

Analyse comparative de l'acier inoxydable et de l'acier au carbone plaqué/revêtu

Corrosion et sélection des matériaux de fixation

par Michael Pasko, Ingénieur d'application
Spirol International Corporation

L'objectif de ce document est d'aborder la corrosion en termes généraux - et non de fournir une référence complète concernant toutes les formes de corrosion ou une analyse détaillée des forces et faiblesses d'alliages spécifiques. La corrosion de l'acier inoxydable et de l'acier au carbone sont très différents et ce document fournira des informations sur l'attaque générale ou la corrosion de surface, car il s'agit souvent d'une considération primordiale lors du choix du matériau de fixation.

L'acier au carbone et l'acier inoxydable sont les matériaux les plus courants dans lesquels sont fabriquées les fixations et chacun est disponible dans des centaines d'alliages ou de qualités avec une grande variété d'attributs. Le coût initial d'un composant en acier inoxydable est généralement plus élevé que celui de l'acier au carbone, mais pas toujours. Par exemple, le matériau représente une plus petite part du coût d'une goupille spiralée légère que celui d'une goupille pleine de même diamètre et de même longueur. Par conséquent, la goupille spiralée en acier inoxydable peut être disponible à un coût égal ou inférieur à celui de la goupille pleine en acier au carbone. En outre, les processus secondaires, tels que le traitement thermique ou le placage, augmentent souvent le coût des pièces en acier au carbone alors qu'ils ne sont pas forcément nécessaires pour l'acier inoxydable. Le coût n'a pas de sens si l'on ne tient pas compte de la valeur. Par exemple, le fabricant d'un barbecue d'extérieur haut de gamme peut choisir des fixations en acier inoxydable capables de résister à la corrosion bien plus longtemps que la durée de vie prévue du produit. Cette sélection témoigne d'un engagement envers l'intégrité du produit, l'apparence esthétique et la longévité. La « valeur » d'une fixation qui offre une qualité maximale peut compenser toute augmentation de coût associée. Le même fabricant peut opter pour des fixations en acier plaqué moins chères pour un modèle vendu sous une marque discount si le consommateur prévu est plus sensible au coût qu'à la qualité. Ces deux raisons sont valables pour choisir un matériau plutôt qu'un autre, mais le choix de l'acier inoxydable exige que le client tienne compte de la valeur autant que du coût. Les concepteurs doivent peser les coûts, les avantages et les risques lorsqu'ils choisissent le matériau de fixation approprié.

SPIROL fabrique des goupilles spiralées, des goupilles fendues, des goupilles pleines, des inserts, des produits tubulaires, des écrous usinés, des limiteurs de compression, des cales et des ressorts à disque au service d'une grande variété d'industries dans le monde entier. Bien que SPIROL fabrique des pièces à partir de nombreux matériaux, tant ferreux que non ferreux, le

champ d'application de ce document se limite aux produits en métal ferreux, et plus particulièrement à l'acier inoxydable et au carbone. Les produits ferreux de SPIROL sont fabriqués à partir de quatre groupes de matériaux standard primaires :

- Acier à faible teneur en carbone
- Acier et alliages à haute teneur en carbone
- Acier inoxydable martensitique au chrome (AISI 410 & 420, EN/DIN 1.4516 & 1.4021)
- Acier inoxydable austénitique au nickel (AISI 302, 304, 305 ou EN/DIN 1.4319, 1.4301, 1.4303)

Bien que l'acier au carbone et l'acier inoxydable soient tous deux des métaux ferreux, c'est-à-dire qu'ils contiennent du fer, leur réaction aux attaques corrosives est très différente. Par définition, l'acier inoxydable doit contenir au moins 10,5 % de chrome. Lorsqu'il est exposé à l'oxygène, cet élément d'alliage crée une couche d'oxyde de chrome à la surface qui cesse rapidement de croître, devenant ainsi « passive ». Cette couche passive est continue, uniforme en épaisseur, insoluble et non poreuse. La couche passive empêche le contact entre l'oxygène de l'environnement et le métal de base et se cicatrise d'elle-même en cas de rayure ou d'abrasion, tant que l'oxygène reste disponible. La couche passive ne fait que 10 à 100 atomes d'épaisseur et n'a donc aucun impact dimensionnel sur les pièces. Bien que l'acier inoxydable puisse se corroder lorsqu'il est exposé à certains agents chimiques dans des conditions spécifiques, il ne rouille pas par attaque uniforme ou générale comme le fait l'acier au carbone. En tant qu'élément d'alliage, le chrome fait partie d'un mélange homogène et est considéré comme sûr car il ne peut pas être facilement libéré de l'alliage. Une dernière remarque concernant l'acier inoxydable est la facilité relative avec laquelle il est recyclé. L'acier inoxydable est recyclable à 100 % et les analystes du secteur estiment que 80 à 90 % de l'acier inoxydable mis au rebut est récupéré pour être recyclé.

