



Qu'est-ce que la corrosion?

White Paper

Qu'est-ce que la corrosion?

par **Doug Jones**

Équipe d'experts de Bossard
Bossard United States

www.bossard.com

Tous droits réservés © 2020 Bossard

Les recommandations et notes mentionnées doivent être suffisamment vérifiées par le lecteur dans l'utilisation pratique et déclarées aptes à leur application. Sous réserve de modifications sans préavis.



ASSEMBLY
TECHNOLOGY
EXPERT

QU'EST-CE QUE LA CORROSION?

Introduction

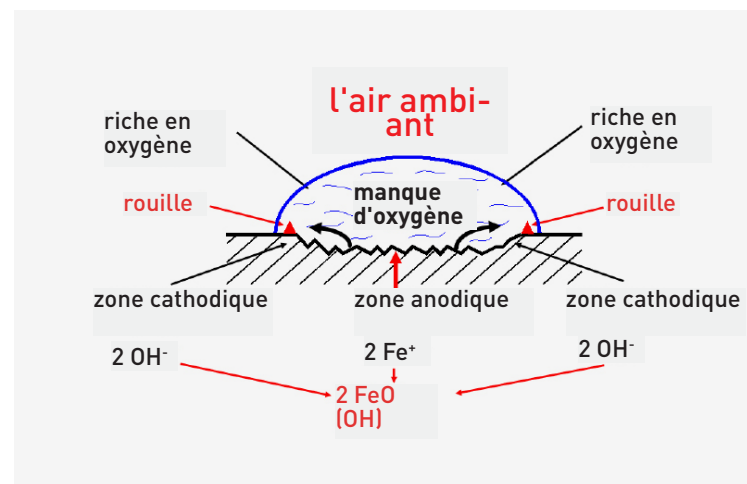
Dans certains cas, la corrosion peut être vue comme agréable, comme une légère patine sur un arrosoir de cuivre pour la décoration, mais la plupart du temps nous aimerions néanmoins l'empêcher de s'emparer de notre produit jusqu'à la fin du cycle de vie utile de celui-ci. La corrosion peut être un motif de mécontentement pour les clients lorsqu'ils découvrent des tâches de rouille sur leur nouvelle tondeuse reluisante, elle peut provoquer des blessures, voire la mort par exemple si elle attaque un plafond de piscine dont le toit aurait été mal conçu. La compréhension de ces types de corrosion et la mise en œuvre de bonnes pratiques dans le design doivent guider tout ingénieur dans son travail.

Principes de la corrosion

La cause principale de la corrosion dans les éléments de fixation est l'humidité et les réactions électrochimiques qui peuvent se produire entre eux et leurs pièces de raccord.

Modele de la goutte d'eau

La figure ci-dessus représente une goutte d'eau déposée sur une surface plate en fer. La surface de la goutte d'eau est exposée à l'air, ce qui l'enrichit en oxygène. L'intérieur de la goutte a un manque d'oxygène, ce qui crée une différence de potentiel électrochimique et permet au courant électrique de passer. Le passage du courant électrique dans l'eau, qui agit comme un électrolyte, entre la surface anodique du fer et la surface cathodique de l'eau provoque la dissolution des ions de fer.



Les ions d'hydroxyde se forment parallèlement dans l'eau et réagissent avec les ions de fer, ce qui provoque la précipitation de l'hydroxyde de fer, $\text{Fe}(\text{OH})_2$. L'oxygène dissout oxyde rapidement ce composé pour former de l'hydrate d'oxyde de fer ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2$, communément appelé la rouille.

Il n'est pas nécessaire que la quantité d'humidité soit importante pour que la rouille commence à se former. La corrosion commence à un taux d'humidité relative de 60%. Si l'air contient du dioxyde de soufre, du sulfure d'hydrogène, de l'oxyde d'azote, du sel, des cendres, de la suie ou autres produits contaminants, les possibilités de corrosion sont encore plus élevées.

QU'EST-CE QUE LA CORROSION?

Types de corrosion

Corrosion uniforme

La corrosion uniforme de l'acier est le type de corrosion le plus courant ; elle est facile à reconnaître grâce à sa couleur rougeâtre répartie uniformément sur la partie exposée de la fixation. Si ce problème n'est pas pris en charge, les pièces peuvent perdre en épaisseur et s'affaiblir, ce qui peut provoquer un défaut du joint ou une impossibilité de monter l'ensemble.



Prevention

- Protéger les pièces de l'humidité
- Utiliser des pièces conçues de telle sorte qu'elles laissent passer l'eau
- Prévoir une bonne ventilation pour le séchage
- Veiller à la propreté des surfaces et éviter la pollution
- Empêcher la condensation continue
- Protéger les fixations avec des dépôts ou des revêtements spéciaux.

