

Análise comparativa entre Aço Inoxidável e Aço Carbono Revestido

Corrosão e Opções de Materiais para Elementos de Fixação

por Michael J. Pasko, Engenheiro de Aplicação
SPIROL International Corporation

O objetivo deste trabalho é abordar a corrosão em termos gerais - e não fornecer uma referência abrangente no que diz respeito a todas as formas de corrosão ou uma análise detalhada dos pontos fortes e fracos de ligas específicas. Os efeitos da corrosão em aço inoxidável e aço carbono são muito diferentes e este trabalho oferece informações sobre ataque geral ou corrosão superficial, visto que esta geralmente é a principal consideração na escolha do material de um elemento de fixação.

Os aços carbono e inoxidável são os materiais mais comumente utilizados na fabricação de elementos de fixação e estão disponíveis em centenas de classes ou ligas com uma grande variedade de características. Embora não seja uma regra, o custo inicial de um componente em aço inoxidável geralmente excede o de um componente em aço carbono. Por exemplo - em comparação com um Pino Sólido de mesmo diâmetro e comprimento, o material de um Pino Espiral para cargas leves constitui apenas uma pequena porção do custo. Dessa forma, o custo de um Pino Espiral em aço inoxidável pode ser igual ou menor do que o de um Pino Sólido em aço carbono. Além disso, quando não é possível usar aço inoxidável, processos secundários como tratamento térmico ou revestimento geralmente aumentam o custo de peças em aço carbono. Custo não quer dizer nada quando o valor agregado não é levado em consideração. Por exemplo, o fabricante de uma churrasqueira de alto desempenho para uso externo pode escolher elementos de fixação em aço inoxidável capazes de resistir à corrosão por muito mais tempo do que a expectativa de vida útil do próprio produto. Esta escolha demonstraria um compromisso com a integridade do produto, estética e com a vida útil. O 'valor' de um elemento de fixação que oferece qualidade máxima pode compensar qualquer aumento no custo associado. O mesmo fabricante pode utilizar elementos de fixação de menor custo e com menor qualidade, produzidos em aço carbono revestido, se o consumidor previsto se preocupa mais com o custo do que com a qualidade. Essas são duas razões válidas para a escolha de um material e não do outro; no entanto, para a utilização de aço inoxidável, o cliente deve levar em consideração tanto o valor quanto o custo. Os designers devem pesar custo, benefício e risco ao escolher o material de fixação adequado.

A **SPIROL** fabrica Pinos Espirais, Pinos com Fenda, Pinos Sólidos, Insertos, Produtos Tubulares, Porcas Usinadas, Limitadores de Compressão, Calços e Molas Prato para atender uma ampla

variedade de indústrias em todo o mundo. Embora a SPIROL fabrique peças com diversos materiais, ferrosos e não ferrosos, o escopo deste trabalho se limita aos produtos metálicos ferrosos e, mais especificamente, aos aços inoxidável e carbono. Os produtos ferrosos da SPIROL são fabricados a partir de quatro grupos primários de materiais padrão:

- Aço de Baixo Carbono
- Aço de Alto Carbono e Ligas
- Aço Cromo Inoxidável Martensítico (AISI 410 e 420, EN/DIN 1.4516 e 1.4021)
- Aço Níquel Inoxidável Austenítico (AISI 302, 304, 305 ou EN/DIN 1.4319, 1.4301, 1.4303)

Apesar do aço carbono e do aço inoxidável serem metais ferrosos, ou seja, contendo ferro, sua resposta ao ataque corrosivo é muito diferente. Por definição, o aço inoxidável deve conter pelo menos 10,5% de cromo. Quando exposto ao oxigênio, este elemento de liga cria na superfície uma camada de óxido de cromo que rapidamente para de crescer para se tornar 'passiva'. Esta camada passiva é contínua, de espessura uniforme, insolúvel e não porosa. A camada passiva evita o contato entre o oxigênio do ambiente e o metal de base e se autorregenera quando riscada ou desgastada desde que haja oxigênio disponível. A espessura da camada passiva possui de 10 a 100 átomos e, dessa forma, não oferece impacto dimensional para as peças. Embora o aço inoxidável seja suscetível à corrosão quando exposto a alguns agentes químicos em condições específicas, ele não enferruja em decorrência de ataques gerais ou uniformes como o aço carbono. Como um elemento de liga, o cromo é parte de uma mistura homogênea e é considerado seguro, pois não é se libera facilmente da liga. Uma observação final sobre o aço inoxidável, é a simplicidade de sua reciclagem. O aço inoxidável é 100% reciclável e analistas do setor estimam que de 80 a 90% do aço inoxidável descartado é recuperado para reciclagem.