La rouille se produit dans le fer et les alliages de fer tels que l'acier. La rouille est une couche d'oxyde de fer créée à la surface d'une pièce lorsqu'elle est exposée à l'oxygène en

présence d'humidité. Cette couche d'oxyde de fer reste active et continue de convertir le fer en oxyde de fer à mesure que les couches extérieures perdent leur intégrité et se détachent, exposant le nouveau métal (voir figure 1). L'oxyde de fer est également poreux, ce qui lui permet d'absorber l'humidité et les éléments qui peuvent contribuer à la corrosion, prolongeant ainsi la période de corrosion active à chaque exposition. Pour empêcher la formation d'oxyde de fer ou de rouille, il est



Figure 1. Une chaîne rouillée montre la perte de matériau due à la rouille ou à une attaque générale.

nécessaire d'éliminer l'exposition à l'oxygène et à l'humidité. Pour ces raisons, on peut observer que les véhicules à moteur utilisés dans des climats secs présentent beaucoup moins de corrosion ou de rouille que le même véhicule utilisé dans un environnement humide. Dans les environnements froids et humides où des agents de dégivrage sont utilisés sur les routes, la vitesse et la gravité de l'attaque sont encore accrues.

Les fixations en acier au carbone sont généralement moins chères que celles en acier inoxydable et il existe des finitions qui offrent une excellente résistance à la corrosion. Il convient de noter que ces finitions contribuent à la croissance dimensionnelle qui doit être prise en compte dans la conception. L'acier au carbone peut être protégé de la corrosion par la peinture, le placage ou le revêtement. La peinture n'est généralement pas appropriée pour les fixations, car il s'agit plutôt d'un procédé en rack que d'un procédé en vrac, et elle n'est donc pas rentable. Le placage et le revêtement sont les méthodes prédominantes de préservation de l'acier au carbone, bien que certains de ces procédés soient tombés en désuétude en raison de leur impact environnemental. Des exemples de finitions considérées comme dangereuses sont le cadmium et les chromates hexavalents. La dernière décennie a vu l'arrivée à maturité de revêtements et de plaques en vrac capables de fournir une excellente résistance à la corrosion à faible coût tout en satisfaisant aux réglementations environnementales actuelles. Malgré ces progrès, la susceptibilité du métal de base à la rouille reste un talon d'Achille. La grande majorité des revêtements sont sacrificiels, ce qui signifie qu'ils n'offrent une protection que jusqu'à ce qu'ils soient épuisés. Dès que le métal de base est exposé, il rouille. Voici quelques exemples de finitions et de revêtements disponibles, mais sans s'y limiter :

- Revêtement de conversion au phosphate de zinc - généralement suivi d'une application d'huile ou d'un autre agent anti-rouille. L'application secondaire d'un agent anti-rouille détermine la résistance à la corrosion, qui peut être minimale ou concurrentielle par rapport aux plaques et autres revêtements.
- Zinc appliqué mécaniquement - le risque minimal de fragilisation par l'hydrogène est le principal avantage de cette finition. La finition peut être plus épaisse que celle de l'électrodéposition et n'est pas aussi lisse. Elle est souvent accompagnée d'une application secondaire de chromate et/ou de produits d'étanchéité pour améliorer les performances.
- Zinc électrolytique - généralement accompagné d'une application supplémentaire de chromate trivalent et souvent d'un produit d'étanchéité final. Ces finitions présentent un risque de fragilisation par l'hydrogène pour les aciers à haute résistance, bien que les pièces soient généralement cuites afin d'éliminer ce problème potentiel.
- Zinc nickel électrolytique - résistance à la corrosion plus élevée que le zinc électrolytique traditionnel. Comme pour l'électrodéposition de zinc standard, ce procédé nécessite également la cuisson de l'acier à haute résistance pour réduire le risque de fragilisation par l'hydrogène.
- Revêtements lamellaires d'aluminium et de zinc - Procédé de filage par trempage permettant d'obtenir une résistance à la corrosion très élevée sans risque de fragilisation par l'hydrogène.

