'environnement bâti prennent en charge la responsabilité de créer un monde meilleur pour les générations futures en construisant des bâtiments, des infrastructures et d'autres éléments qui sont durables. L'acier galvanisé à chaud, qui est utilisé avec succès depuis plus de 100 ans, offre une durabilité grâce à sa protection contre la corrosion, sa robustesse, sa longévité, sa disponibilité et sa polyvalence supérieures. Le revêtement naturel, recyclable gris mat de l'acier galvanisé à chaud transcende le temps en ayant un faible impact environnemental et économique, améliorant ainsi la qualité de vie du futur.



Pérennité



Reconstruction des glissières de sécurité du pont M-102
 Detroit, Michigan

La galvanisation des panneaux des glissières de sécurité d'origine en acier remontant à 1955, les glissières sur projet de pont et de glissières MI/M-102 devaient faire l'objet d'une réparation due à la corrosion. Heureusement, grâce à la protection fournie par le revêtement galvanisé sur les panneaux des glissières, la circulation sur le pont avait endommagé uniquement de 15 à 20 pour cent des plus de 300 tonnes d'acier qui devraient être remplacées pour la réparation. Le rédacteur de devis avait appris que de nombreux états avaient repris de vieilles glissières, les avaient décapées, regalvanisées et remises en service; le MDOT a donc décidé de regalvaniser les panneaux de glissières en acier existants.

Le MDOT pensait que le recyclage de l'acier existant était une excellente opportunité pour contribuer à l'initiative « Soyez écologiques » soutenue par le département. L'état a économisé plus de la moitié du budget réservé à ce projet, car il a dû remplacer uniquement 20 pour cent du matériel ancien. Voilà un excellent exemple de la recyclabilité de l'acier : plutôt que de remplacer le matériel à la fin de sa vie, le projet continue à utiliser l'acier d'origine. L'acier galvanisé à chaud a permis à ce projet d'avoir une durabilité « du berceau au berceau », d'être également pérenne et sans entretien nécessaire.



American Galvanizers Association
 6881 South Holly Circle, Suite 108
 Centennial, Colorado 80112
 Phone: 720-554-0900
 Fax: 720-554-0909
www.galvanizeit.org
aga@galvanizeit.org