



ASSOCIAÇÃO DE GALVANIZADORES POR IMERSÃO A QUENTE DA ÁFRICA DO SUL

PROTEÇÃO DO AÇO

POR PROCESSO DE GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE E SISTEMAS DE REVESTIMENTO DUPLEX



GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE - GERAL





Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul

Introdução:

A Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul foi fundada em 1965 e seus membros representam a maior parte da capacidade de produção de galvanização por imersão a quente na África do Sul.

Visão:

A posição da Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul, composta por todos os seus Membros e outras partes interessadas, enquanto organização profissional, serve aos interesses de todas as partes que dependem da indústria de galvanização por imersão a quente.

Declaração da Missão:

Desenvolver e aumentar a demanda pelo processo de galvanização por imersão a quente, identificando e desenvolvendo novas oportunidades de mercado em benefício de seus membros e outras partes interessadas.

Objetivo Estratégico:

Convencer usuários e especificadores a utilizarem aço galvanizado por imersão a quente, em substituição a outros revestimentos e materiais alternativos, sempre que apropriado. Isso é executado de três maneiras:

1. Através de atividades promocionais gerais.
2. Através de suporte específico em marketing técnico
3. Através de programas de instrução e treinamento.

Atividades de Entrega:

- Promover o uso do processo de galvanização por imersão a quente para um controle contra corrosão economicamente eficiente em aplicações nas quais sua utilização seja adequada.
- Fornecer assistência técnica e recomendações a especificadores, fabricantes e usuários, além de recomendar métodos alternativos de proteção, sempre que apropriado.
- Identificar e investigar novas aplicações em potencial para o processo de galvanização por imersão a quente.
- Participar no desenvolvimento de projetos em nome da indústria, fornecendo assistência através de consultoria técnica, recomendações práticas e assistência durante a preparação de especificações de design.
- Fornecer assistência em processos de controle de qualidade durante a fabricação e durante o processo de galvanização por imersão a quente.
- Disseminar conhecimento técnico por meio de serviços de consultoria e treinamento, além da publicação de materiais técnicos.
- Fornecer treinamento e instrução para empresas que sejam membros da associação, para garantir um alto padrão de qualidade e de serviços em todas as áreas da indústria de galvanização por imersão a quente.

ASSOCIAÇÃO DE GALVANIZADORES POR IMERSÃO A QUENTE DA ÁFRICA DO SUL

ESCRITÓRIO DE JOANESBURGO

Quality House, Unit U4, St. Christopher Road,
St. Andrews, Bedfordview
P.O. Box 2212 Edenvale 1610
Telephone: (011) 456 7960
Fax: (011) 454 6304
Email: hdgasa@icon.co.za
www.hdgasa.org.za

ESCRITÓRIO DA CIDADE DO CABO

P.O. Box 2001 Clareinch 7740
Telephone: (021) 797 4735
Fax: 086 612 7284
Email: terry@hdgasa.org.za

A Proteção do Aço por meio de Processo de Galvanização por Imersão a Quente e os Sistemas de Revestimento Dúplex foram revistos e atualizados para a inclusão de especificações SANS/ISO para o processo de galvanização por imersão a quente. Isso inclui especificações aplicáveis ao processo de galvanização em geral, além de tubos para o processo semiautomático. Além disso, informações mais completas foram inseridas nas seções que tratam de chapas e arames galvanizados. Este último fornece as últimas informações disponíveis sobre chapas pré-revestidas disponíveis na África do Sul.

O design e verificação de produtos galvanizados por imersão a quente, além de seu desempenho estimado durante sua vida útil em diversos tipos de ambiente, é essencial para o sucesso de uma determinada aplicação de galvanização por imersão a quente para controle da corrosão. Travamento com parafusos e soldagem, além de reparos abrangentes de revestimentos de galvanização por imersão a quente, também são discutidos. Este guia fornece assistência ampla a especificadores, designers e usuários, para que façam uso das características únicas do processo de galvanização por imersão a quente quando aplicado ao aço. Assim como em outras edições, as informações contidas neste guia se baseiam em publicações científicas apoiadas nas experiências valiosas de várias autoridades, tanto locais quanto estrangeiras.

Esta edição é a 6ª disponibilizada na África do Sul e a 4ª especificamente produzida para o mercado local. Com base em edições estrangeiras anteriores, todas as contribuições são reconhecidas e muito apreciadas.

Membros da equipe da Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul estão disponíveis para fornecer suporte e conselhos sobre designs, aplicações e desempenho relacionados ao processo de galvanização por imersão a quente. Não hesite em entrar em contato conosco.



Estima-se que o "Braithwaite", um reservatório de água de painéis de aço estampado, esteja em operação por mais de 70 anos, e o revestimento galvanizado por imersão a quente ainda se encontra em bom estado de uso. Atualmente, o revestimento dos fixadores é insuficiente, devendo ser substituído ou reforçado por outra camada de revestimento para garantir a extensão de sua vida útil. O reservatório "Braithwaite" original foi importado, mas diversas empresas locais de renome fabricam produtos similares com grau de qualidade comparável.

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | Sobre a Prevenção contra Ferrugem e Corrosão | 3 |
| 2 | Escolha do Método de Prevenção contra Ferrugem .. | 4 |
| 3 | Métodos de Prevenção contra Corrosão | 7 |
| | 3.1 Galvanização por Imersão a Quente | |
| | 3.2 Eletrogalvanização | |
| | 3.3 Aspersão Térmica de Zinco | |
| | 3.4 Sherardização | |
| | 3.5 Eletrodeposição (com Manejo Mecânico de Catodos) | |
| | 3.6 Revestimento com Tintas ou Epóxis Ricos em Zinco | |
| 4 | Galvanização por Imersão a Quente | 9 |
| | 4.1 Vantagens da Galvanização por Imersão a Quente | |
| | 4.2 Desvantagens da Galvanização por Imersão a Quente | |
| | 4.3 Processo de Galvanização por Imersão a Quente | |
| 5 | Galvanização de Chapas Metálicas por Imersão a Quente . | 12 |
| | 5.1 Acabamento de Superfície de Revestimento de Zinco | |
| | 5.2 Tratamento de Superfícies | |
| | 5.3 Resistência à Corrosão de Arestas de Corte | |
| | 5.4 Envelhecimento após Deformação a Frio | |
| | 5.5 Pintura | |
| | 5.6 Chapa de Aço Galvanizado Revestida com Primer Produzida em Linha Revestimento Contínuo (CHROMAPREP®) | |
| | 5.7 Chapa de Aço Galvanizado Pintada e Laminada a Frio Produzida em Linha Revestimento Contínuo (CHROMADEK® ou CHROMADEK® PLUS) | |
| | 5.8 Métodos de Fixação | |
| | 5.9 Manuseio e Proteção de Chapas de Aço Galvanizadas Pré-Pintadas durante Armazenamento | |
| 6 | Galvanização de Arames por Imersão a Quente | 17 |
| | 6.1 Processo | |
| | 6.2 Aspectos Práticos | |
| 7 | Reações entre Ferro e Zinco | 19 |
| | 7.1 Composição e Metalurgia do Aço | |
| | 7.2 Temperatura do Zinco | |
| | 7.3 Tempo de Imersão | |
| | 7.4 Adições de Elementos de Liga ao Zinco Fundido | |
| | 7.5 Índice de Retirada de Artefato do Zinco Fundido | |
| | 7.6 Condição da Superfície | |
| | 7.7 Espessura do Aço | |
| | 7.8 Reações entre Ferro e Zinco em Processos de Galvanização Contínua | |
| 8 | Propriedades Mecânicas de Chapas Galvanizadas por Imersão a Quente | 25 |
| | 8.1 Resistência e Ductilidade | |
| | 8.2 Fragilização | |
| | 8.3 Resistência à Fadiga | |
| 9 | Design para Galvanização por Imersão a Quente | 26 |
| | 9.1 Introdução | |
| | 9.2 Abertura de Respiradouro, Enchimento e Drenagem | |
| | 9.3 Revestimento Isolante, Soldagem, Manuseio, Espaço Livre para Partes Móveis e Identificação | |
| | 9.4 Proteção contra Deformação | |
| | 9.5 Embalagem e Transporte de Aço Galvanizado por Imersão a Quente | |
| 10 | Especificando o Processo de Galvanização por Imersão a Quente | 35 |
| | 10.1 Especificações do Processo de Galvanização por Imersão a Quente | |
| | 10.2 Tempos de Aproveitamento (Lead Times) | |
| 11 | Qualidade - Inspeções Prévia e Posteriores | 36 |
| | 11.1 Inspeções antes de Galvanização por Imersão a Quente | |
| | 11.2 Inspeções após Galvanização por Imersão a Quente | |
| | 11.3 Teste de Espessura | |
| | 11.4 Aparência | |
| | 11.5 Aderência do Revestimento | |
| | 11.6 Teste de Aderência | |
| 12 | Resistência à Corrosão de Revestimentos Galvanizados por Imersão a Quente | 38 |
| | 12.1 Teste de Corrosão | |
| | 12.2 Resistência à Corrosão na Atmosfera | |
| | 12.3 Corrosão Branca | |
| | 12.4 Corrosão Eletrolítica, Galvânica e Corrosão Galvânica por Concentração Diferencial em Cantos, Ranhuras, Recessos, etc. | |
| | 12.5 Resistência à Corrosão de Revestimentos Galvanizados por Imersão a Quente em Condições Aquosas | |
| | 12.6 Resistência à Corrosão de Revestimentos Galvanizados por Imersão a Quente em Condições de Solo | |
| | 12.7 Aço Galvanizado por Imersão a Quente em Contato com Materiais de Construção | |
| | 12.8 Resistência à Abrasão de Revestimentos Galvanizados por Imersão a Quente | |
| | 12.9 Revestimentos Galvanizados por Imersão a Quente Expostos a Temperaturas Elevadas | |
| 13 | Conexões Fixadas com Parafusos | 45 |
| | 13.1 Tipos de Parafusos Estruturais e Dispositivos de Fixação | |
| | 13.2 Prevenção contra Corrosão | |
| | 13.3 Metais Resistentes à Corrosão | |
| | 13.4 Revestimentos de Proteção | |
| | 13.5 Galvanização de Fixadores por Imersão a Quente | |
| | 13.6 Conjuntos com Porcas e Parafusos | |
| | 13.7 Lavadores | |
| | 13.8 Fixadores de Alta Resistência Categoria 10.9 | |
| | 13.9 Procedimentos de Tensão de Parafusos | |
| | 13.10 Efeito da Galvanização por Imersão a Quente nas Propriedades de Resistência | |
| 14 | Soldagem de Aço Revestido com Zinco | 49 |
| | 14.1 Soldagem com Eletrodo de Arco Coberto (SMAW) | |
| | 14.2 Soldagem MIG (GMAW) | |
| | 14.3 Soldagem TIG (GTAW) | |
| | 14.4 Soldagem de Arco de Alma Fundente (FCAW) | |
| | 14.5 Soldagem de Arco Submerso (SAW) | |
| | 14.6 Soldagem com Oxigênio e Gás Combustível (OGW) | |
| | 14.7 Brasagem e Solda-Brasagem | |
| | 14.8 Soldadura | |
| | 14.9 Fragilização do Aço por Zinco Líquido durante Soldagem OGW e Soldagem a Arco | |
| | 14.10 Soldagem à Resistência | |
| | 14.11 Práticas Seguras de Saúde | |
| 15 | Renovação de Revestimentos Danificados ou Componentes Galvanizados por Imersão a Quente Modificados no Local | 51 |
| | 15.1 Procedimento de Restauração de Revestimento Executado por Galvanizadores | |
| | 15.2 Restauração Executada no Local | |
| 16 | A Boa Relação Custo/Benefício do Processo de Galvanização por Imersão a Quente | 52 |
| 17 | Pintura de Aço Galvanizado por Imersão a Quente - Revestimento Duplex Sistemas de Revestimento ... | 53 |
| | 17.1 Quando Realizar a Pintura de Estruturas de Aço Galvanizado por Imersão a Quente | |
| | 17.2 Preparação de Superfície para Revestimento Duplex | |
| | 17.3 Escolha de Sistema | |
| 18 | Desempenhos Comprovados de Revestimentos - Casos Históricos | 55 |
| | 18.1 Subestação Pentrich, Mkondeni Pietermaritzburg | |
| | 18.2 Subestação Blouwater Sub-Station Baía de Saldanha | |
| | 18.3 Torres de Transmissão Elétrica | |



Sobre a Prevenção contra ferrugem e Corrosão

A corrosão pode ser definida como a destruição ou deterioração de um determinado material por conta da reação ocorrida com o ambiente. Geralmente, a corrosão compromete a função de um metal, danifica áreas vizinhas ou danifica o sistema técnico no qual o metal está inserido (*imagens 1 a 4*). Em termos gerais, todos os metais, talvez exceto metais preciosos, sofrem corrosão e desgaste com o passar do tempo.

Para que o aço passe por um processo de corrosão - ou enferrujamento - em ambientes regulares, ele deve ter acesso a oxigênio e água. Na maior parte dos ambientes, tanto o oxigênio quanto a água são encontrados em quantidades suficientes durante a maior parte do ano, o que possibilita a ocorrência do processo de corrosão.