Figura 1. Cadeia de ferrugem demonstra perda de material devido à ferrugem ou ataque comum.

A ferrugem aparece no ferro ou em ligas de ferro, como o aço. A ferrugem é uma camada de óxido de ferro criada na superfície de uma peça quando ela é exposta ao oxigênio na presença de umidade. Esta camada de óxido de ferro permanece ativa e continua a converter o ferro em óxido de ferro à medida que as camadas externas perdem a integridade e desaparecem gradativamente, expondo o metal base (Ver Figura 1). O óxido de ferro também é

poroso, o que permite que ele absorva umidade e elementos que contribuem para a corrosão, prolongando assim o período de corrosão ativa a cada exposição. Para evitar a formação de óxido de ferro ou ferrugem, é necessário eliminar a exposição ao oxigênio e à umidade. Por estas razões, pode-se observar que veículos a motor expostos a climas secos apresentam muito menos corrosão e ferrugem do que veículos do mesmo tipo expostos a ambientes úmidos. Em ambientes úmidos e frios, onde agentes de degelo são usados em estradas, a taxa e a severidade do ataque são muito maiores.

Elementos de fixação em aço carbono são geralmente mais baratos do que elementos de fixação em aço inoxidável e existem acabamentos disponíveis que oferecem excelente resistência à corrosão. Deve-se notar que estes acabamentos resultam em mudanças dimensionais que devem ser consideradas no projeto. O aço carbono pode ser protegido contra corrosão por pintura, revestimento ou galvanização. Geralmente não se recomenda pintura em elementos de fixação por ser um processo não aplicável a lotes de peças pequenas onde o custo seria elevado. Apesar de alguns dos processos terem caído em desuso devido ao seu impacto ambiental, a galvanização e o revestimento são os métodos mais comuns para a preservação do aço carbono. Exemplos de acabamentos considerados perigosos são cádmio e cromatos hexavalentes. Ao longo da última década foi possível observar a maturidade das galvanizações e dos revestimentos em massa capazes de oferecer excelente resistência à corrosão a um custo baixo em consonância com as normas ambientais vigentes. Apesar destes avanços, a suscetibilidade do metal base à ferrugem continua a representar uma fraqueza. A grande maioria dos revestimentos e galvanizações é temporária, o que significa que só fornecem proteção até que sejam esgotados. Quando expostos, os metais base enferrujam. Entre os diversos exemplos de acabamentos e revestimentos disponíveis existem:

- Fosfatização de zinco - geralmente seguida por aplicação de óleo ou outro agente antioxidante. A aplicação secundária de proteção antioxidação determina a resistência à corrosão, podendo ser mínima ou de nível semelhante ao oferecido pela zincagem ou outros revestimentos.
- Zinco aplicado mecanicamente - a principal vantagem deste acabamento está no risco mínimo de fragilização por hidrogênio. O acabamento pode ser mais espesso do que a galvanização e não tão homogêneo. São muitas vezes fornecidos com aplicação secundária de cromato e/ou seladores para melhorar o desempenho.
- Zinco eletrodepositado - geralmente apresenta uma quantidade adicional de cromato trivalente e, muitas vezes, um selador final. Estes acabamentos adicionam no aço de alta resistência o risco de fragilização por hidrogênio; embora as peças passem por um processo térmico de desidrogenização para tentar eliminar este possível problema.
- Zinco/Níquel eletrodepositado - maior resistência à corrosão do que a galvanização tradicional com zinco. Assim como ocorre na eletrodeposição convencional realizada com zinco, este processo também requer o processo de desidrogenização do aço de alta resistência a fim de reduzir o risco de fragilização.
- Revestimentos lamelares de zinco e alumínio - processo de imersão e centrifugação (*Dip and Spin*) capaz de oferecer elevada resistência à corrosão sem risco de fragilização por hidrogênio.