La méthode la plus largement acceptée pour tester la corrosion est l'essai au brouillard salin. L'objectif de l'essai au brouillard salin est de fournir une méthode reproductible permettant d'évaluer la réponse d'un matériau ou d'une finition à une attaque corrosive. En théorie, cela permet également

de comprimer les essais de cycle de vie dans une période de temps pratique. Par exemple, il n'est pas pratique pour le fabricant d'une poignée de porte extérieure de laisser une poignée à l'extérieur pendant 15 ans pour déterminer si une garantie de 15 ans est appropriée. Il est plus pratique de placer la poignée dans une cabine de pulvérisation de sel pendant une courte période afin de reproduire l'impact que peuvent avoir 15 ans d'attaque corrosive. Il est important de comprendre que de telles comparaisons peuvent être grossièrement inexactes, bien que cette méthode de test reste l'un des rares choix disponibles. Il n'existe aucune corrélation précise entre les conditions réelles et le temps passé dans une cabine de brouillard salin. Si le fabricant de poignées de porte est concerné par un produit utilisé dans des zones côtières, il est essentiel de comprendre que l'exposition potentielle ne se produira que par intermittence. Il peut y avoir des périodes de plusieurs mois sans tempête, sans temps sec et avec peu ou pas d'exposition aux éléments corrosifs. En bref, les essais au brouillard salin sont extrêmes par rapport à l'utilisation prévue de nombreuses fixations/composants et les durées d'essai sont attribuées arbitrairement en fonction de la meilleure estimation du concepteur concernant la corrélation avec les conditions réelles. Enfin, alors que de nombreux fabricants attribuent désormais des essais au brouillard salin aux produits en acier inoxydable, ces essais sont principalement destinés aux pièces en acier au carbone. L'acier inoxydable est généralement testé dans une chambre humide sans sel. Dans les cas où l'exposition aux chlorures est une préoccupation majeure, l'essai au brouillard salin est une méthode d'essai acceptable pour l'acier inoxydable.

Les exigences de l'essai au brouillard salin consistent généralement en deux critères simples : le nombre d'heures nécessaires à la formation de la corrosion blanche, puis le nombre d'heures nécessaires au début de l'attaque de la rouille rouge (ou du métal de base). La concentration de sel, la température et le temps sont soigneusement contrôlés. La majorité des revêtements et des plaques reposent sur une couche de métal non ferreux appliquée sur le métal de base, suivie d'un trempage au chromate et, selon les exigences de performance, d'un scellant organique ou inorganique. Lorsque ces finitions se dégradent, elles le font dans l'ordre inverse de celui dans lequel elles ont été appliquées. Une fois que l'environnement corrosif a percé les couches extérieures d'étanchéité et de chromate, il commence à attaquer le métal non ferreux situé en dessous. C'est alors que commence la corrosion blanche. Les métaux non ferreux tels que le zinc, le nickel, l'aluminium et le magnésium ne contiennent pas de fer et ne rouillent pas. La rouille rouge ne devient visible qu'après l'épuisement du métal sacrificiel (*voir figure 2*).



Figure 2 : Cette goupille spiralée a été finie par un zingage léger suivi d'un trempage au chromate. La finition a été évaluée pendant 48 heures pour une protection contre la corrosion « rouge ». Le fait de laisser cet article dans un brouillard salin pendant 200 heures a entraîné une rouille rouge importante, bien qu'il reste un peu de zinc et de corrosion blanche. Là où le zinc est présent en surface, la pièce reste exempte de rouille rouge malgré la gravité de l'attaque dans les zones adjacentes.

Un problème avec la métallisation électro-mécanique est la difficulté associée à la métallisation dans les trous profonds et les crevasses importantes. Ce problème se pose sur de nombreux produits fabriqués par SPIROL, tels que les goupilles spiralées et fendues ainsi que les pièces tubulaires. Aucun des deux procédés n'est capable de réaliser un dépôt correct à l'intérieur d'un tube (voir figures 3 et 4). Bien que le processus d'application de ces finitions puisse déposer du chromate et de l'agent d'étanchéité à l'intérieur, il n'est pas possible d'obtenir une couverture à 100 % du métal non ferreux (le zinc dans ce cas), qui est le composant de finition le plus important. Contrairement à la métallisation mécanique et à la galvanisation, les revêtements appliqués sous forme liquide sont capables de couvrir correctement