As propriedades de engenharia do aço fizeram com que ele se tornasse o metal mais utilizado. No entanto, sua tendência à corrosão significa que a proteção contra a corrosão possui uma grande importância econômica. O processo de enferrujamento do aço pode ser impedido por qualquer uma das opções a seguir:

- **Através de uma ligação** do aço com elementos químicos como cromo, níquel, molibdênio, etc. Entretanto, para estruturas de aço comuns, estes elementos são muito caros.
- **Mudança do ambiente corrosivo**, reduzindo o acesso de água e oxigênio através de técnicas como desumidificação, coberturas atmosféricas inertes, etc. Em ambientes aquáticos com imersão total, inibidores podem ser acrescentados para reduzir a agressividade da solução.
- **Proteção catódica** por meio da utilização de anodos de sacrifício ou

corrente impressa. Pode-se dizer que a utilização de anodos de sacrifício seja uma forma de corrosão galvânica controlada, já que os metais são dispostos de forma que um sofre corrosão enquanto o outro é protegido. A proteção catódica só pode ser utilizada na

presença de um eletrólito, como água ou solo úmido. Este método é utilizado na proteção de navios, pequenas embarcações, cais, plataformas de petróleo offshore, reservatórios, tubulações, etc..

- **Revestimento** com materiais orgânicos ou inorgânicos, que serve para isolar a superfície do aço do contato com água e oxigênio. Este é o método mais utilizado de proteção contra corrosão. Os materiais inorgânicos podem ser metais e esmaltação vítrea. Os materiais orgânicos podem ser tintas, produtos de betume ou plásticos.

O **revestimento** metálico do aço proporciona proteção contra corrosão, resistência ao desgaste e ocasionalmente, um efeito decorativo.

Somente alguns tipos de metais que podem ser depositados sobre o aço possuem um bom custo/benefício e apresentam propriedades catódicas quando associados ao aço. Na verdade, somente o zinco e o alumínio podem ser realmente considerados para tal aplicação. O cádmio é utilizado, até certo ponto, mas existem preocupações de natureza ambiental que limitam sua utilização.

O alumínio possui um bom nível de durabilidade na maior parte dos ambientes, embora seja de difícil aplicação. Chapas finas são revestidas com alumínio em escala reduzida. A aspersão térmica é utilizada até certo ponto.

Uma análise mais detalhada dos diferentes aspectos do processo de corrosão e de controle de corrosão extrapolaria o escopo desta publicação. Para aqueles que desejam se aprofundar no assunto, mais informações podem ser obtidas com a Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul.



Figura 1

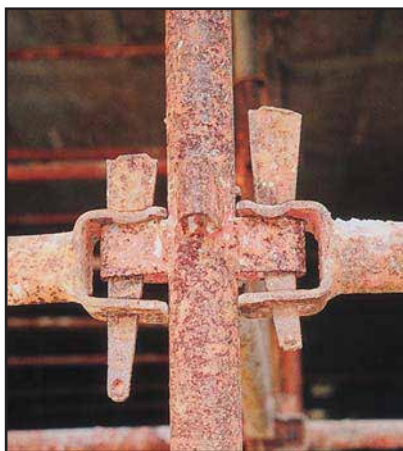


Figura 2



Figura 3



Figura 4



Escolha do Método de Prevenção contra Ferrugem

Ao escolher um determinado método de prevenção contra ferrugem para um dado componente ou estrutura de aço, existem diversas questões técnicas que precisam ser consideradas. O ambiente no qual a estrutura ou componente de aço será aplicado deve ser cuidadosamente analisado. A necessidade de manuseio, transporte, fabricação e construção final exige considerações detalhadas.

Existem diversos sistemas de pintura para o aço e uma ampla gama de possíveis variáveis de aplicações e especificações. Estas variáveis podem influenciar substancialmente o desempenho de um determinado sistema, também influenciando sua relação de custo/benefício. Por outro lado, o processo de galvanização por imersão a quente é simples, padronizado e virtualmente autocontrolador, regido principalmente pelas leis da metalurgia. Como resultado, ele é intrinsecamente confiável e previsível.

O fator de confiabilidade de um determinado revestimento pode ser definido por meio da consistência de suas propriedades físicas, químicas e mecânicas durante e após sua aplicação.

O fator de confiabilidade determina o custo/benefício geral de um determinado revestimento em um dado ambiente.

A *tabela 1* resume os fatores que determinam a confiabilidade dos sistemas de tinta mais comuns para o aço e do processo de galvanização por imersão a quente. O fator de confiabilidade para o processo de galvanização por imersão a quente se mostra superior, principalmente porque ele não é influenciado pela maior parte das variáveis que impedem um rendimento otimizado da maior parte dos sistemas de tinta utilizados em aplicações para serviços pesados.

Tintas estão disponíveis em inúmeras



Figura 5. Resistência à abrasão de escada de chapa xadrez galvanizada por imersão a quente (espessura do revestimento - 49µm, medido 10 anos após sua instalação).

variações, com propriedades diversas.

Na prática, as condições e exigências são variáveis; portanto, é aconselhável realizar uma comparação utilizando parâmetros reais.

Deve ser realizado um estudo econômico sobre os diferentes métodos de controle. É importante que a escolha do método seja baseada não somente nos custos iniciais, mas também em custos com embalagem para transporte, retoque de pintura após aplicação e custos futuros com manutenção.

Um bom guia para selecionar métodos de controle de corrosão em diferentes ambientes pode ser encontrado em **SANS 14713/ISO 14713** - Proteção Contra Corrosão do Ferro e Aço em Estruturas - Revestimentos de Zinco e Alumínio - Diretrizes e em **SANS 12944/ISO 12944** - Partes 1-8 - Proteção contra Corrosão de Estruturas de Aço Através de Sistemas de Pintura Protetora.

As classificações ambientais definidas nessas normas tratam somente dos ambientes nos quais as estruturas serão instaladas. No entanto, os ambientes de transporte, armazenamento e montagem podem modificar a classificação ambiental, afetando também a

escolha do método de prevenção contra ferrugem.

A Figura 6 serve para comparar as características técnicas de diferentes tipos de revestimento.

É importante notar que, mesmo que o zinco e a tinta sejam aplicados com o mesmo objetivo - impedir o processo de corrosão - eles funcionam de maneiras completamente diferentes. O revestimento de zinco é corroído a partir da superfície, em direção ao aço, proporcionando proteção catódica em caso de danos ao revestimento. Não ocorre corrosão entre o revestimento de zinco e o aço.

Por outro lado, revestimentos com tintas são frequentemente danificados por conta do desenvolvimento de uma camada de ferrugem entre a tinta e o aço. Visto que o revestimento com tinta não oferece proteção catódica, a ferrugem consegue penetrar além da tinta em casos de danificação do revestimento. Existem tintas que contêm zinco, que são produzidas com o intuito de fornecer um certo grau de proteção catódica.

PROPRIEDADES DE ALGUNS TIPOS DIVERSOS DE REVESTIMENTO DE SUPERFÍCIE

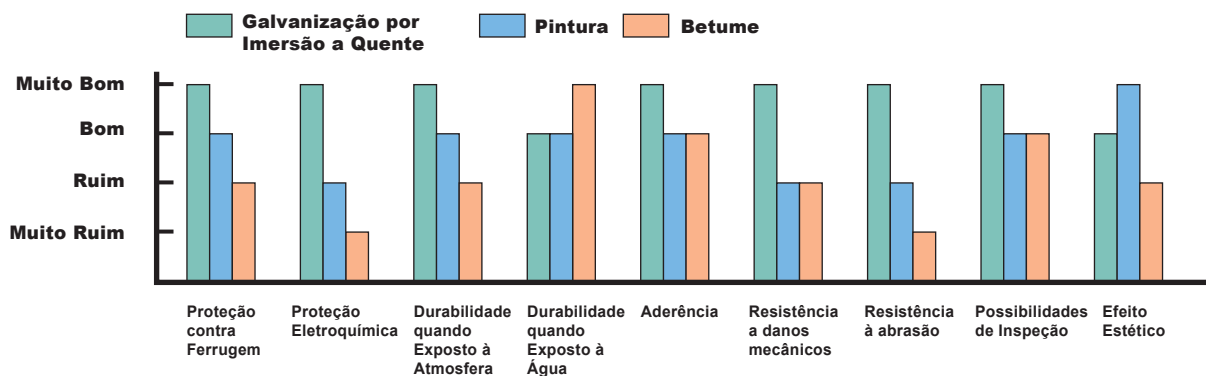


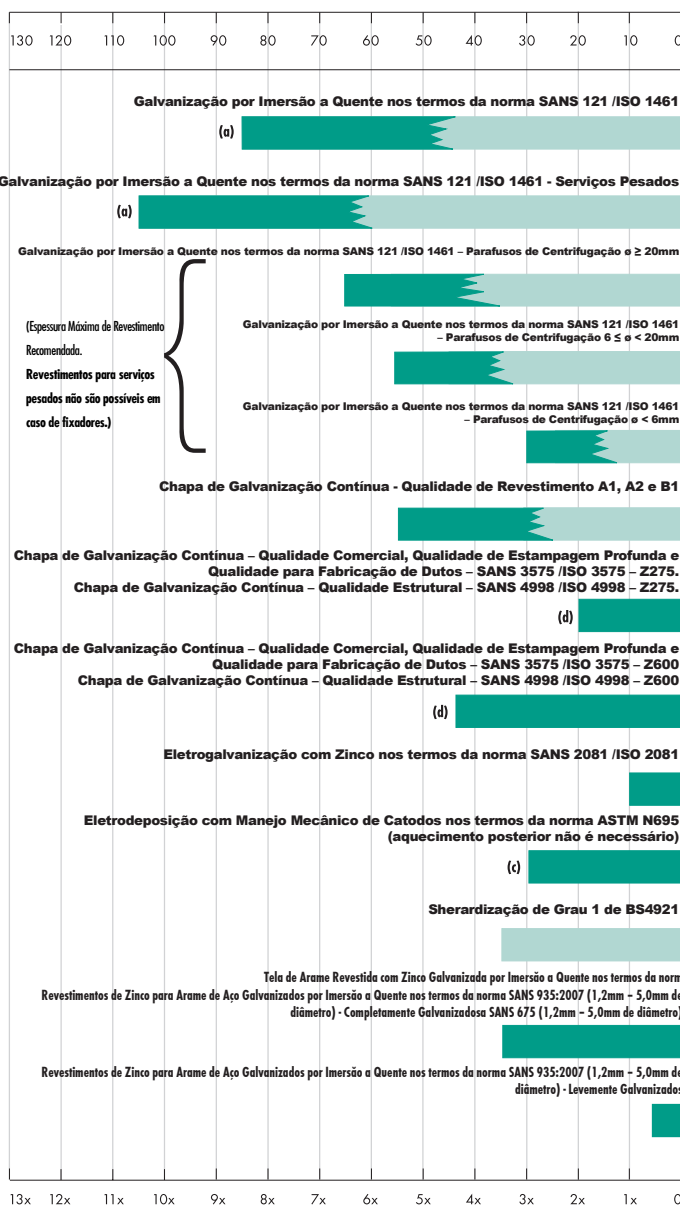
Figura 6. Comparação entre as propriedades de diversos revestimentos de superfície