O método mais amplamente utilizado para testar a corrosão é o teste de pulverização de sal. A finalidade do teste é proporcionar um método passível de repetição, através do qual seja possível avaliar um material com revestimento ou a resposta de um acabamento a um ataque corrosivo. Em teoria, o teste também oferece um meio de resumir os testes de ciclo de vida útil num período de tempo prático. Por exemplo, não é prático para um fabricante de maçanetas externas deixar um produto exposto ao ar livre durante 15 anos para determinar a adequação de uma garantia de 15 anos. É prático colocar a peça em uma câmara de pulverização de sal durante um curto período de tempo para replicar o impacto de um ataque corrosivo ao longo de 15 anos. É importante compreender que embora tais comparações possam ser excessivamente imprecisas, este método de teste continua a ser uma das poucas opções disponíveis. Não existe correlação precisa entre as condições do mundo real e o tempo de exposição em uma câmara de teste. Se o fabricante de maçanetas estiver preocupado com um produto utilizado em áreas costeiras, será importante compreender que qualquer exposição ocorrerá apenas de forma intermitente. Pode haver meses com períodos sem chuvas, de tempo seco, com pouca ou nenhuma exposição a elementos corrosivos. Em suma, com relação ao uso previsto para muitos elementos de fixação/componentes, os testes de pulverização de sal são considerados excessivos e suas durações são arbitrariamente atribuídas com base na melhor estimativa do autor do projeto em uma correlação com as condições reais. Por fim, embora muitos fabricantes já utilizem esses testes em seus produtos fabricados em aço inoxidável; o teste destina-se principalmente a peças em aço carbono. O aço inoxidável é geralmente testado em uma câmara de umidade, sem a presença de sal. Nos casos em que a exposição a cloretos é uma grande preocupação, a pulverização de sal é aceitável como método de teste para produtos em aço inoxidável.

Os requisitos do teste de pulverização de sal geralmente consistem em dois critérios simples - o tempo necessário para a ferrugem branca se formar e, posteriormente, o tempo necessário para a aparição da ferrugem vermelha (afetando o metal base). Concentração de sal, temperatura e tempo são cuidadosamente controlados. A maioria dos revestimentos e galvanizações depende de uma camada de metal não ferroso aplicada sobre o metal base, seguida por uma imersão em cromato e, dependendo dos requisitos de desempenho, utiliza-se um selante orgânico ou inorgânico. Quando esses acabamentos falham, eles o fazem na ordem inversa em que foram aplicados. Depois que o ambiente corrosivo atravessa o selante externo e as camadas de cromato, inicia-se o ataque ao metal não ferroso da camada interna. Neste ponto, inicia-se a formação de ferrugem branca. Metais não ferrosos como zinco,



Figura 2: Como acabamento, este Pino Espiral recebeu um revestimento de zinco para cargas leves e uma imersão em cromato. O acabamento foi avaliado por 48 horas para detectar qualquer formação de ferrugem 'vermelha'. Quando mantido em pulverização de sal por 200 horas, este item apresentou uma grande formação de ferrugem vermelha apesar de ainda haver um pouco de zinco e ferrugem branca. Onde houver a presença de zinco na superfície, a peça continuará livre de ferrugem vermelha independentemente da gravidade do ataque em áreas adjacentes.

níquel, alumínio e magnésio não contêm ferro e não formam 'ferrugem vermelha'. Só é possível visualizar a formação de ferrugem vermelha após o desgaste total da superfície de proteção (Ver Figura 2).

Um problema da eletrodeposição e dos revestimentos mecânicos é a dificuldade de aplicação em furos profundos e fendas importantes. Esse é um aspecto levado em consideração pela SPIROL na fabricação de muitos dos seus produtos, como no caso dos Pinos com Fenda e das Peças Tubulares. Nenhum dos dois processos é capaz de propiciar a deposição correta no interior de um tubo (ver Figuras 3 e 4). Embora com o processo de aplicação destes revestimentos possa ocorrer o depósito de



Figura 3: Esta fotografia mostra a geometria básica de um Pino Espiral - formado por um determinado número de camadas metálicas. Através da galvanização não é possível penetrar entre as camadas do pino espiral e os revestimentos por imersão, embora capazes de cobrir a parte interna, permanecem ineficientes para estas áreas.

cromato e selante no interior das peças, não é possível obter uma cobertura 100% eficiente em metais não ferrosos (neste caso o zinco); sendo este o componente de acabamento mais importante.