Corrosion caverneuse

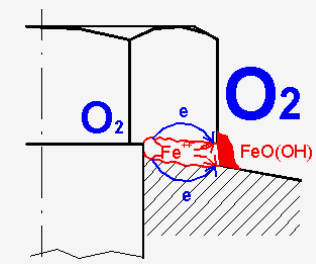
Les petits espaces et les recoins tendent à attirer l'humidité et ne sèchent pas facilement. L'humidité dans une fente perd rapidement son oxygène et déclenche une corrosion anodique décrite dans le modèle de la goutte d'eau. Dans le cas des éléments de fixation, le risque de corrosion caverneuse est multiplié par le nombre de faces du joint.



Les fixations en inox austénitique sont également exposées à la corrosion caverneuse, notamment si elles sont utilisées dans un environnement avec des ions de chlorure dans l'eau.

Prevention

- Minimiser l'utilisation des rondelles d'étanchéité - utiliser du matériel à collerettes.
- Faire en sorte que les interfaces de joints soient aussi lisses que possible.



Corrosion galvanique

Le raccordement de deux métaux différents en présence d'humidité crée un potentiel électrochimique qui aboutit sur la corrosion. Le courant passe du métal le moins noble et anodique vers le métal le plus noble cathodique dans la réaction galvanique, ce qui dissout le matériau le moins noble.

Eau, pH 6.0	Eau de mer, pH 7.5	
Argent	Argent	Plus noble (cathode)
Cuivre	Nickel	
Nickel	Cuivre	↑
Inox A2	Inox A2	
Plomb-alu		↑
Plomb étamé	Acier	
Acier	Cadmium	↑
Cadmium	Aluminium	
Zinc	Zinc	↑
	Étamé	
		Moins noble (anode)

Potentils électrochimiques du métal



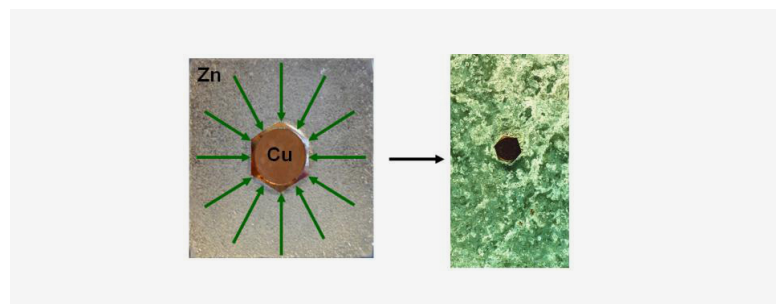
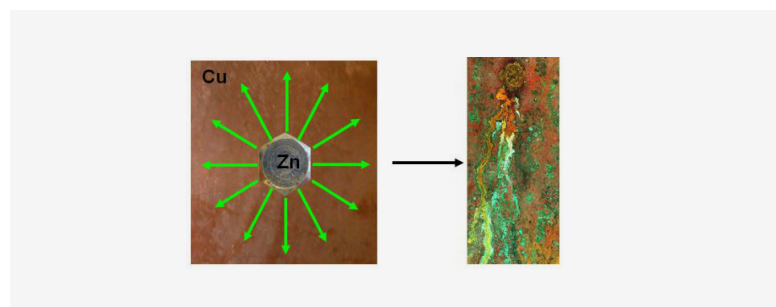
Un écrou plaqué en zinc sur une bride en bronze

La densité du courant de la corrosion est directement proportionnelle à la vitesse de dissolution du métal. Dans le cas ci-après, la vis plaquée en zinc moins nombre est utilisée pour fixer une plaque de cuivre. La petite surface de zinc comparée à la surface en cuivre plus grande crée également une forte densité de courant. Lorsque de l'humidité vient s'ajouter à cela, le zinc se dissout rapidement.

Si nous renversons les éléments et fixons un grand morceau d'acier plaqué en zinc avec une fixation en cuivre, la densité du courant est très faible et le processus de corrosion est beaucoup plus homogène sur les deux métaux.

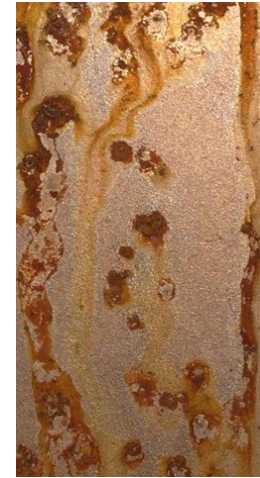
Prevention

- Les matériaux des pièces de fixation ou une finition de protection doit être aussi noble ou plus nobles que les membres du joint.
- Les rondelles en plastique d'isolation peuvent être utilisées pour les joints où la charge de serrage n'est pas critique.
- Les pièces en inox ou en cuivre ne doivent jamais être fixées avec des pièces de fixation plaquées en zinc.