| Fator | Sistema com Pintura | Galvanização por Imersão a Quente |
|---|--|---|
| Preparação | A norma ISO 8501-1:1988 indica jateamento com abrasivos nos termos da Sa 21/2. Uma limpeza deficiente pode reduzir o tempo de vida útil de sistemas com pintura em até 60-80%. Controle durante a etapa de preparação é de extrema importância. | A decapagem em ácido é uma parte essencial do processo. Caso a superfície não esteja limpa, não haverá a formação de revestimento. Controle durante a etapa de preparação não é essencial. |
| Processo | A formulação, mistura, agitação e adelgaçamento correto, realizados de forma cuidadosa, são fatores de grande importância. | As pequenas variações possíveis possuem pouca ou nenhuma influência sobre a qualidade do revestimento de zinco. |
| Aplicação | A composição e uniformidade do revestimento varia de acordo com o método de aplicação. A inspeção de cada etapa de aplicação é importante. Superfícies jateadas com abrasivos são reativas, devendo ser pintadas logo após o jateamento. | O revestimento de zinco é formado através de uma reação entre o ferro e o zinco. A reação é controlada por leis físicas e químicas. |
| Condições de Aplicação | | |
| 1. Temperatura | É difícil obter bons resultados caso a temperatura do ar esteja abaixo de +10°C. Superfícies expostas à luz solar direta podem facilmente se tornar quentes demais. | Não é afetada pela temperatura do ar ou variações normais de temperatura que ocorrem durante o processo. |
| 2. Umidade | Condensação superficial e em ponto de orvalho atrasam os procedimentos de pintura, que não devem ser realizados caso a umidade relativa seja maior que 80%. | Não afetada. |
| 3. Poluição do ar | Vapor, fumaça, gases, poeira e outros agentes poluentes possuem efeitos adversos sobre a qualidade do revestimento com tinta. | Não afetada. |
| Tipo de aço. | Não influencia. | Majoritariamente, o teor de silício e fósforo no aço possui um efeito que afeta a espessura e aparência do revestimento. |
| Propriedades do revestimento | | |
| 1. Espessura | De grande importância para a vida útil do revestimento. Varia de acordo com o número de camadas e o método de aplicação. A inspeção da espessura é importante para cada camada. | A reação entre o zinco fundido e o ferro resultam em uma certa espessura mínima padrão. O teor de silício e fósforo em determinados níveis do aço, aumento de massa, espessura do material e rugosidade superficial, todos esses aspectos podem aumentar a espessura do revestimento. |
| 2. Aderência | Depende do tipo de preparação, sistema com pintura, intervalo entre a preparação e aplicação do primer e o intervalo de endurecimento entre as camadas. | O revestimento de zinco está metalurgicamente ligado ao aço. |
| 3. Uniformidade | O revestimento com tinta é mais fino nos cantos e arestas vivas. Perfurações e fendas estreitas normalmente não são revestidas. Áreas internas podem apresentar camadas mais finas. | Cobertura uniforme total através de banho em zinco fundido. Geralmente, o revestimento é 50% mais espesso em arestas vivas. |
| Tempo de endurecimento | Pode variar e depende do tipo de tinta e condições de aplicação, desde algumas horas a vários dias, para adquirir boas características de manuseio, até diversas semanas, para um nível máximo de dureza. | O revestimento endurece completamente alguns segundos após sua retirada do banho de zinco. |
| Estabilidade dimensional | Não há. | Tensões residuais causadas por laminação, trabalho a frio ou soldagem podem, em alguns casos, ser liberadas, resultando na ocorrência de deformação. No entanto, estas tensões podem, em maior escala, ser minimizadas através de um design correto, boas práticas de fabricação e melhores práticas de galvanização. |
| Inspeção | Há diversos pontos de retenção que permitem que inspeções provisórias sejam realizadas; isto é, após a etapa de preparação e após cada etapa do processo de tratamento, para garantir um bom nível de qualidade. Inspeção de espessura da camada no momento da aplicação e nos produtos finalizados. | Somente são exigidas inspeção visual e medição da espessura da camada após galvanização por imersão a quente. |
| Risco de danificação durante transporte e manuseio | Ótimo. Pode precisar de reparos no revestimento com primer e no revestimento exterior como um todo. | O revestimento suporta impacto mecânico. Pequenas danificações não precisam de reparos. Danos mais sérios devem passar por reparos, feitos por meio de aspersão de zinco ou revestimento com tinta rica em zinco, preferencialmente contendo um epóxi. |

Tabela 1 Comparação entre as propriedades entre sistemas com pintura e galvanização por imersão a quente

EXPECTATIVA DE VIDA ÚTIL COM RELAÇÃO À ESPESSURA DE REVESTIMENTO OBTIDA POR DIFERENTES PROCESSOS DE REVESTIMENTO DE ZINCO

ESPESSURA MÉDIA DE REVESTIMENTO MEDIDA EM MÍCRONS A PARTIR DA SUPERFÍCIE DO AÇO



EXPECTATIVA DE VIDA ÚTIL

Camadas de Liga de Ferro/Zinco Zinco Puro

- Determinação com base na espessura do material - exemplo de placa de aço com espessura $\geq 6\text{mm}$
- Desvio do padrão de espessura de revestimento. Pedidos de revestimentos mais espessos (25% mais espessos que o padrão) podem ser feitos para componentes não centrifugados, sem afetar questões de conformidade com especificações.
OBSERVAÇÃO: Em áreas nas quais a composição do aço não induz a um nível de reatividade moderado ou alto, revestimentos mais espessos não são obtidos tão facilmente.
- Caso um processo de eletrodeposição com manejo mecânico de catodos seja especificado para fixadores, regras similares se aplicam para aumento de dimensões de porcas ou aplicação de mordeduras em rosas. Consultar os capítulos 3 e 13.
- Também disponível para outras categorias de revestimento. Consultar tabelas 6 e 7.

Tabela 2 Revestimento com Zinco comparado em termos de espessura do revestimento e expectativa relativa de vida.

COMPATIBILIDADE DE REVESTIMENTOS GALVANIZADOS COM MEIOS DIVERSOS

A compatibilidade de revestimentos galvanizados por imersão a quente com meios diversos encontra-se resumidamente indicada na tabela abaixo. Informações específicas adicionais podem ser obtidas com a Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul

| | |
|---|--|
| Propulsores - Aerossol | excelente |
| Soluções Ácidas | com pH 6.0 para baixa fortes regular não recomendado |
| Álcoois | Anidros misturas aquosas bebidas Bom não recomendado não recomendado |
| Soluções Alcalinas | com pH até 12.5 fortes regular não recomendado |
| Detergentes | inibidos Bom |
| Óleo Diesel | livre de enxofre excelente |
| Óleo combustível | livre de enxofre excelente |
| Gás | urbano, natural, propano, butano excelente |
| Glicerina | excelente |
| Tintas | impressão escrita excelente não recomendado |
| Inseticidas | secos em solução excelente não recomendado |
| Lubrificantes | minerais, livres de ácidos orgânicos excelente não recomendado |
| Parafina | excelente |
| Refrigerante | excelente |
| Esgoto | excelente |
| Fertilizantes | secos líquidos Bom utilizar com cuidado |
| Conservantes de madeira: | |
| Cobre-cromo-arsênico, tratamento imediato | Ruim |
| Após secagem completa | excelente |
| Boro | excelente |
| Tricloroetileno | |

* Condições anaeróbicas devem ser evitadas.

Tratamento de Esgoto

Os revestimentos galvanizados por imersão a quente possuem excelente desempenho, quando comparados a outros tipos de revestimento de proteção, em ambientes extremamente corrosivos, como é o caso na maior parte das operações de tratamento de esgoto. Como resultado, o aço galvanizado por imersão a quente é amplamente utilizado em instalações de tratamento de esgoto em todo o mundo.

Tabela 3 Compatibilidade de revestimentos galvanizados com meios diversos

INFORMAÇÕES GERAIS SOBRE O ZINCO

| | |
|--|---|
| Peso Atômico | 65.37 |
| Densidade | |
| - laminado - 25° C | 7192 kg/m ³ |
| - fundido - 25° C | 6804 kg/m ³ |
| - líquido | 6620 kg/m ³ |
| Ponto de Fusão | 419.5 C |
| Ponto de Ebulição | 907 C |
| Aparência | metal branco-azulado |
| Número Atômico | 30 |
| Módulo de elasticidade | 7 x 10 ⁴ MN/m ² |
| Calor específico | 0.382 kJ/kg.K |
| Calor latente de fusão (419,5° C) | 100.9 kJ/kg |
| Calor latente de vaporização (906° C) | 1.782 MJ/kg |
| Capacidade calorífica | |
| - Sólido | 22.40 + 10.5 x 10 ⁻³ T J/mol |
| - Líquido | 31.40 J/mol |
| - Gás | 20.80 J/mol |
| Coefficiente linear de expansão térmica (20-400° C) | 39.7 µm/m.K |
| Coefficiente volumétrico de expansão térmica (20-400° C) | 0.89 x 10 ⁻⁶ /K |
| Condutibilidade térmica: sólido (18° C) | 113 W/m.K |
| Resistividade elétrica (20° C) | 5.9 µΩm |
| Potencial eletrolítico padrão (eletrodo H2) | -0.762 V |
| Entalpia de Vaporização | 114.2 kJ/mol |

Tabela 4 Propriedades do zinco.



Métodos de Proteção contra Corrosão

3.1 GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

Componentes de aço, livres de ferrugem, carepas de laminação e outros contaminantes, são imersos em zinco fundido, resultando num revestimento de ligas de ferro/zinco com zinco puro na superfície. Consulte o capítulo 4.

3.2 ELETROGALVANIZAÇÃO

As superfícies de aço são desengorduradas e decapadas para a remoção de ferrugem e carepas de laminação. Em seguida, o componente é imerso em uma solução de sais de zinco e conectado, enquanto catodo, a uma fonte de corrente contínua. Barras ou esferas de zinco puro são conectadas enquanto anodos. A solução (eletrolito) pode ser ácida, neutra ou alcalina, o que determina o tipo de sal de zinco. Quando a corrente começa a fluir, o zinco encontrado no eletrolito se deposita na superfície do aço. Ao mesmo tempo, o anodo se dissolve, fornecendo mais zinco para o eletrolito.

Os artigos podem ser sustentados por guias, gabaritos ou cestos; além disso, eles também podem ser colocados em tambores, para que se movimente pelos banhos necessários.

A camada depositada possui uma estrutura cristalina muito tênue, com um limite bem estabelecido entre o zinco eletrodepositado e o substrato metálico (figura 7). A espessura varia de 5 a 25µm. No entanto, camadas com menos de 5µm podem ser encontradas em artigos como acessórios, parafusos, etc... Camadas com mais de 25µm somente podem ser obtidas em componentes ou estruturas com uma geometria lisa simples, como arames.

A superfície do revestimento de zinco é bastante regular, possuindo um brilho metálico prateado. Através da adição de aditivos especiais ao banho de zinco, podem ser obtidos revestimentos com brilho intenso (zinco polido). Geralmente, componentes eletrogalvanizados são mergulhados em cromato para prevenir corrosão durante as etapas de armazenamento e transporte. Frequentemente, a camada de cromato é incolor, mas pode apresentar, no caso de camadas espessas, uma cor verde ou marrom-amarelada.

Devido à finura da camada de zinco, componentes eletrogalvanizados devem receber acabamento com uma camada de tinta ou outro revestimento orgânico antes de exposição a ambientes exteriores, para aumentar sua vida útil.

Consulte também a norma **SANS 4042/ISO 4042** para fixadores e a norma **SANS 2081/ISO 2081** para outros componentes.

3.3 ASPERSÃO DE ZINCO

O aço é limpo através de um processo de jateamento com abrasivos - pelo menos nos termos da Sa 21/2 de acordo com a norma ISO 8501-1. O zinco é colocado na pistola de pulverização, em forma de arame ou em pó e é depois fundido por uma chama de gás ou arco elétrico (figura 8). Em seguida, as gotículas de zinco fundido são pulverizadas na superfície do aço com o auxílio de ar comprimido.

A camada de zinco pode apresentar porosidade e a superfície pode ser áspera (figura 9). A espessura do revestimento pode variar de 30µm (na prática) até aproximadamente 300µm. A aderência à superfície de aço ocorre de maneira puramente mecânica.

Este método é apropriado para objetos maiores com formato relativamente simples. Ele também é adequado para reparos em revestimentos de zinco em componentes galvanizados por imersão a quente que foram danificados por soldagem ou impactos mecânicos.

Consulte também a norma **SANS 2063/ISO 2063**.

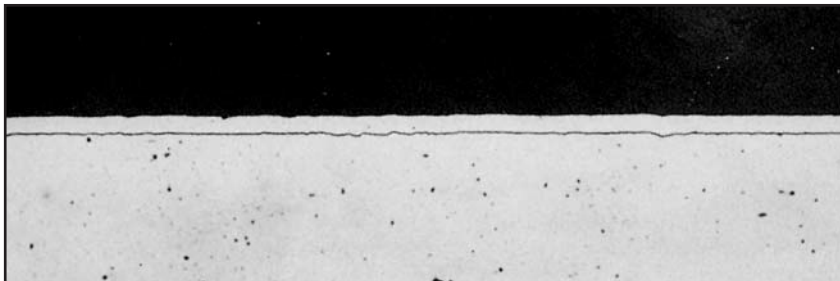


Figura 7. Corte seccional de camada de zinco aplicada eletroliticamente.

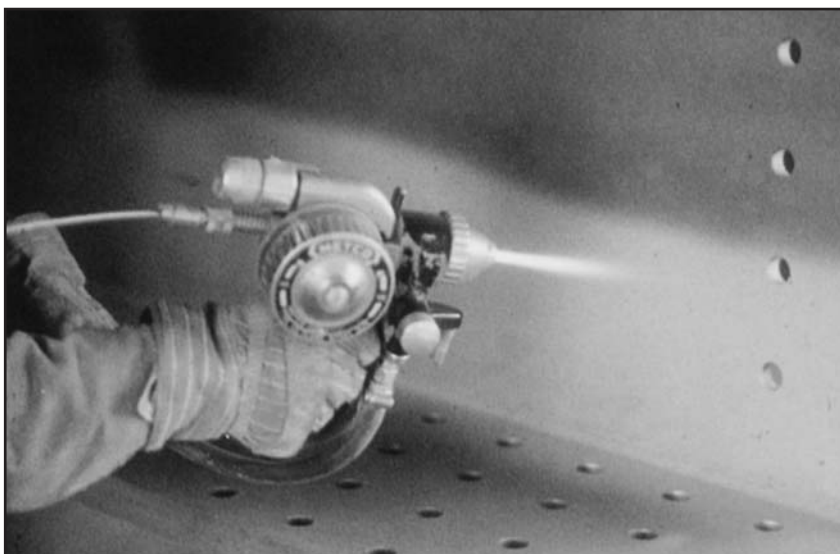


Figura 8. Aspersão de zinco

3.4 SHERARDIZAÇÃO

Componentes de aço, limpados por meio de processo de decapagem, não embalados conjuntamente em tambores com areia e pó de zinco. O tambor é girado e aquecido a uma temperatura um pouco abaixo da temperatura de fundição do zinco. Durante algum tempo, expostos a esta temperatura e com rotação contínua, o ferro e o zinco reagem um com o outro e formam uma liga de ferro/zinco na superfície do aço.