Ao contrário de revestimentos mecânicos e galvanizações, revestimentos aplicados na forma líquida são capazes de proporcionar uma cobertura adequada no interior de uma peça. No entanto, conforme observado anteriormente, os Pinos Espirais apresentam um desafio singular já que o espaço entre as espiras provavelmente não receberá uma cobertura substancial. Embora este pareça um aspecto crítico, deve-se compreender que existem muitas formas de corrosão; todavia, com relação aos elementos de fixação, a presença de corrosão nestes locais geralmente não traz grandes consequências. Apesar destas questões, centenas de bilhões de elementos de fixação galvanizados têm sido utilizados com sucesso ao longo dos anos. Quando um elemento de fixação está completamente instalado em uma articulação, ele deve ficar bem protegido contra ataques. Um bom exemplo seria um limitador de compressão inserido entre dois componentes, protegido por uma junta e coberto por um parafuso com flange. Em termos de corrosão galvânica, o revestimento não precisa ser uniforme para oferecer proteção, já que seu desgaste tem como finalidade proteger o metal base enquanto houver corrente entre eles. Por exemplo, um casco de barco fabricado em aço pode ser protegido por meio de ânodos de zinco fixados em locais estratégicos - não é necessário realizar galvanização ou zincagem de toda a embarcação. Do mesmo modo, no caso de corrosão galvânica como mecanismo de ataque, a aplicação de zinco no diâmetro externo de um Pino Espiral oferece proteção à parte interna da peça.

A vantagem do aço inoxidável permanece na sua capacidade de resistir à corrosão sem o auxílio de acabamentos de proteção. A resistência à corrosão é fornecida pelo cromo, sendo distribuída por toda a liga. Embora não enferruje ao ser submetido a ataques comuns ou corrosão superficial, o aço inoxidável está suscetível à corrosão e falhas. A Corrosão por Pites (*Pitting*) é a forma mais comum de corrosão capaz de afetar o aço inoxidável. É possível que haja corrosão por pites mediante a neutralização da camada passiva por agentes ambientais ou em decorrência de desgastes/abrasão mecânica em condições que impeçam a reconformação espontânea do material. O material fica então suscetível a um ataque local.

Figura 4: Para demonstrar o ataque entre as espirais (ou camadas) de aço do pino, a fotografia abaixo foi tirada depois que cortes transversais foram realizados no pino mostrado na Figura 3.



Quando exposta à pulverização salina, uma gota de água pode se formar na superfície da peça. A gota de água pode então concentrar cloreto que é um material altamente corrosivo. A Corrosão em Frestas é uma forma alternativa de ataque que geralmente se espalha por uma área maior. Essa forma de ataque pode ocorrer quando houver arestas vivas nas partes internas ou quando os componentes se tocarem de forma a criar possíveis pontos de deposição de fluidos. A elaboração adequada de um projeto pode minimizar o surgimento de corrosão em frestas, embora, em muitos casos, esta seja inerente à função prevista para a aplicação. Também é possível aprimorar as características anticorrosivas alterando a liga de aço inoxidável. Entre os métodos comumente utilizados para aumentar a resistência à corrosão por pites está a adição de molibdênio ou de concentrações mais elevadas de cromo e/ou níquel. O aumento da resistência à corrosão geralmente reflete diretamente na elevação dos custos, devendo, portanto, ser executado apenas quando necessário.



Figura 5: Pinos antes dos testes: os dois de cima são fabricados em aço de baixo carbono com acabamento lamelar de zinco, os dois de baixo são fabricados em aço inoxidável austenítico 305.