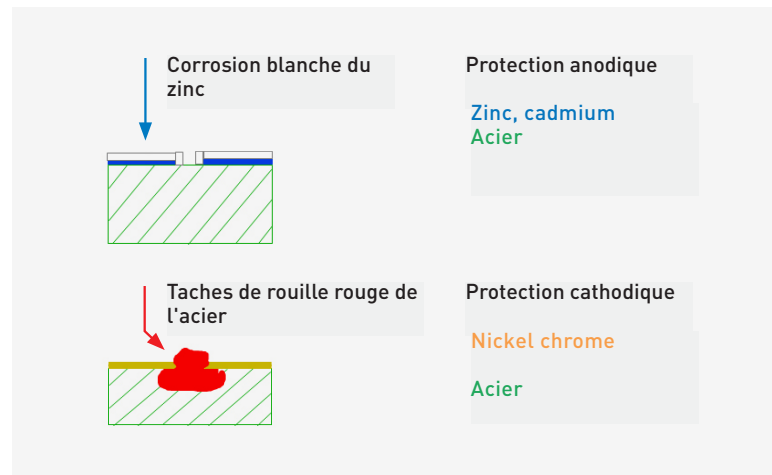
Corrosion profonde

Sur une surface métallique revêtue d'une finition très noble comme le nickel ou le chrome, la corrosion profonde peut se produire. Dans l'exemple ci-après, l'acier plaqué en nickel avait des pores invisibles qui laissaient l'eau de passer dans la basse métallique. La corrosion de fissures a commencé sous la surface et était visible par les pores sous forme de petits points ou crevasses.



L'inox et les alliages en aluminium sont également touchés par la corrosion profonde. Ces métaux contiennent une couche d'oxyde de chrome passif en surface qui les préserve de la corrosion dans un environnement normal. Si cette couche passive est localement endommagée mécaniquement ou par des solutions contenant des ions de chlorure, la corrosion profonde peut se produire.

La zone exposée devient moins noble que la zone passivée beaucoup plus grande autour de la première et crée une densité de courant permettant la corrosion galvanique dans la zone localisée, ou dans la couche profonde. Si l'oxygène peut entrer dans la zone active, il peut passer à nouveau, mais les dépôts de saleté et de sel et les déchets de chlorure peuvent gêner l'accès de l'oxygène et ralentir la reformation de la couche passive.



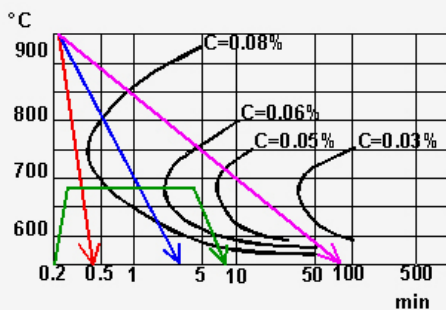
Prevention

- Demandez au technicien qui a réalisé le revêtement en nickel s'il existe des traitements adaptés comme le fluide anticorrosion de Castrol (DW924) qui bouche les pores.
- Veillez à la propreté des surfaces, et veillez à ce qu'elles soient bien lisses.
- Évitez tout déchet solide ou liquide, notamment les chlorures - lavez ou rincez les parties qui ont été exposées.
- Utilisez de l'inox A4 ou 316 contenant du molybdène dans des environnements soumis aux chlorures.

Corrosion intergranulaire

Les aciers inoxydables austénitiques (Cr Ni) peuvent développer de la corrosion intergranulaire lorsqu'ils sont chauffés à fortes températures pour le formage à chaud ou la soudure. Après le chauffage (600 - 900°C) et le refroidissement lent, le carbone peut se combiner avec du chrome pour former des carbures de chrome. La formation de carbure appauvrit la contenance en chrome qui est nécessaire pour rendre l'acier résistant. Si le niveau de chrome chute au-dessous de 12%, la corrosion peut se produire, notamment dans les joints de grain.

Une contenance en carbone plus forte dans l'inox et une vitesse de refroidissement plus lente produit une plus grande quantité de carbures. Le graphique ci-après indique la durée du refroidissement en minutes à partir de certains niveaux de température. Tant que la température de l'acier et la durée de l'exposition à la chaleur reste à gauche de la courbe, la corrosion intergranulaire ne se produira pas.