O processo de sherardização resulta em revestimentos geralmente finos (15-40 µm) com superfícies de cor cinza-escuro. Os revestimentos possuem boas propriedades de aderência e uma espessura bastante uniforme, mesmo em objetos de formato complexo. Este método pode ser utilizado em praticamente a mesma quantidade de aplicações quanto a eletrogalvanização.

Consulte também a norma SANS 53811:2006 / EN 13811: 2003 Sherardização - Revestimentos de zinco superficiais por difusão e absorção em produtos ferrosos.

3.5 ELETRODEPOSIÇÃO (COM MANEJO MECÂNICO DE CATODOS)

Objetos desengordurados são colocados em um tambor junto com uma esfera de vidro. Primeiramente, eles entram em contato com um agente limpador ácido; em seguida, com um agente de cobreação. Depois, os objetos são cobertos com pó de zinco e alguns ativadores.

Normalmente, o zinco é depositado em camadas, com espessura entre 12 e 15 µm, embora seja supostamente possível camadas mais espessas, de aproximadamente 75 µm. Quando são aplicados revestimentos com mais de 30 µm de espessura, é necessário um tratamento térmico de baixa temperatura após a eletrodeposição, para evitar fraturas escamosas. Os revestimentos são bastante uniformes, mesmo em objetos de geometria complexa. A superfície é fosca. As ligas de ferro/zinco produzidas pelo processo de galvanização por imersão a quente não estão presentes em revestimentos de zinco gerados por eletrodeposição com manejo mecânico de catodos; além disso, o revestimento em arestas e cantos é mais fino que em superfícies planas. Isso ocorre devido ao impacto durante o processo de rebarbação/limpeza em tambor; por essa razão, não é recomendável que produtos com massa maior que 0,25 kg sejam revestidos utilizando este método. Quando revestimentos mais espessos são aplicados, com > 20 µm, é necessário aumentar as dimensões das porcas ou aplicar mordeduras nas roscas. Já que o risco de fragilização por hidrogênio é pequeno, até mesmo aços temperados podem ser tratados com este processo.

A norma **ASTM-B695** poderá ser aplicada.

3.6 REVESTIMENTO COM TINTAS OU EPÓXIS RICOS EM ZINCO

Da mesma forma que ocorrem com a pulverização de zinco, componentes de aço devem ser limpos através de um processo de jateamento com abrasivos - pelo menos nos termos da Sa 21/2 de acordo com a norma ISO 8501-1. Os processos de raspagem ou de limpeza com escova de arame, por si só, não geram resultados satisfatórios em casos de revestimentos que cobrem componentes por completo. No entanto, ao restaurar um determinado revestimento in loco, deve ser realizada uma limpeza adequada com papel de lixa ou escova de arame, para que o processo obtenha sucesso.

As tintas ricas em zinco consistem em pó de zinco com granulação fina junto a um agente aglutinante orgânico ou inorgânico. Estão disponíveis tintas para um e dois componentes. O teor de zinco na película de tinta seca deve corresponder até 80% em termos de massa, o que significa 54% em termos de volume. Embora o zinco presente

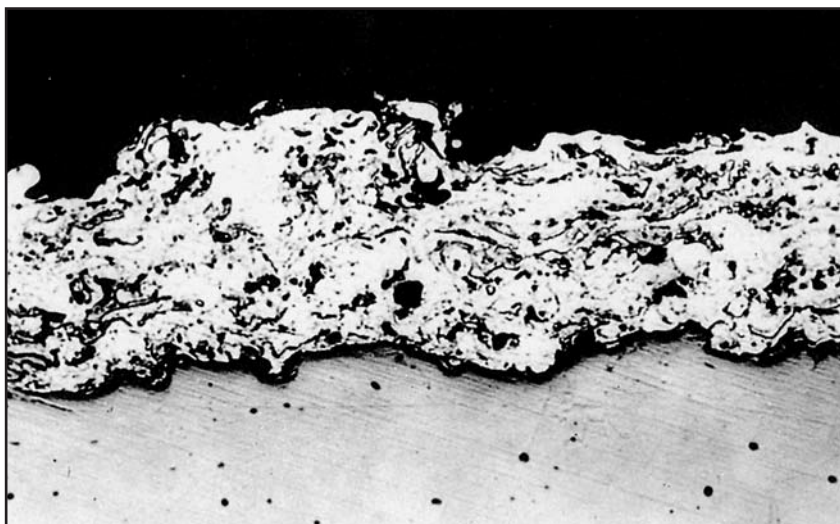


Figura 9. Corte seccional de revestimento de zinco aspergido.

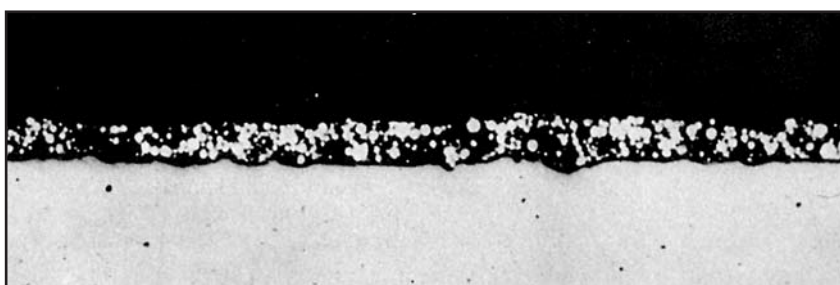


Figura 10. Corte seccional de camada de tinta rica em zinco.

na tinta ofereça um elemento de proteção catódica inicial devido a aglutinantes e resinas entremeados, que são necessários para que a tinta possa aderir ao substrato, há somente um curto tempo de proteção catódica adequada, que dura aproximadamente 80 dias (2 meses e meio). Depois desse tempo, a tinta rica em zinco se torna uma barreira de revestimento comum. A tinta é aplicada por meio de escova ou pistola de pulverização, dependendo da formulação da tinta.

Às vezes, a pintura realizada com tinta rica em zinco é chamada de "galvanização a frio", o que dá a impressão de que tintas ricas em zinco proporcionam revestimentos com propriedades similares às obtidas através da galvanização por imersão a quente. Este não é o caso; compare as figuras 10 e 23.

A denominação "galvanização a frio" foi legalmente testada na Alemanha.

O Zivilsenats des Bundesgerichtshof declarou, em decisão datada de 12 de março de 1969, que "galvanização a frio" era uma descrição ilegal deste produto.

Revestimentos com tintas ricas em zinco são procedimentos de pintura, não se tratando de métodos de revestimento de metais.

As propriedades dos revestimentos de zinco aplicados através destes diversos métodos estão indicadas na figura 11.

Consulte o Capítulo 15 - "Renovação de Revestimentos Danificados ou Componentes Galvanizados".

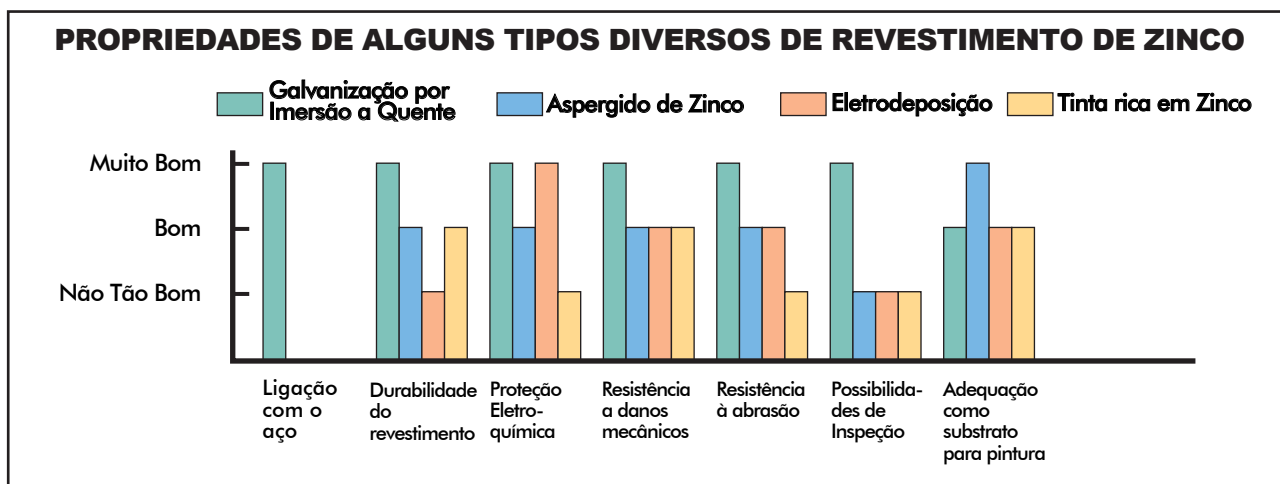


Figura 11. Comparação entre as propriedades de diversos revestimentos de zinco.



Galvanização por Imersão a Quente

Em 1741, Melouin, um químico francês, descobriu que o zinco era capaz de proteger o aço contra corrosão. Entretanto, este método não era amplamente utilizado até que um outro francês, Sorel, criou o processo de decapagem em ácido sulfúrico como medida de preparação. Em seguida, ele solicitou o registro de sua primeira patente de galvanização por imersão a quente em 10 de maio de 1837. A parte principal do procedimento que Sorel buscou patentear ainda é utilizada atualmente.

Em documento anexado à sua solicitação de patente, de julho de 1837, Sorel chamou o método de "galvanização", referindo-se à pilha galvânica criada caso o revestimento de zinco sofra qualquer tipo de dano. O aço na área danificada se torna um catodo na pilha, ficando protegido contra corrosão. Futuramente, o nome foi adotado por outros métodos de revestimento de aço que fazem uso do zinco, sendo ocasionalmente utilizado para deposição de metais eletrolíticos em geral. Para evitar confusões, o processo de imersão em zinco fundido deve ser denominado como galvanização por imersão a quente.

4.1 VANTAGENS DA GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

- **Custos iniciais menores.** Geralmente, a galvanização por imersão a quente possui os custos iniciais mais baixos, quando comparados aos custos de outros revestimentos específicos de proteção de aço, bastante comuns. Os custos de aplicação de revestimentos que fazem grande uso de mão de obra, como pintura, cresceram num ritmo muito maior que os custos de fábrica associados à galvanização por imersão a quente.
- **Custos menores com manutenção / no longo prazo.** Mesmo em casos nos quais os custos iniciais de galvanização por imersão a quente sejam maiores que revestimentos alternativos, o processo de galvanização é invariavelmente mais econômico, devido a seus baixos custos com manutenção e a um maior tempo de vida útil. Custos com manutenção são ainda maiores em casos de estruturas localizadas em áreas remotas. Invariavelmente, programas de manutenção também possuem um impacto negativo na produtividade.
- **Menor tempo de vida útil.** A expectativa de vida útil de revestimentos galvanizados por imersão a quente em componentes estruturais supera os 50 anos na maior parte dos ambientes rurais, e entre 10 e 30 anos na maioria dos ambientes costeiros e urbanos, ambientes considerados corrosivos.
- **Preparação de superfície.** A imersão em ácido garante uma limpeza uniforme das superfícies de aço. Por outro lado, revestimentos orgânicos para trabalhos pesados devem ser aplicados em superfícies limpas por meio de jateamento com abrasivos (geralmente, de acordo com a norma ISO 8501 - 1 nos termos da SA21/2) e verificadas por meio de inspeções realizadas por

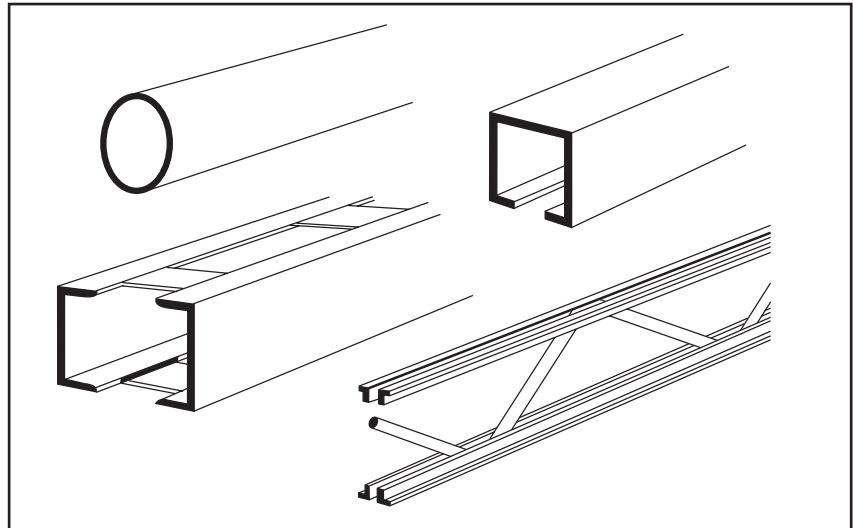


Figura 12. Exemplos de perfis e estruturas cujo acesso é complicado para uma limpeza mecânica. No caso da galvanização por imersão a quente, todas as superfícies recebem revestimento com o mesmo nível de qualidade.