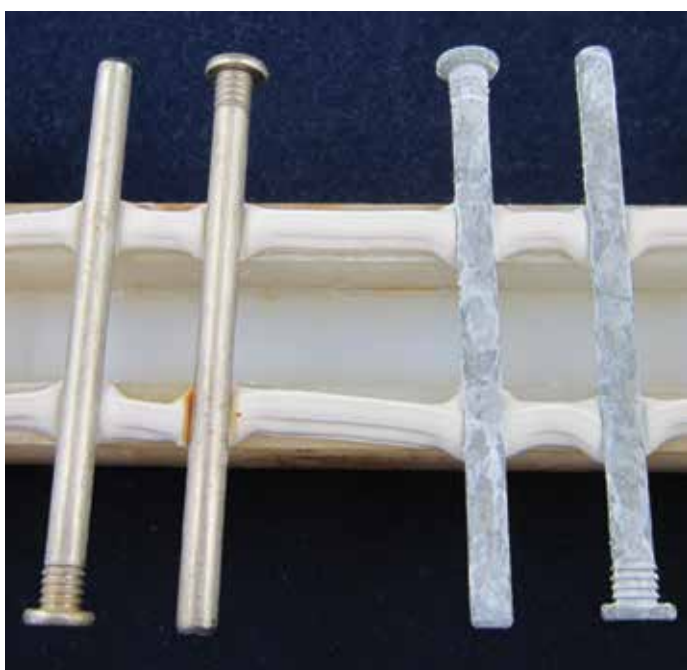


Figura 6: Após o teste, as peças em inox 305 permanecem inalteradas (à esquerda), enquanto as peças revestidas (à direita) apresentam uma grande quantidade de ferrugem branca.

Entre os dois tipos de aço inoxidável oferecidos pela SPIROL, o aço inoxidável austenítico (ou níquel) oferece melhor resistência à corrosão, já o aço inoxidável martensítico (ou cromo) está mais propenso a ataques. O austenítico tem duas vantagens: 1) o teor de cromo é elevado de 12% para 18%, e 2) adiciona-se 8% de níquel para aumentar a resistência ao ataque de ácidos minerais. A combinação de cromo e níquel na proporção adequada permite a criação de uma estrutura austenítica. O aço inoxidável martensítico pode ser menos resistente à corrosão, contudo, é possível tratá-lo termicamente para melhorar a sua resistência, e a subsequente redução na taxa de encruamento proporciona uma excelente resistência à fadiga.

Para demonstrar a diferença entre o aço inoxidável e o aço carbono revestido, foram fabricados dois pinos sólidos com geometria idêntica em cada material. O pino em aço inoxidável foi passivado, enquanto que o pino em aço de baixo carbono foi revestido com um acabamento lamelar de zinco (Ver Figura 5). Em 720 horas, a peça revestida apresentou um bom desempenho embora houvesse ferrugem branca facilmente perceptível. Depois de esgotada a camada de zinco, deu-se início o processo de oxidação. Em contrapartida, os pinos em aço inoxidável austenítico apresentam aparência praticamente inalterada (ver Figura 6). Um pino inoxidável da série 300 devidamente passivado pode oferecer até 2.500 horas de proteção em câmara de sal.



Figura 7: Corrosão por pites em um Pino com Fenda fabricado em Aço Inoxidável 420, apresentando coloração correspondente.

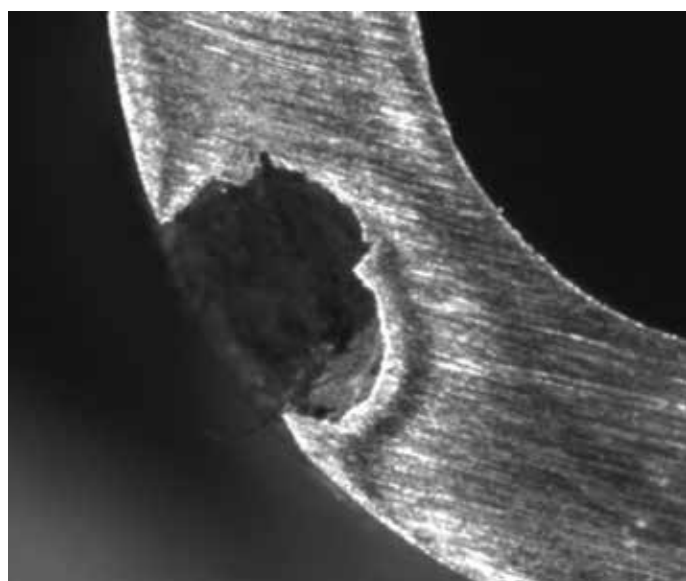


Figura 8: Seção transversal da corrosão pite exibida na Figura 7 demonstrando o impacto sobre a área de seção transversal e a redução da força.