Figure 3 : Cette photographie illustre la géométrie de base d'une goupille spiralée - elle est constituée d'un certain nombre d'enroulements métalliques. Les plaques ne pénètrent pas entre les enveloppes et les revêtements par immersion, bien qu'ils soient capables de couvrir l'intérieur, restent en place.

l'intérieur d'une pièce, bien que, comme nous l'avons déjà noté, les goupilles spiralées présentent un défi unique dans la mesure où l'espace entre les bobines a peu de chances de recevoir une couverture substantielle. Bien que cela puisse sembler être une préoccupation importante, il est essentiel de comprendre qu'il existe de nombreuses formes de corrosion et qu'en ce qui concerne les fixations, la corrosion à ces endroits est souvent peu préoccupante. Des centaines de milliards d'éléments de fixation plaqués ont été utilisés avec succès au fil des ans malgré ces problèmes. Si un élément de fixation est entièrement installé dans un matériau hôte, il peut être largement protégé des attaques. Un bon exemple serait un limiteur de compression pris en sandwich entre deux composants, protégé par un joint et fermé par un boulon à bride. En ce qui concerne la corrosion galvanique, il n'est pas nécessaire que la finition soit uniforme pour assurer une protection, car elle s'appauvrira de manière sacrificielle pour protéger le métal de base tant que le courant pourra passer de l'un à l'autre. Par exemple, la coque d'un bateau en acier peut être protégée en boulonnant des anodes de zinc sacrificielles à des endroits stratégiques - il n'est pas nécessaire de galvaniser ou de zinguer l'ensemble du bateau. De même, le zinc sur le diamètre extérieur d'une goupille spiralée protégera l'intérieur si la corrosion galvanique est le mécanisme d'attaque.

L'avantage de l'acier inoxydable reste sa capacité à résister à la corrosion sans l'aide de finitions protectrices. La résistance à la corrosion est assurée par le chrome, qui est réparti dans tout l'alliage. L'acier inoxydable peut se corroder et tomber en panne, même s'il ne rouille pas, en raison d'une attaque générale ou d'une corrosion de surface. Les piqûres sont la forme de corrosion la plus courante de l'acier inoxydable. Les piqûres peuvent se produire lorsque des agents environnementaux ou l'abrasion/le grattage mécanique détruisent la couche passive dans des conditions où elle ne peut pas se reformer spontanément. Une attaque locale peut alors se produire. En cas de brouillard salin, une gouttelette d'eau peut se former à la surface d'une pièce. La gouttelette d'eau peut alors concentrer du chlorure qui est hautement corrosif. Une autre forme d'attaque généralement répartie sur une plus grande surface est la corrosion par fissures. Cette forme d'attaque peut se produire là où il y a des coins intérieurs aigus ou là où les composants se touchent d'une manière qui crée des points potentiels de dépôt de fluide. De bonnes pratiques de conception peuvent minimiser la corrosion par fissures, bien que dans de nombreux cas, elle soit inhérente à

Figure 4 : Pour démontrer l'attaque entre les bobines (ou enveloppes) d'acier de la goupille spiralée, la photographie ci-dessous a été prise après la coupe transversale de la goupille illustrée à la figure 3.



la fonction prévue d'une application. Il est également possible d'améliorer la corrosion en passant à d'autres alliages d'acier inoxydable. Les méthodes couramment utilisées pour accroître la résistance aux piqûres sont l'ajout de molybdène ou des concentrations plus élevées de chrome et/ou de nickel. L'augmentation de la résistance à la corrosion augmente généralement le coût et ne devrait donc être poursuivie que si nécessaire.

Parmi les deux aciers inoxydables proposés par SPIROL, l'acier inoxydable austénitique (ou nickel) offre la meilleure résistance à la corrosion tandis que l'acier inoxydable martensitique (ou chrome) est plus facilement attaqué. L'acier inoxydable au nickel présente deux avantages : 1) la teneur en chrome passe de 12 à 18 %, et 2) 8 % de nickel sont ajoutés pour augmenter la résistance aux attaques des acides minéraux. L'association du chrome et du nickel dans le bon rapport permet la création d'une structure austénitique. L'acier inoxydable au chrome martensitique peut être moins résistant à la corrosion ; cependant, il peut être traité thermiquement pour obtenir une résistance plus élevée, et le faible taux d'écaillage qui s'ensuit offre une excellente résistance à la fatigue.