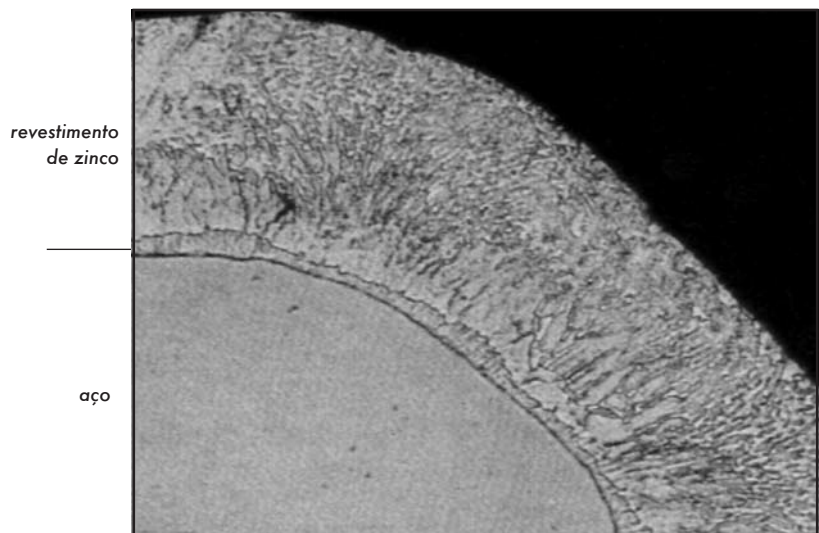


Figura 13. Micrografia ilustrando um revestimento galvanizado por imersão a quente um pouco mais espesso nos cantos.

terceiros. Além disso, a aplicação de revestimentos orgânicos é limitada em termos de fazer frente à temperatura ambiente e à umidade relativa. Isso aumenta o custo de aplicação de sistemas com tinta para serviços pesados.

- **Aderência.** O revestimento galvanizado por imersão a quente está metalurgicamente ligado à superfície de aço.
- **Ecológico.** O revestimento não é tóxico e não contém substâncias voláteis.
- **Velocidade de aplicação do revestimento.** Um revestimento de proteção completo pode ser aplicado em minutos. Um sistema de tinta multicamadas, de características comparáveis, levaria dias para ser aplicado. A eficiência da aplicação de um revestimento galvanizado por imersão a quente não depende de condições climáticas.

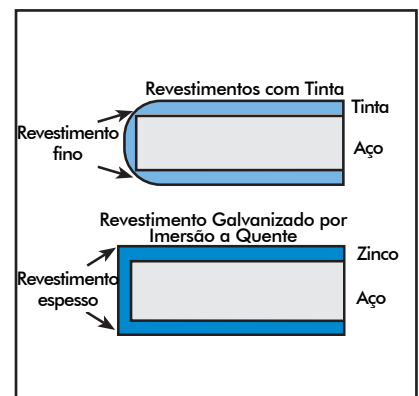


Figura 14. Revestimentos com tinta são mais finos nos cantos e arestas vivas. Por outro lado, revestimentos galvanizados por imersão a quente possuem, nestes locais, uma espessura no mínimo igual ou mais espessa.

- **Proteção uniforme.** Todas as superfícies de um determinado artefato galvanizado por imersão a quente, tanto interna quanto externamente, incluindo vãos, arestas vivas e áreas inacessíveis para aplicação de outros métodos de revestimento (figura 12). O revestimento é mais espesso em cantos e arestas vivas do que em superfícies planas (figuras 13 e 14). Espessura, aderência do revestimento e uniformidade são características do processo. Nenhum outro tipo de revestimento aplicado numa determinada estrutura ou processo de construção consegue proporcionar um nível equivalente de proteção uniforme.
- **Proteção anódica em áreas danificadas.** O revestimento galvanizado por imersão a quente sofrerá processo de corrosão em vez do aço, proporcionando proteção catódica ou anódica a pequenas áreas de aço expostas devido a danificações no revestimento. Ao contrário de revestimentos orgânicos, pequenas áreas danificadas não precisam de retoques, já que a corrosão não consegue penetrar para as áreas abaixo do revestimento (figuras 89 e 90).
- **Tenacidade.** Um revestimento galvanizado por imersão a quente possui uma estrutura metalúrgica única, que proporciona um nível excepcional de resistência a danos mecânicos durante transporte, trabalhos de montagem e execução de serviços.
- **Confiabilidade.** É necessário que o processo de galvanização por imersão a quente esteja em conformidade com as

especificações da norma **SANS 121/ISO 1461**. As espessuras do revestimento especificadas estão relacionadas à espessura do aço. A vida útil do revestimento é confiável e previsível.

- **Tempo mais rápido de montagem.** Depois de passar pelo processo de galvanização por imersão a quente, o aço pode ser imediatamente inspecionado, transportado e montado. Quando a montagem das estruturas estiver completa, elas estão imediatamente prontas para uso. Não há perda de tempo em termos de preparação de superfície, pintura, secagem, cura e inspeção final in loco.
- **Facilidade de inspeção.** Os revestimentos galvanizados por imersão a quente podem ser visualmente analisados de imediato. São utilizados métodos simples e não destrutivos de testes para determinar a espessura do revestimento. A inspeção de revestimentos orgânicos é necessária após a preparação da superfície e em cada etapa subsequente de aplicação. O processo de galvanização por imersão a quente funciona da seguinte forma: caso um revestimento pareça perfeito e contínuo, é porque ele de fato é perfeito e contínuo.
- **Cobertura do revestimento com tinta (proteção dupla).** Caso seja aplicado corretamente, um sistema duplex proporcionará ao componente uma cor durável, resistência química e uma vida útil, aumentada graças à sinergia entre o revestimento e a cobertura.

- **Grafites indesejados são facilmente removidos.** Grafites podem ser facilmente removidos com solventes, sem causar danos ao revestimento galvanizado por imersão a quente. Isso não é obtido tão facilmente com um revestimento de tinta.

4.2 DESVANTAGENS DA GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

- A galvanização por imersão a quente somente pode ser realizada em uma fábrica dedicada a este processo. Aplicação in loco não é possível.
- A cor do revestimento de zinco poderá ser modificada somente com tintas.
- As dimensões do componente ou estrutura têm que estar limitadas ao tamanho do banho de zinco. Métodos inovadores para acomodar componentes maiores foram criados; informe-se com a Associação ou com um galvanizador por imersão a quente. Para verificar os tamanhos do banho de zinco de nossos membros, visite www.hdgasa.org.za
- Tensões residuais em metais devido a laminação, dobramento e soldagem poderão resultar em distorções inesperadas. No entanto, um design cuidadoso, boas práticas de fabricação que sigam os critérios de design delineados e um processo controlado de galvanização eliminarão as principais causas de distorções. A remoção ou redistribuição de tensões residuais pode ser atingida por meio do uso de calor ou outros métodos em

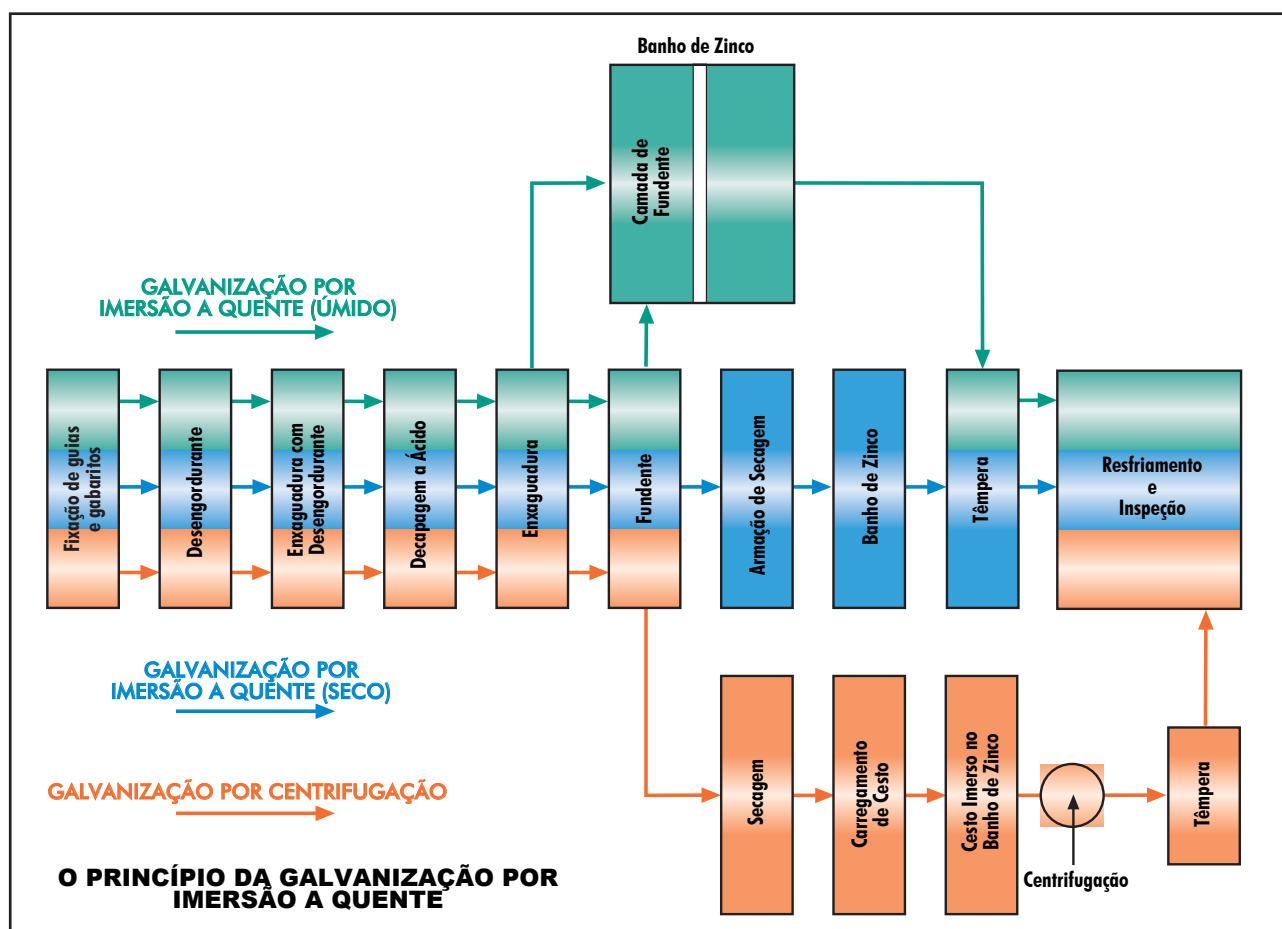


Figura 15. O princípio da galvanização por imersão a quente

componentes críticos.

- Talvez seja necessário um procedimento diferente em caso de soldagem de aço revestido com zinco, quando comparado a aço não revestido. A soldagem de aço galvanizado por imersão a quente resulta num certo grau de perda de revestimento, através da Zona Afetada pelo Calor, embora parte do revestimento original permaneça intacto até a aresta da solda. É necessário restaurar o revestimento sobre a solda e áreas vizinhas.

4.3 PROCESSO DE GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

Galvanização por Imersão a Quente em Geral

A reação metalúrgica entre o aço e o zinco fundido, que produz um revestimento galvanizado por imersão a quente, só pode ser formado caso a superfície esteja livre de contaminantes. Caso a superfície do aço esteja contaminada por tinta de marcar, escórias de soldas e outras substâncias não removidas prontamente pelo ácido, estes contaminantes devem ser removidos através de meios mecânicos, como jateamento com abrasivos ou esmerilhamento. A areia de moldagem na superfície de peças fundidas é removida através de jateamento com abrasivos.

Graxa e óleo são removidos pelo galvanizador com o auxílio de produtos químicos desengordurantes, ácidos ou cáusticos. Ferrugens e carepas de laminação são removidas da superfície do aço através de processo de decapagem em ácido sulfúrico ou clorídrico diluído. Após decapagem e enxaguadura, o agente fundente é aplicado. A finalidade do fundente é dissolver óxidos na superfície do

aço e do zinco fundido, permitindo que o aço e o zinco entrem em contato metálico. O fundente pode ser aplicado de duas maneiras diferentes, denominadas galvanização por processo a seco ou úmido. Com relação à qualidade do revestimento, ambos os métodos geram bons resultados.

Na galvanização por processo a seco, a superfície do banho de zinco é dividida em duas seções por um arame. O fundente, cloreto de amônio, é depositado na superfície do zinco em uma seção do banho. Os componentes de aço, ainda úmidos das etapas de decapagem e enxaguadura, são mergulhados, através do fundente, até o zinco. Em seguida, os componentes são transportados para a seção do banho de zinco sem o fundente. Os resíduos do fundente e óxidos são retirados da superfície do banho; depois, os componentes podem ser erguidos, passando por uma superfície de zinco lisa e pura. A galvanização por processo úmido está geralmente restrita à galvanização de tubos semiautomáticos e componentes pequenos.