Figura 9: Corrosão por pites em um Pino Sólido fabricado em Aço Inoxidável 410, apresentando coloração correspondente.

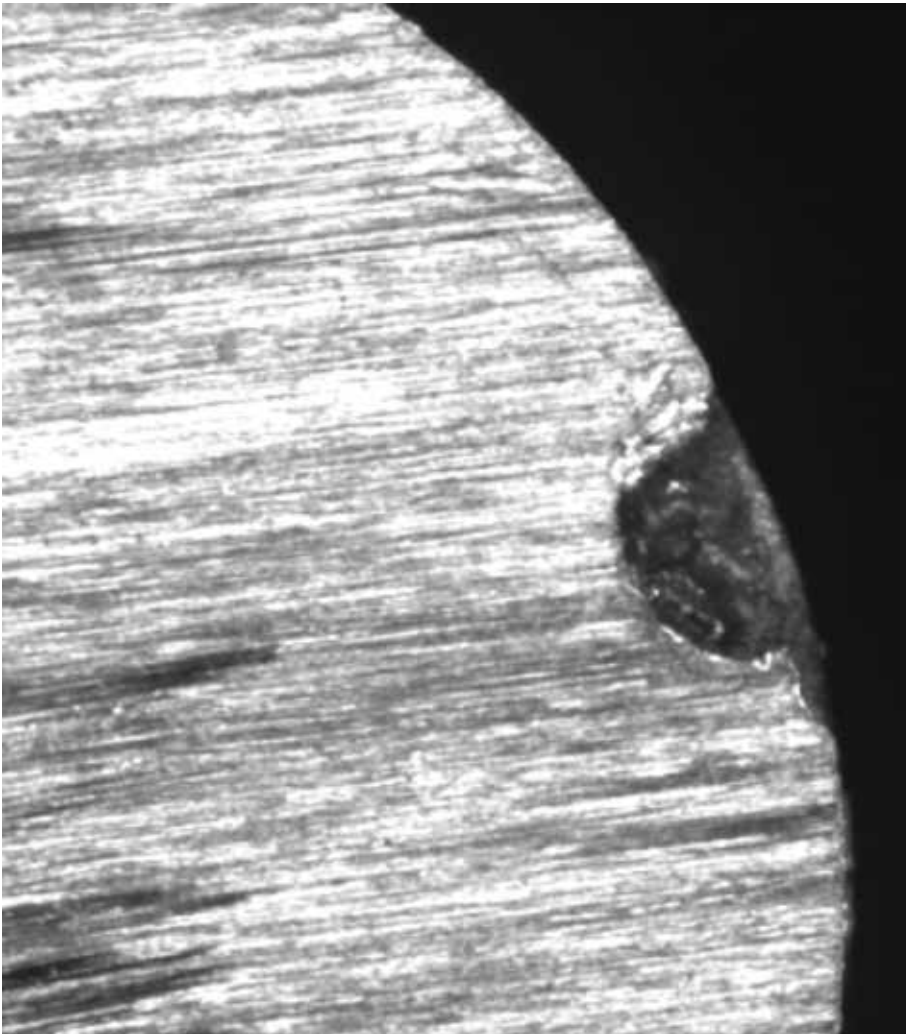


Figura 10: Seção transversal da corrosão pite exibida na Figura 9 demonstrando o impacto sobre a área da seção transversal e a redução da força.

Como observado anteriormente, o aço inoxidável martensítico é menos resistente à corrosão do que o austenítico e, por esta razão, normalmente não é testado em câmara de sal. Tanto o aço inoxidável 410 como o 420 proporcionam boa resistência à corrosão em atmosfera normal, água doce, fluidos corporais, ambientes culinários, ou quando expostos a ácidos oxidantes suaves como o cromo e o ácido nítrico. Os seguintes pinos em aço inoxidável martensítico foram submetidos a testes de pulverização de sal e observados durante um período de 300 horas. Após 48 horas, o surgimento de manchas ficou evidente com a formação de pequenos pites. Após 300 horas, a corrosão por pites tornou-se intensa e foi facilmente capturada nas fotografias abaixo (Ver Figuras 7, 8, 9 e 10).