Figure 5 : Goupilles avant le test : les deux supérieures sont en acier à faible teneur en carbone recouvert de zinc lamellaire, les deux inférieures sont en acier inoxydable austénitique 305 SST.

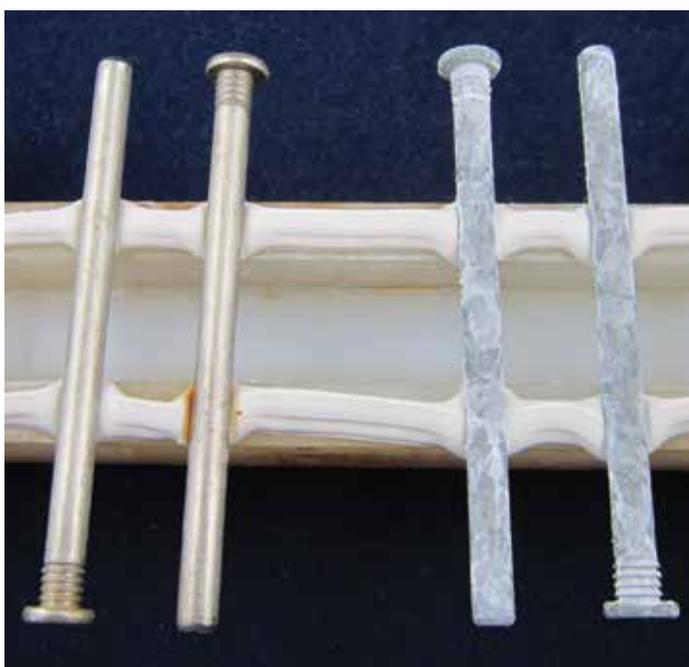


Figure 6 : Après le test, les pièces en 305 SST restent inchangées (à gauche) tandis que les pièces revêtues (à droite) présentent une importante corrosion blanche.

Pour démontrer la différence entre l'acier inoxydable et l'acier au carbone revêtu, deux goupilles pleines ont été fabriquées avec une géométrie identique dans chaque matériau. La goupille en acier inoxydable a été passivée tandis que la goupille en acier à faible teneur en carbone a été revêtue d'un produit lamellaire en zinc (voir figure 5). Après 720 heures, la pièce revêtue s'est bien comportée, bien que la corrosion blanche soit facilement visible. Une fois que le zinc est épuisé, la rouille commence à apparaître. En revanche, les goupilles en acier inoxydable austénitique sont pratiquement inchangées (voir figure 6). Une goupille en acier inoxydable de série 300 correctement passivée peut offrir une protection de 2 500 heures contre le brouillard salin.

Comme indiqué précédemment, l'acier inoxydable martensitique est moins résistant à la corrosion que l'acier inoxydable austénitique et, pour cette raison, il n'est généralement pas testé au brouillard salin. Les aciers inoxydables 410 et 420 offrent tous deux une bonne résistance à la corrosion dans l'atmosphère normale, l'eau douce, les fluides corporels et les environnements culinaires, ainsi que dans les acides oxydants doux tels que l'acide chromique et l'acide nitrique. Les goupilles en acier inoxydable martensitique suivantes ont été placées dans un brouillard salin et observées pendant une période de 300 heures. Les taches étaient évidentes au bout de 48 heures et de petites piqûres commençaient à se former. Après 300 heures, les piqûres étaient sévères et facilement visibles sur les photographies suivantes (voir les figures 7, 8, 9 et 10).



Figure 7 : Piqûres et taches sur une goupille fendue en acier inoxydable 420.