A galvanização por processo a seco é o método preferencial para revestimento de componentes galvanizados por batelada. Após decapagem e enxaguadura com água, os componentes são mergulhados numa solução fundente de cloreto de amônio e cloreto de zinco. Dessa forma, uma fina camada de sais fundentes é depositada na superfície dos componentes. Antes de serem mergulhados e retirados do banho, a superfície do zinco fundido é vasculhada para remoção de óxido de zinco e resíduos do fundente. Após sua saída do banho de zinco, os componentes são temperados com dicromato de sódio ou água pura.

Além disso, eles podem ser resfriados ao ar. Em seguida, os componentes estão prontos para as etapas de reparação de soleira (quando necessário), inspeção e envio (figura 15).

Galvanização por Imersão a Quente com Centrifugação

Pequenos componentes, como pregos, porcas, parafusos, arruelas e acessórios são limpos conforme descrito acima e colocados em cestos perfurados, que são depois mergulhados no zinco fundido. Após a retirada do banho de zinco, o cesto é colocado em uma centrífuga. A rotação faz com que o excesso de zinco seja retirado das superfícies revestidas, deixando os componentes livres de áreas com depósitos irregulares de zinco. A camada de zinco de itens centrifugados é um tanto mais fina do que a obtida pelo processo geral. A centrifugação é essencial para itens roscados, nos quais a tolerância de espessura de revestimento e ajustagem são características essenciais (figura 15).

Galvanização por Imersão a Quente de Tubos

Os tubos passam por uma galvanização por imersão a quente por processo a seco ou úmido em linhas de produção semiautomáticas. Imediatamente após a retirada do banho de zinco, o zinco em excesso é removido da superfície, resultando num revestimento liso e uniforme. A espessura do zinco pode ser controlada, até certa medida, através de ajustes na pressão do ar de equipamentos de limpeza por jato de ar. O zinco em excesso é removido de superfícies internas com a ajuda de vapor, que é forçado pelo buraco do tubo; Normalmente, o processo de galvanização por imersão a quente para tubos somente é aplicado para tubos sem flanges, com um diâmetro nominal de até 114 mm OD. Tubos com diâmetros maiores e com flanges são galvanizados por meio do processo geral.

| AValiação de Ferrugem Branca <i>(Consulte Capítulos 5 e 12)</i> | | |
|---|--|---|
| EFEITOS VISÍVEIS | CAUSA | AÇÕES CORRETIVAS |
| DESCOLORAÇÃO LEVE, COR BRANCA - DEPÓSITOS EM PÓ FINO, DE COR BRANCA | Causada por umidade presa entre chapas ou componentes durante transporte ou armazenamento, ou através de processo de condensação em caso de falta de ventilação adequada. | Nenhuma ação necessária. As propriedades protetoras do zinco não são prejudicadas pela presença deste tipo de descoloração superficial de cor branca. Tais depósitos, que apresentam descoloração de cor branca, serão lentamente transformados em carbonato de zinco, que possui características protetoras. Não é ideal para pós-pintura antes da remoção de depósitos com aderência insuficiente. |
| DESCOLORAÇÃO DENSE, BRANCA - DEPÓSITOS ESPessos E COM INCRUSTAÇÕES | Causada por condições adversas de armazenamento por longos períodos de tempo ou proteção inadequada durante transporte, o que permite um considerável ingresso de água nas áreas entre chapas ou componentes empilhados de modo compacto. | Antes da pintura, remova todos os traços de depósitos com aderência insuficiente com uma escova de cerdas rígidas (não com uma escova de arame). Verifique a espessura residual do revestimento de zinco com um calibre de espessura eletromagnético. (Para chapas com galvanização contínua, o calibre de espessura eletromagnético é utilizado apenas como indicador da espessura do revestimento de zinco. Este método não pode ser utilizado para reprovador um determinado revestimento em termos de espessura.) Caso a espessura do revestimento esteja de acordo com as especificações e caso a chapa ou componente venha a ser utilizado em condições razoavelmente secas ou com exposição livre, nenhum tipo de ação é necessária. |
| MANCHAS NEGRAS E DESCOLORAÇÃO DE COR BRANCA COM DEPÓSITOS EM PÓ | Geralmente, trata-se de um estágio muito inicial de corrosão superficial do zinco, que ocorre devido à formação de um produto complexo de corrosão da superfície de zinco. Tais manchas negras não significam que o revestimento de zinco foi destruído. | Verifique a espessura do revestimento de zinco com um calibre de espessura eletromagnético. (O calibre de espessura eletromagnético é utilizado apenas como indicador da espessura do revestimento de zinco para chapas com galvanização contínua. Este método não pode ser utilizado para reprovador um determinado revestimento em termos de espessura.) Em caso de dúvidas, entre em contato com a HDGASA antes da pintura, por conta da natureza complexa de tais manchas. |
| OXIDAÇÃO VERMELHA - FERRUGEM | Corrosão do substrato de aço em áreas na quais o zinco foi completamente consumido. Não deve ser confundida com manchas superficiais. | Geralmente, chapas ou componentes com ferrugem devem ser restaurados ou não devem ser nem ao menos utilizados. |

Tabela 5 Avaliação de ferrugem branca.



Galvanização de Chapas Metálicas por Imersão a Quente

As chapas galvanizadas por imersão a quente são produzidas em linhas contínuas de revestimento de zinco (figura 16), a partir de bobinas de aço laminadas a frio (com espessuras entre 0,27 a 2,0 mm) ou a quente (com espessuras entre 2,1 a 3,0 mm) de acordo com as especificações constantes nas normas **SANS 4998** e **SANS 3575** ou **ASTM A653**. A especificação **SABS 934** não deve mais ser utilizada como referência, já que ela foi substituída pelas normas **SANS 4998/ISO 4998** e **SANS 3575/ISO 3575**.

As bobinas de aço são soldadas de extremidade a extremidade, para formar tiras contínuas. Após o processo de desengorduramento, as tiras passam por um processo de decapagem e oxidação. Os óxidos são removidos das superfícies por processo de redução executado a 950°C. Ao mesmo tempo, as tiras passam por um processo de recozimento completo. As superfícies das tiras, quimicamente limpas, são transportadas através de uma atmosfera de gás protetor, sendo diretamente levadas ao banho de zinco.

As tiras são retiradas do banho verticalmente e passam por lâminas de ar. Jatos controlados de ar ou vapor passam pelas lâminas, aparando o revestimento de zinco até que ele atinja a espessura desejada.

O processo de galvanização resulta em uma chapa com revestimento de zinco uniforme, com acabamento metálico brilhoso e liso. O revestimento de zinco pode apresentar um leve acabamento, regular ou achatado, com flores de zinco. (Consulte o item 7.8 Reações entre Ferro e Zinco em Processos de Galvanização Contínua).

Após resfriamento, desempenamento e tratamento contra ferrugem branca, as tiras são cortadas em chapas com tamanhos razoáveis ou enroladas em bobinas, ou submetidas a processo posterior de pintura e/ou perfilagem (figura 16).

5.1 ACABAMENTO DE SUPERFÍCIE DE REVESTIMENTO DE ZINCO

Os acabamentos de superfície a seguir podem ser solicitados de acordo com exigências específicas para seu uso final:

Flores de zinco regulares (também conhecidas como flores de zinco normais)
Esta é a estrutura de cristais multifacetada, de tamanho considerável e sem alterações, que ocorre durante um processo normal de solidificação de um revestimento de zinco galvanizado por imersão a quente sobre chapas de aço.

É possível obter variações de tamanho e brilho das flores de zinco, dependendo das condições e do processo de galvanização; porém, isso não possui nenhum efeito na qualidade e resistência à corrosão do revestimento. Flores de zinco regulares são utilizadas em diversas aplicações nas quais a aplicação de camada exterior de pintura, para fins de manutenção, pode ser realizada numa etapa posterior.

Flores de zinco reduzidas e achatadas
Este revestimento de zinco é obtido através da inibição do crescimento normal de cristais de zinco, seguida da aplicação de um processo de ligeira laminação de

GALVANIZAÇÃO DE CHAPA METÁLICA POR IMERSÃO A QUENTE EM LINHA DE REVESTIMENTO CONTÍNUO

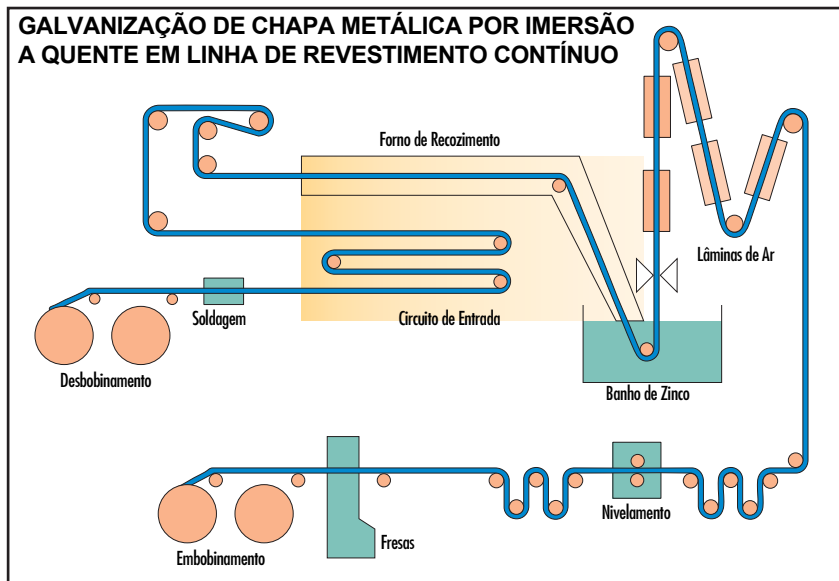


Figura 16. Diagrama esquemático que ilustra o processo contínuo de galvanização por imersão a quente para revestimento de chapas.

acabamento e encruamento superficial. O revestimento de zinco obtido desta forma possui uma capacidade maior de plasticidade e a superfície de zinco serve como uma excelente base para processos de pré-pintura, pós-pintura e aplicações de revestimento em pó.

Este tipo de acabamento é recomendado para aplicações nas quais é necessário um acabamento com tinta de alto brilho. Está disponível para revestimentos de zinco com massa até Z275, e espessura máxima de aço de 1,20 mm caso seja necessária passivação, ou 1,60 mm caso passivação não seja necessária.

Revestimentos de zinco de diferentes espessuras, de acordo com as normas **SANS 4998/ISO 4998** ou **SANS 3575/ISO 3575**, podem ser solicitados para atender a exigências específicas de uso final. Algumas categorias de revestimento são mais fáceis de obter (tabelas 6 e 7, respectivamente).

A espessura e tipo de substrato de aço são selecionados em termos mecânicos e estruturais; já a espessura do revestimento de zinco é selecionada de acordo com a expectativa de vida útil exigida em termos de resistência à corrosão.

Resistência à corrosão

A proteção proporcionada por um revestimento galvanizado por imersão a quente, em condições normais de exposição, está diretamente relacionada à sua espessura. O revestimento de chapas normalmente disponibilizado por vendedores é o Z 275, que é adequado para ambientes com baixo nível de agressividade.

Recomenda-se que as chapas galvanizadas recebam uma aplicação de camada exterior de pintura no tempo certo, de preferência antes da aparição dos primeiros produtos de corrosão por ferrugem. Em locais nos quais as condições requeiram um nível mais alto de proteção contra corrosão, uma categoria mais espessa de revestimento, isto é, Z 600

ou a adição de um revestimento de tinta são opções a serem consideradas. Em caso de chapas com revestimentos mais pesados, elas não são adequadas para trabalhos pesados de conformação, que excedam os procedimentos normais de corrugação ou curvamento.

Ensaio de dobramento, para avaliar a aderência do revestimento de zinco, são executados e avaliados de acordo com especificações próprias (tabela 8). Além disso, ensaios de embutimento de aderência em impactos são executados em todos os produtos, independentemente de suas especificações, para garantir um bom nível de aderência do revestimento de zinco.

Manchas de armazenamento (ferrugem branca)

Quando chapas galvanizadas em bobinas ou pacotes de chapas são armazenadas em condições úmidas, a galvanização pode ser danificada por ferrugem branca.

A água da chuva ou vapor d'água pode ser facilmente acumulado entre chapas desempenadas ou hermeticamente perfiladas, ou entre sobreposições de bobinas através de ação capilar. Devido à falta de circulação livre de ar, a umidade não evapora, resultando em condições desfavoráveis que podem levar à ferrugem branca em chapas galvanizadas.

Normalmente, manchas leves de cor branca em chapas galvanizadas não é algo preocupante. O processo de corrosão por ferrugem branca cessará quando as áreas afetadas forem secas e expostas à atmosfera. A descoloração desaparecerá dentro de alguns meses, durante o processo regular de desgaste do material. No caso de áreas que formarão partes de sobreposições expostas ou outras áreas ocultas que possam estar sujeitas a longos períodos de exposição a umidade, elas devem ser limpas e receber proteção adicional.