Em suma, embora existam grandes avanços em termos de acabamentos e revestimentos para aço carbono, os mesmos permanecem suscetíveis à corrosão. Sabe-se que eventualmente o revestimento irá falhar, a pergunta é: quando? Embora o aço inoxidável possa representar um custo muito maior, uma falha é frequentemente associada a custos mais elevados. Para garantir a eficiência do produto, além do material e/ou acabamento apropriado, devem ser devidamente considerados a vida útil do produto e o ambiente de uso previsto. Também é importante avaliar soluções alternativas sempre que possível. Reduzir o volume de material através da substituição de Pinos Sólidos e outros produtos por Pinos Elásticos Espirais e Produtos Tubulares pode gerar grandes reduções no peso, diminuindo assim o custo. O aço carbono nem sempre é a solução de mais baixo custo de instalação e o 'valor' deve ser sempre considerado. Os materiais envolvidos na montagem e o ambiente devem ser sempre cuidadosamente avaliados a fim de garantir a utilização do grau/tipo correto de aço inoxidável, pois este não é totalmente imune aos ataques.

A SPIROL oferece suporte de Engenharia de Aplicação.

SPIROL®

Soluções inovadoras de fixação. Menores custos de montagem.

Centros Técnicos

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

SPIROL International Corporation
30 Rock Avenue
Danielson, Connecticut 06239 EUA.
Tel. +1 860 774 8571
Fax. +1 860 774 2048

SPIROL Divisão de Calços
321 Remington Road
Stow, Ohio 44224 EUA
Tel. +1 330 920 3655
Fax. +1 330 920 3659

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

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

Europa SPIROL Reino Unido
17 Princeswood Road
Corby, Northants
NN17 4ET Reino Unido
Tel: +44 (0) 1536 444800
Fax: +44 (0) 1536 203415

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

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

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

SPIROL República Checa
Pražská 1847
274 01 Slaný
República Checa
Tel/Fax: +420 313 562 283

SPIROL Polónia
ul. Solec 38 lok. 10
00-394, Varsóvia, Polónia
Tel. +48 510 039 345

Ásia Pacífico SPIROL Sede da Ásia
1st Floor, Building 22, Plot D9, District D
No. 122 HeDan Road
Wai Gao Qiao Free Trade Zone
Shanghai, China 200131
Tel: +86 (0) 21 5046-1451
Fax: +86 (0) 21 5046-1540

SPIROL Coreia
16th Floor, 396 Seocho-daero,
Seocho-gu, Seoul, 06619
Coreia do Sul
Tel: +82 (0) 10 9429 1451

e-mail: info-br@spirol.com

SPIROL.com.br



Pinos Elásticos Espirais



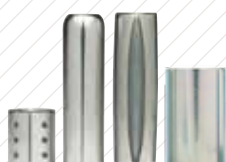
Pinos Elásticos



Pinos Sólidos



Buchas de alinhamento



Espaceadores & Componentes Tubulares



Limitadores de Compressão



Insertos Roscados para Plásticos



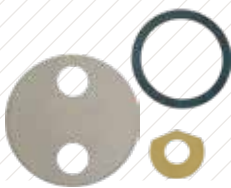
Porcas para Ferrovia



Molas Prato



Calços de Precisão



Arruelas de Precisão



Sistemas de Alimentador Vibratório



Tecnologia de Instalação de Pino



Tecnologia de Instalação de Insertos



Tecnologia de Instalação de Limitadores de Compressão

Por gentileza, consulte as especificações e linhas padrão mais recentes em SPIROL.com.br

A SPIROL oferece suporte complementar de Engenharia de Aplicação. Ajudamos no desenvolvimento de novos projetos, bem como na resolução de problemas de montagem e redução de custo de projetos existentes. Acesse nosso **Serviço de Suporte de Engenharia de Aplicação** em SPIROL.com.br.

© 2017 SPIROL International Corporation 09/17

Esta publicação não pode ser reproduzida ou transmitida de qualquer forma ou meio, eletrônica ou mecanicamente, integral ou parcialmente, sem uma permissão por escrito da SPIROL International Corporation, salvo quando previsto por lei.