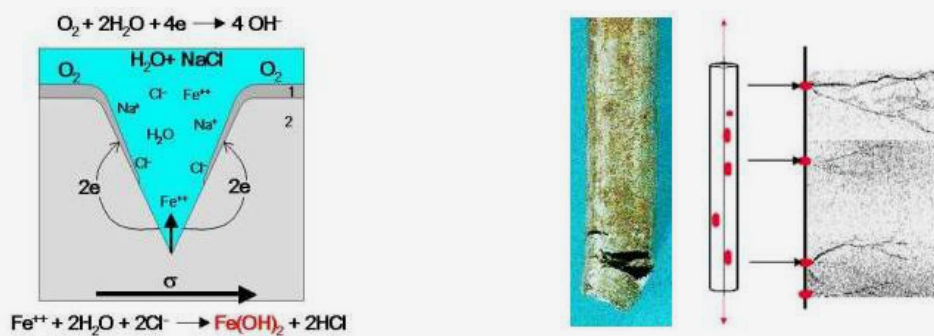
Prevention

- Utilisez de l'acier inox avec une contenance en carbone inférieure à 0,05% dans le cas d'un formage à chaud ou de la soudure.
- Faites tremper les pièces dans l'eau directement après le chauffage.
- Les aciers inox contenant plus de 0,05% de carbone et qui seront soumis à de fortes chaleurs peuvent être stabilisés grâce à l'ajout de titane, de niobium ou de tantale (aciers A3 et A5)

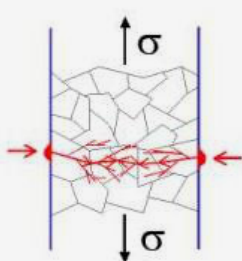
Fissuration par corrosion sous contrainte

La fissuration par corrosion sous contrainte peut se produire lorsque la corrosion se produit sur les pièces de fixation soumises aux efforts de tension. La plupart du temps ce type de défaut commence par une corrosion profonde.

Dans le cas de l'inox austénitique qui a subi de la corrosion profonde en présence d'eau salée, la corrosion est accélérée perpendiculairement à l'orientation de l'effort et une fissure se produit. En raison des réactions qui surviennent, la rouille rouge et l'acide chlorhydrique se forment continuellement à la base de la fissure. L'attaque de l'acide empêche la repassivation et le processus de corrosion continu en entraînant l'approfondissement de la fissure jusqu'à la défaillance du métal.



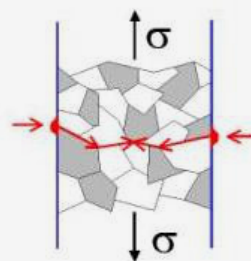
La fissuration par corrosion sous contrainte peut également se produire sur les aciers non alliés et à alliage faible. La fissure formée sera intergranulaire en nature tandis que les fissures dans les inox austénitiques seront transgranulaires.



Transgranulaire
Corrosion par contrainte:

La fissure s'étend le long des grains et peut former des branches.

C'est la formation d'une fissure dans les aciers inoxydables austénitiques Cr Ni.



Intergranulaire
Corrosion par contrainte:

La fissure se développe le long des surfaces des grains de métal, c'est-à-dire le long des liaisons de grains.

La progression intergranulaire des fissures est plus probable dans les aciers sans alliage et à alliage faible.

Prevention

- Observez les règles de prévention pour la corrosion profonde, notamment dans les pièces de fixation qui sont soumises à de fortes tensions.
- Inspectez régulièrement les pièces critiques pour détecter tout signe de corrosion
- Envisagez de galvaniser les pièces critiques pour la sécurité, qui fait ressortir la corrosion.
- Vérifiez que les pièces de fixation critiques pour la sécurité sont bien accessibles pour les opérations de contrôle et de remplacement.

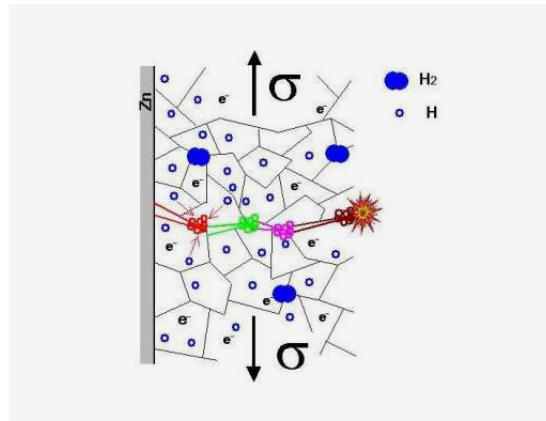
Fragilisation a l'hydrogene

L'hydrogène peut être induit dans de l'acier pendant le nettoyage à l'acide ou par électroplacage. Pendant l'opération, la majeure partie de l'hydrogène s'échappe sous forme de gaz, mais une partie restant se diffuse dans le métal sous forme atomique. Les atomes d'hydrogène restent très mobiles dans la structure de grain du métal et ont tendance à migrer vers les zones de concentration des tensions.