Materiais galvanizados não podem ser

empilhados diretamente sobre o chão, em nenhuma hipótese. Consulte figuras 19, 20 e 21, tabela 5 e Capítulo 12, além do item Remoção de Ferrugem Branca, na página 16.

5.2 TRATAMENTO DE SUPERFÍCIES

Normalmente, os tratamentos de superfícies a seguir são utilizados para reduzir a possibilidade de ferrugem branca durante as etapas de transporte e armazenamento.

Passivação

Normalmente, a passivação por meio de dicromato de potássio é aplicada a todos os tipos de materiais galvanizados. Em casos nos quais este tratamento possa interferir com etapas subsequentes de processamento, o aço galvanizado pode ser solicitado sem passivação; neste caso, é recomendável que a superfície de zinco seja oleada.

Oleamento

Um óleo especial de proteção contra corrosão é utilizado para revestir chapas galvanizadas, desempenhando um papel de proteção adicional contra ferrugem branca durante manuseio e armazenamento. O óleo é somente utilizado quando solicitado.

Caso sejam solicitadas chapas de aço galvanizadas sem passivação ou oleamento, um tipo adequado de embalagem protetora deve ser solicitado para proteger os materiais contra a entrada de umidade durante as etapas de transporte e armazenamento. (Consultar o item Armazenamento Seguro, na página 16).

5.3 RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE ARESTAS DE CORTE

A introdução de bobinas com galvanização contínua, que são subsequentemente cortadas em chapas, direcionou atenção ao comportamento das arestas de corte, que são expostas à corrosão atmosférica. Geralmente, chapas mais finas que 1,6 mm são protegidas de maneira adequada através de ação catódica do revestimento de zinco. Da mesma forma, arestas laterais aparadas dificilmente apresentam problemas relacionados à corrosão.

Revestimentos mais espessos oferecem um nível mais alto de proteção catódica.

5.4 ENVELHECIMENTO APÓS DEFORMAÇÃO A FRIO

Chapas de aço galvanizadas têm a tendência a apresentar envelhecimento após deformação a frio, o que pode resultar nos seguintes efeitos:

1. Marcação na superfície decorrentes de nervuras de distensão (linhas de Luder) ou caneluras, quando as chapas são conformadas.
2. Deterioração de ductilidade

Recomenda-se que o período entre o processamento final na fábrica e a fabricação seja o menor possível, não devendo, preferencialmente, ultrapassar seis semanas.

5.5 PINTURA

Primer e revestimentos por conversão química foram desenvolvidos para oferecer um bom nível de aderência de películas de tinta subsequentemente aplicadas em superfícies revestidas. Para obter resultados perfeitos, é essencial seguir à risca as instruções dos fabricantes de tinta.

| MASSA DO REVESTIMENTO DE ZINCO DE ACORDO COM AS NORMAS SANS 4998/ISO 4998 E SANS 3575/ISO 3575 | | | | |
|--|--|------------|---|------------|
| Revestimento Designação | Massa de revestimentos* (ambos os lados) g/m ² , min. | | Espessura equivalente por lado ** μm, min | |
| | Média | Individual | Média | Individual |
| Z 100† | 100 | 85 | 7 | 6 (4,8) |
| Z 180† | 180 | 150 | 13 | 11 (8,5) |
| Z 200† | 200 | 170 | 14 | 12 (9,7) |
| Z 275 | 275 | 235 | 20 | 17 (13,4) |
| Z 350 | 350 | 300 | 25 | 21 (17,1) |
| Z 450 | 450 | 385 | 32 | 28 (22) |
| Z 600 | 600 | 510 | 43 | 36 (29) |
| Z 700 | 700 | 595 | 50 | 43 (34) |

Tabela 6. Massa por unidade de superfície de revestimento de zinco.

| Revestimento Designação | Massa de revestimentos* (ambos os lados) g/m ² , min. | | Espessura equivalente por lado ** μm, min | |
|-------------------------|--|------------|---|------------|
| | Média | Individual | Média | Individual |
| Z160 ^{1,2} † | 160 | 135 | 11 | 9 (7,7) |
| Z275 | 275 | 235 | 20 | 17 (13,4) |
| Z600 ^{3,4} | 600 | 510 | 43 | 36 (29) |

Tabela 7. Categorias de revestimento de zinco com disponibilidade imediata na África Meridional

OBSERVAÇÕES

- * No mínimo, 40% do valor individual deve ser encontrado em cada superfície, como indicado entre colchetes.
- † Embora as categorias de revestimento Z 100, Z160, Z 180 e Z 200 estejam incluídas nesta tabela, elas não são recomendadas para aplicações externas desprotegidas; porém, elas foram incluídas para produtos que posteriormente passem por um processo de proteção adicional através da aplicação de um sistema de tinta adequado.

- * * Apenas para fins informativos. A espessura equivalente é calculada com base na seguinte fórmula:

$$\text{Espessura; } \mu\text{m} = \frac{\text{Massa por unidade de área, g/m}^2}{2 \times 7}$$

(7 é a gravidade específica aproximada do zinco)

A letra Z na designação do revestimento indica um revestimento de zinco puro, enquanto que o número indica a massa total do revestimento em ambos os lados da chapa (g/m²)

1. Somente disponível em materiais extraduros entre 0,27 e 0,3 mm, exceto Z160
2. Somente de acordo com especificação Iscor
3. Não recomendado para conformação
4. Não disponível em materiais extraduros

| Designação do Revestimento | Aço Comercial (CS), Aço para conformação (FS) e Aço de Estampagem Profunda (DDS) Norma ASTM A653M-97 | | | Aço Estrutural (SS) Norma ASTM A653M-97* | | |
|----------------------------|--|---------------|-------|--|---------------|---------------|
| | Espessura (t) de Chapa Galvanizada (em mm) | | | Categoria 230 | Categoria 255 | Categoria 275 |
| | 0.4 ≤ t ≤ 1.0 | 1.0 < t ≤ 2.0 | t > 2 | | | |
| Z275 | 0 | 0 | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 |
| Z600 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2,5 |

● Observação: As categorias 340 e 550 não possuem exigências específicas para este tipo de propriedade

Tabela 8. Razão entre o diâmetro de curvamento interno e a espessura do item.

5.6 CHAPA DE AÇO GALVANIZADO REVESTIDA COM PRIMER PRODUZIDA EM LINHA REVESTIMENTO CONTÍNUO (CHROMAPREP®)

Processo de Revestimento

CHROMAPREP® é uma marca registrada de chapas de aço galvanizadas por imersão a quente ou laminadas a frio, revestidas com um primer de alta qualidade, flexível, que protege contra corrosão e sem a presença de cromo. O substrato é tratado e limpo quimicamente, para garantir um bom nível de aderência do primer, livre de cromo.

O revestimento possui uma espessura nominal de 4-6 micrômetros e é aplicado através de um sofisticado processo de revestimento por laminação contínua, o que permite controlar a uniformidade do revestimento e espessura da película, dentro de limites muito específicos. Por fim, o revestimento de primer é curado em forno, tornando-se pronto para aplicação de camada exterior de revestimento utilizando os sistemas de pintura para acabamento com maior disponibilidade em nível local. (Consulte tabela 9).

CHROMAPREP® apresenta uma camada de primer, livre de cromo, nos dois lados da

chapa de aço. CHROMAPREP® com um substrato de aço laminado a frio pode ser utilizado em aplicações internas, enquanto CHROMAPREP® com um substrato de aço galvanizado por imersão a quente pode ser utilizado em aplicações internas e externas. No entanto, para usos externos, pretende-se que ele seja utilizado após a aplicação de um revestimento final de tinta.

Propriedades típicas de revestimento de primer

| | |
|---|-----------------|
| Espessura de Película Seca | 4-6 micrômetros |
| Resistência ao calor | Máx. 120°C |
| Resistência à detergentes comuns de base aquosa | Excelente |
| Resistência a solventes leves ⁽¹⁾ | Regular |
| Flexibilidade ⁽²⁾ | 1T |
| Resistência a raios UV ⁽³⁾ | Regular |

(1) Sensibilidade a dissolventes de laca comuns, isto é, cetonas e hidrocarbonetos aromáticos ou clorados, resistentes a aguarrás mineral, nafta solvente, alcoóis desnaturados e parafinas.

(2) Nenhum tipo de falha de revestimento ou perda de aderência quando dobrado em volta de um mandril, com um diâmetro conforme indicado (1 significa a espessura da chapa em mm)

(3) Conforme ocorre com a maior parte dos revestimentos de primer livre de cromo, CHROMAPREP® é sensível à radiação UV, não devendo ser exposto à luz do sol direta por longos períodos de tempo antes da aplicação do sistema final de revestimento. Quando exposto diretamente à luz do sol (radiação UV), o revestimento final deve ser aplicado em até sete dias após o início da exposição.

Tabela 9

Resistência à corrosão

CHROMAPREP® funciona como um bom revestimento de primer que impede a corrosão em casos de pinturas subsequentes. A resistência à fluência decorrente de corrosão é aumentada através do uso de um substrato de aço galvanizado, o que é altamente recomendável para aplicações externas.

Limpeza do revestimento de primer antes da pintura final

As superfícies devem ser limpas, removendo contaminantes através de limpeza com aguarrás mineral natural, nafta solvente ou alcoóis desnaturados, seguida de uma lavagem com detergente aquoso morno e enxaguadura com água limpa. Recomenda-se que os usuários se certifiquem de que os dissolventes ou aglutinantes utilizados sejam compatíveis com o CHROMAPREP®. O revestimento de primer CHROMAPREP® é levemente sub curado, para garantir um bom nível de ligação entre os revestimentos superiores subsequentes. O uso indiscriminado de solventes potentes pode e certamente danificará a aderência do revestimento de primer, o que pode resultar no descascamento prematuro da tinta.

Dissolventes de laca comuns, como hidrocarbonetos clorados ou cetonas (MEK), não devem ser utilizados para fins de limpeza, uma vez que podem afetar a aderência do revestimento externo de epóxi.

Aplicação de revestimentos de tinta

O acabamento de tinta exigido pode ser aplicado por processo normal de pulverização, pulverização sem ar, ou técnicas de escovação. Geralmente, uma camada adicional de primer não é necessária; no entanto, para a maior parte das tintas, é possível obter um nível melhor de ligação entre a superfície CHROMAPREP® e a camada de revestimento exterior, além

de uma superfície pintada de maior qualidade, através da aplicação de um primer ou camada de revestimento intermediária para os sistemas de pintura selecionados.

Dentre os produtos industriais disponíveis atualmente, os seguintes sistemas de pintura podem ser aplicados a CHROMAPREP®: alquídicos, vinis, acrílicos, poliésteres, tintas em pó, esmaltes para secagem em forno, epóxis e poliuretanos.

5.7 CHAPA DE AÇO GALVANIZADO PINTADA E LAMINADA A FRIO PRODUZIDA EM LINHA DE REVESTIMENTO CONTÍNUO (CHROMADEK® OU CHROMADEK® PLUS)

CHROMADEK® é o nome comercial deste tipo de chapa de aço galvanizado pré-pintada. CHROMADEK® é uma camada de revestimento colorida, composta por um substrato Z200 galvanizado por imersão a quente com um primer com espessura de película seca (DFT) de 4 a 6 microns abaixo da camada de revestimento externa e uma única camada de tinta com DTF de 8 microns no lado reverso.

Em seguida, a tinta CHROMADEK® é aplicada a uma DFT de 20 microns na superfície exterior (figura 17).

Os produtos com revestimentos coloridos são revestidos em uma linha de revestimento contínuo com aderência de carepa na superfície dos cilindros de laminação. O processo moderno de revestimento permite o controle dos principais parâmetros de pintura e um rígido controle de qualidade em cada bobina finalizada, garantindo que cada batelada esteja em conformidade com as especificações. É possível obter um excelente nível de aderência e aumentar a resistência à corrosão através do preparo cuidadoso de chapas de metal, de acordo com as condições de fábrica, antes da aplicação de tinta. Os sistemas de tinta são curados em fornos. A aparência estética e a durabilidade de CHROMADEK® não são facilmente obtidas através de sistemas de pintura convencionais.

O revestimento é altamente conformável, proporcionando proteção adicional em condições nas quais a resistência à corrosão demonstrada por chapas galvanizadas não pintadas seja comprovadamente inadequada.

Resistência à corrosão

CHROMADEK® é destinado a exposições em ambientes rurais, com níveis suaves de poluição química e ambientes marítimos moderados. Resultados ideais podem ser obtidos por meio de sua correta aplicação, boa execução de tarefas e de procedimentos de manutenção.

OBSERVAÇÃO: CHROMADEK® não é recomendado para aplicações em ambientes marítimos (áreas a aproximadamente 5 km do mar) ou ambientes industriais onde há acumulação de vapores ácidos potentes. CHROMADEK® PLUS é recomendado para áreas localizadas de 1 a 5 km do mar.