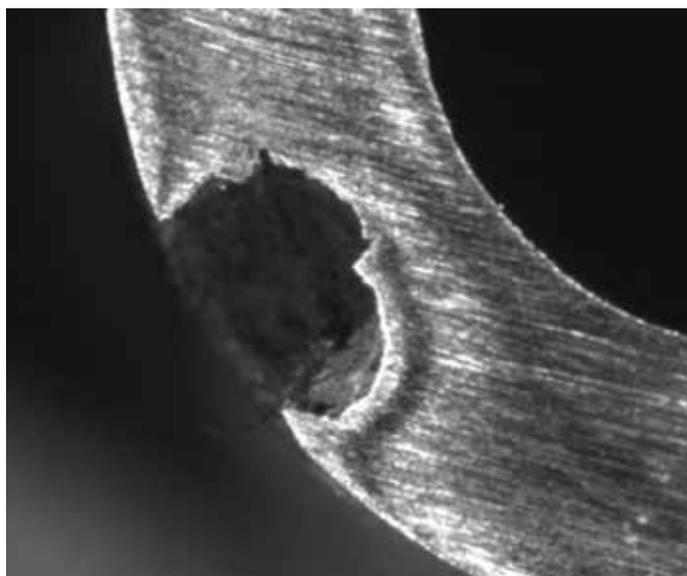


Figure 8 : Coupe transversale de la piqûre de la figure 7 montrant l'impact sur la section transversale et la réduction de la résistance.



Figure 9 : Piqûres et taches associées sur une goupille pleine en acier inoxydable 410.

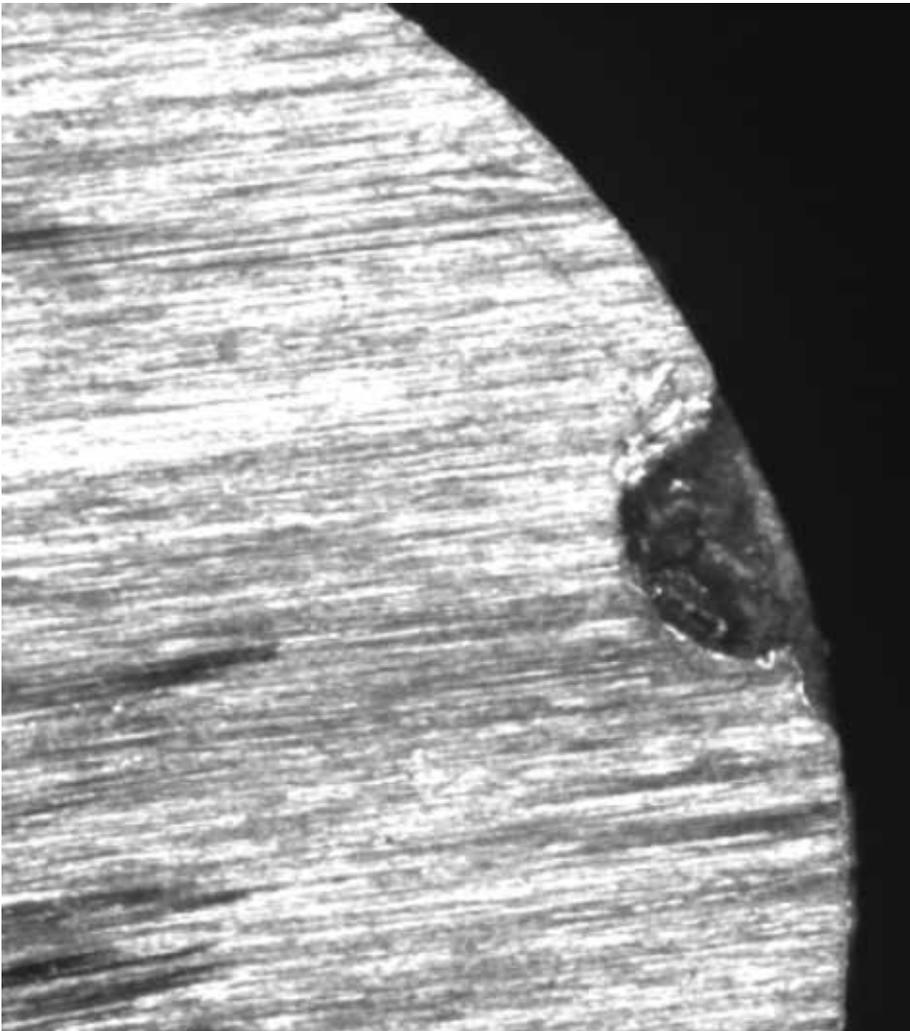


Figure 10 : Coupe transversale de la piqûre de la figure 9 montrant l'impact sur la section transversale et la réduction de la résistance.