Lorsque les produits de fixation très résistants (dureté > 320 HV) sont soumis à une contrainte, de petits défauts de surface comme des fissures ou des inclusions peuvent s'ouvrir sous forme de très petite fissure. Si de l'hydrogène est présent dans l'acier, les atomes sont attirés par les efforts de tension autour du rebord de la fissure et forment à cet endroit un « nuage d'atomes d'hydrogène ». L'hydrogène affaiblit la microstructure du métal et la fissure peut continuer à grandir jusqu'à la défaillance de la pièce.

La fragilisation à l'hydrogène sera toujours une défaillance retardée, elle ne se produira jamais au moment du montage mais des heures ou des semaines plus tard. Les défaillances typiques se produisent généralement dans les 24 - 48 heures. Les pièces les plus sensibles sont les fixations avec filetage ou d'une classe de propriété métrique de 10.9 ou plus, niveau impérial de 8 ou plus. Les pièces filetées cémentées comme les fis de formation de filetage ou les vis dentelées sont également touchées, ainsi que toutes les pièces faites en acier à ressorts, comme les rondelles de blocage et les bagues de retenue.

Pour les pièces très résistantes électroplaquées, un processus de bain peut être réalisé pendant au moins quatre heures à 200-230°C dans les quatre heures suivant le placage pour drainer l'hydrogène. Même si cette pratique est fortement conseillée et largement utilisée, elle ne garantit pas que le risque soit entièrement éliminé. La meilleure pratique est de ne pas introduire de l'hydrogène dans les pièces d'abord. D'autres revêtements qui ne créent pas d'hydrogène peuvent également être envisagés pour les fixations très résistantes.



Trois concepts sont fondamentaux concernant la fragilisation à l'hydrogène:

1. Un matériau sensible - acier avec une dureté de > 320 HV ou une résistance à la traction $> 1000\text{N/mm}^2$.
2. Un procédé qui introduit de l'hydrogène dans le métal
3. Une contrainte de tension soutenue

Si l'un de ces trois concepts est éliminé de l'équation, la fragilisation à l'hydrogène n'est plus un problème. Cela signifie que les boulons de la classe de propriété 8.8 ou du niveau 5 ne peuvent plus être touchés, pas plus que les fixations finies avec un revêtement sans hydrogène.

Il faut également noter que le processus de corrosion produit de l'hydrogène, par conséquent les fixations très résistantes doivent également être protégées contre la corrosion. Les défaillances retardées qui surviennent plusieurs semaines ou plusieurs mois après le montage sont normalement le résultat de l'introduction de l'hydrogène dans la corrosion plutôt que d'une source d'hydrogène introduite pendant le traitement des pièces.

Prevention

- Ne faites pas de nettoyage par dépôt électrolytique ou à l'acide sur les pièces très résistantes de plus de 320 HV de dureté ou d'une résistance à la traction de plus de 1000N/mm^2 .
- Si le dépôt électrolytique est inévitable, vérifiez que les pièces sont bien aussi propres que possible pour minimiser la durée nécessaire pour le nettoyage à l'acide et suivez les procédures de cuisson décrites ci-dessus.

QU'EST-CE QUE LA CORROSION?

Resume

Souvenez-vous lors de la conception des produits que les pièces de fixation font partie intégrale du montage entier et qu'elles ne peuvent pas être traitées comme des pièces isolées. Les fixations doivent toujours être aussi bonnes ou meilleures que les pièces qu'elles unissent. En comprenant les différents types de corrosion et les mesures de prévention et en suivant les règles ci-dessous, vous pourrez obtenir des joints de bonne qualité et durables.

Suivez les trois règles ci-après pour garantir un bon design de joint.

1. Les éléments d'union doivent toujours être aussi bons ou même meilleurs que les pièces jointes.
2. Les joints de fixation ne doivent jamais devenir des points de faiblesse.
3. Vérifiez que tous les joints unis, notamment les plus critiques, sont bien accessibles pour l'inspection et le remplacement éventuel.



N'hésitez pas à nous contacter pour toute question concernant la corrosion. Nous serions ravis de vous aider. Vous trouverez nos coordonnées sur : www.bossard.com.