En résumé, bien que de grands progrès aient été réalisés en ce qui concerne les finitions et les revêtements disponibles pour l'acier au carbone, ils restent sensibles à la corrosion. Il s'agit de savoir quand, et non pas si, la finition finira par céder. L'acier inoxydable est souvent associé à un coût plus élevé, bien que le coût de la défaillance puisse être beaucoup plus important. L'environnement prévu et l'espérance de vie d'un produit doivent être pris en considération et le matériau et/ou la finition appropriés doivent être sélectionnés pour garantir le succès. Il est également important d'évaluer des solutions alternatives lorsque cela est possible. La réduction du volume de matériau en passant des goupilles pleines, des chevilles d'alignement et d'autres produits aux goupilles à ressort spiralées et aux produits tubulaires peut réduire considérablement le poids et donc le coût. L'acier au carbone ne présente pas toujours la solution la moins chère à l'installation et il faut toujours tenir compte de la « valeur ». L'acier inoxydable n'est pas imperméable aux attaques et les matériaux et l'environnement d'accueil doivent toujours être évalués avec soin pour garantir l'utilisation de la bonne qualité/du bon type.

SPIROL offre une assistance gratuite en matière d'ingénierie d'application.

Europe **SPIROL France**
Cité de l'Automobile ZAC Croix Blandin
18 Rue Léna Bernstein
51100 Reims, France
Tel: +33 (0) 3 26 36 31 42
Fax: +33 (0) 3 26 09 19 76

SPIROL Royaume-Uni
17 Princewood Road
Corby, Northants
NN17 4ET Royaume-Uni
Tel: +44 (0) 1536 444800
Fax: +44 (0) 1536 203415

SPIROL Allemagne
Ottostr. 4
80333 Munich, Allemagne
Tel: +49 (0) 89 4 111 905 71
Fax: +49 (0) 89 4 111 905 72

SPIROL Espagne
Plantes 3 i 4
Gran Via de Carles III, 84
08028, Barcelona, Espagne
Tel/Fax: +34 932 71 64 28

SPIROL République Tchèque
Pražská 1847
274 01 Slaný
République Tchèque
Tel/Fax: +420 313 562 283

SPIROL Pologne
ul. Solec 38 lok. 10
00-394, Varsovie, Pologne
Tel: +48 510 039 345

Amériques

SPIROL International Corporation
30 Rock Avenue
Danielson, Connecticut 06239
États-Unis
Tel: +1 860 774 8571
Fax: +1 860 774 2048

SPIROL division des Cales
321 Remington Road
Stow, Ohio 44224 États-Unis
Tel: +1 330 920 3655
Fax: +1 330 920 3659

SPIROL Canada
3103 St. Etienne Boulevard
Windsor, Ontario N8W 5B1 Canada
Tel: +1 519 974 3334
Fax: +1 519 974 6550

SPIROL Mexique
Avenida Avante #250
Parque Industrial Avante Apodaca
Apodaca, N.L. 66607 Mexique
Tel: +52 81 8385 4390
Fax: +52 81 8385 4391

SPIROL Brésil
Rua Mafalda Barnabé Soliane, 134
Comercial Vitória Martini, Distrito Industrial
CEP 13347-610, Indaiatuba, SP, Brésil
Tel: +55 19 3936 2701
Fax: +55 19 3936 7121

Asie Pacifique **SPIROL Siège de Asie**
1st Floor, Building 22, Plot D9, District D
No. 122 HeDan Road
Wai Gao Qiao Free Trade Zone
Shanghai, Chine 200131
Tel: +86 (0) 21 5046-1451
Fax: +86 (0) 21 5046-1540

SPIROL Corée
16th Floor, 396 Seocho-daero,
Seocho-gu, Seoul, 06619
Corée du Sud
Tel: +82 (0) 10 9429 1451

e-mail: info-fr@spirol.com



Goupilles élastiques spiralées



Goupilles élastiques fendues



Goupilles pleines



Bague / douilles d'alignement



Entretoises & composants tubulaires roulés



Limiteurs de compression



Inserts filetés pour plastiques



Écrous de rail



Rondelles ressort



Cales de précision & estampages de métaux



Rondelles de précision



Systèmes d'alimentation vibrants



Technologie d'installation des goupilles



Technologie d'installation des inserts filetés



Technologie d'installation des limiteurs de compression

Merci de consulter le site www.SPIROL.fr pour obtenir les spécifications et gammes standard actualisées.

SPIROL offre une assistance gratuite en matière d'ingénierie d'application. Nous vous aiderons à concevoir de nouveaux produits et à résoudre les problèmes et vous recommanderons des économies sur les produits existants. Laissez-nous vous aider en visitant **les Services d'ingénierie d'application** sur SPIROL.fr.