CHROMADEK® PLUS é uma camada de revestimento colorida, composta por um substrato Z275 galvanizado por imersão a quente com uma pré-aplicação de primer em um ou nos dois lados, além de um primer livre de cromo com DFT de 20 a 25 microns. Alternativamente, somente uma superfície é revestida de acordo com o supracitado e a outra superfície é revestida de acordo com a norma CHROMADEK® (DFT de 4 a 6 microns). Depois, a tinta CHROMADEK® é aplicada às duas superfícies, ambas com DFT de 20 microns (figura 17).

O sistema Plus possui excelentes propriedades físicas, excelente flexibilidade, excelente resistência à corrosão, além de excelente resistência à radiação UV (desempenho frente a raios UV).

CHROMADEK® PLUS é recomendado para perfis de construção exteriores em aplicações que exigem um alto grau de plasticidade, de retenção de brilho, de estabilidade de cor e excelente resistência à corrosão. É adequado para ambientes corrosivos, como ambientes industriais e marítimos. Geralmente, ambientes marítimos são definidos como áreas a, no máximo, 1 km do mar (tabela 10).

| PROPRIEDADE | CONDIÇÕES DE ENSAIO | MÉTODO | ESPECIFICAÇÃO | ATRIBUTOS TÍPICOS |
|---|---|----------------------------|--|--|
| Resistência a mudanças de cor | QUV (1000 horas) | ASTM G154 | | $\Delta E < 5$, por exemplo, Gemsbok Sand (cor areia) |
| Resistência à podragem | QUV (1000 horas) | ASTM G154 ASTM D4214 | | Intervalo de Classificação: 1-2 |
| Resistência à corrosão: - Penetração nas arestas - Tamanho de empolas | Borrifo salino (1000 horas) Após 1000 horas Após 1000 horas | ASTM B117 ASTM D714 | $\leq 3\text{mm}$ $\leq 8F$ | $< 2\text{mm}$ $< 8F$ |
| Flexibilidade: ensaio de dobramento | | ASTM D4145 | 3T. Sem perda de aderência | 2T. Sem perda de aderência |
| Flexibilidade: impacto inverso | | ASTM D2794 | Sem fissuras Sem perda de aderência | Sem fissuras Sem perda de aderência |
| Dureza de película | | ASTM D3363 | F - H | F - H |
| Espessura de Película Seca | | NCCA 4.2.2 | 22 μm no mínimo, incluindo primer | 22 μm no mínimo, incluindo primer |
| Brilho a 60° | No momento do revestimento | ASTM D523 | 25 - 35% | 25 - 35% |

Tabela 10. Propriedades do sistema CHROMADEK®.

5.8 MÉTODOS DE FIXAÇÃO

Sistemas mecânicos de fixação, como rebites, parafusos machos, parafusos e porcas, presilhas do fecho de molas e grampos para cercas de arame podem ser utilizados, assim como diversos métodos de costura, incluindo costura macho-fêmea e de caixa/encaixe.

Em áreas onde proteção é necessária, os fixadores devem, quando possível, ser:

- galvanizados por imersão a quente; ou
- fabricados com um material resistente à corrosão; ou
- eletro galvanizados e revestidos com uma camada externa adequada.

Mais informações podem ser encontradas na última versão da norma SANS I273.

Operações de corte, retoque e manutenção

Devem ser evitadas rebarbações ou cortes com abrasivos das estacadas de revestimento CHROMADEK® em aplicações de cobertura. Caso cortes sejam necessários, remova todas as partículas de ferro por meio de escovação intensa com uma vassoura ou escova de cerdas após o corte, para evitar o deslustre da superfície de tinta de CHROMADEK®.

Para realizar cortes in loco em uma chapa, com arestas bem definidas e sem danos à pintura, recomenda-se a utilização de roedoras/cortadores de chapas.

Existem tintas para retoques de secagem ao ar com fórmulas especiais disponíveis. Recomenda-se cuidado para minimizar a aplicação de camadas de tinta em excesso, já que isso pode acentuar defeitos. Geralmente, a resistência a raios UV de tintas de retoque de secagem ao ar é menor que as matrizes de acabamento CHROMADEK®, curadas em fornos. Da mesma forma, retoques de riscos devem ser realizados com um pincel fino, para minimizar camadas de pintura desnecessárias. Caso seja aceitável do ponto de vista estético, recomenda-se que pequenos riscos, resultantes de trabalhos de montagem e manuseios grosseiros, sejam mantidos sem revestimento, já que o substrato galvanizado proporcionará proteção anódica adequada contra corrosão.

A vida útil de uma superfície pintada com CHROMADEK® pode ser estendida e sua aparência pode ser mantida através de lavagens periódicas com água e detergentes suaves, para prevenir a acumulação de quaisquer depósitos corrosivos, especialmente em ambientes industriais poluídos e marítimos.

A extensão de danos causados aos revestimentos de tinta CHROMADEK® são relativamente difíceis de serem avaliados. Em casos nos quais a cor e brilho originais foram mantidos, não há motivos para preocupação. Com relação à secagem adequada da umidade contida entre chapas alojadas de modo compacto, não ocorrerão casos de deterioração adicional. Em áreas nas quais a descoloração e/ou outros sinais de produtos decorrentes de corrosão branca (exceto arestas de cortes) são evidentes, tais chapas devem ser substituídas por novos materiais.

Certas situações podem gerar condições excepcionalmente agressivas para os lados inversos expostos de chapas utilizadas em coberturas. Tais situações incluem

localidades costeiras (isto é, com risco de borrifos salinos e depósitos acumulados nos lados expostos de projeturas), ambientes industriais extremamente poluídos e coberturas de tipo meia-água. Nestas condições, ou em condições similares, pode ser necessária proteção adicional. Isto pode ser obtido ao aplicar CHROMADEK® PLUS nas duas superfícies.

Compatibilidade

A maior parte dos materiais utilizados junto ao aço galvanizado tradicional pode ser utilizada com segurança com CHROMADEK®. No entanto, a água de escoamento proveniente de aço tipo patinável (Cor-Ten), além de produtos de cobre ou chumbo, pode causar manchas; portanto, eles não devem entrar em contato com a superfície pintada.

Proteção de arestas

Geralmente, arestas de corte de chapas CHROMADEK® não apresentam problemas de corrosão, mesmo em áreas costeiras, já que o revestimento galvanizado fornece proteção anódica para o aço exposto. Portanto, pequenos traços de depósitos de cor branca em arestas de corte não devem ser vistos como motivos de preocupação.

5.9 MANUSEIO E PROTEÇÃO DE CHAPAS DE AÇO GALVANIZADAS PRÉ-PINTADAS DURANTE ARMAZENAMENTO

Chapas galvanizadas e chapas galvanizadas pré-pintadas são famosas por apresentar um ótimo desempenho quando expostas a intempéries. Em condições normais e em condições secas-úmidas, como quando chapas galvanizadas são utilizadas como cobertura e como placagem em construções, forma-se naturalmente uma camada de carbonato de zinco/óxido de zinco sobre as superfícies expostas do material, o que aumenta a resistência à corrosão. Em casos de chapas pré-pintadas, o revestimento protetor de tinta oferece uma barreira física adicional contra intempéries.

No entanto, a natureza protetora destes revestimentos pode ser gravemente prejudicada quando submetida a condições úmidas por períodos prolongados de tempo, na ausência de ar. O material se encontra em seu estágio mais vulnerável durante períodos prolongados de armazenamento quando as precauções necessárias não são tomadas.

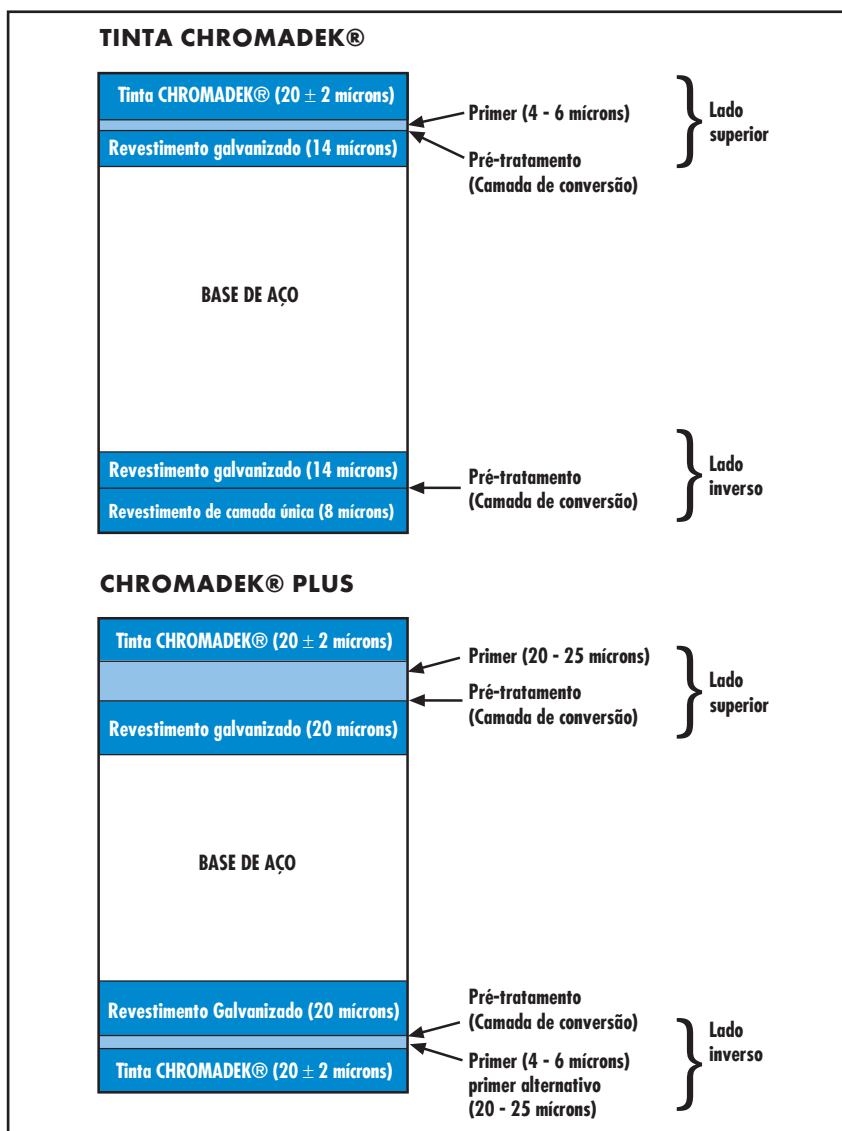


Figura 17.

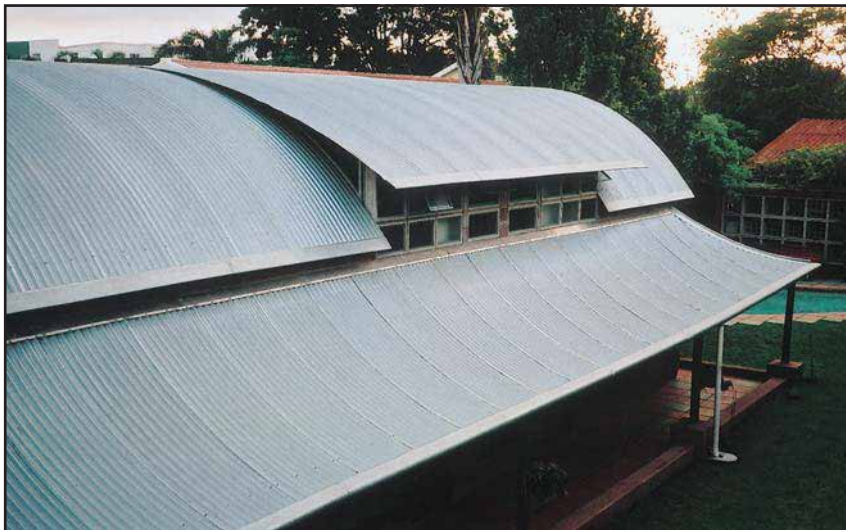


Figura 18. Chapa de aço galvanizado com aleta em S - classificação de revestimento Z600 utilizada para aplicações em arquitetura.

A água da chuva ou vapor d'água pode ser facilmente acumulado entre chapas desempenadas ou hermeticamente perfiladas, ou entre sobreposições de bobinas, através de ação capilar (figura 19).

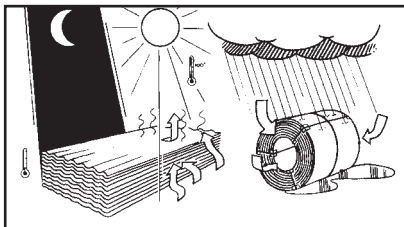


Figura 19.

Devido à falta de circulação livre de ar, a umidade não evapora, resultando em condições desfavoráveis que podem levar a manchas de armazenamento, frequentemente chamadas de ferrugem branca, em chapas galvanizadas. Consulte Avaliação de Ferrugem Branca - tabela 5. Em caso de chapas pré-pintadas, estas condições podem causar descoloração da película de tinta e, em casos extremos, o aparecimento de ferrugem branca, de modo similar ao que ocorre com chapas galvanizadas.

A ferrugem branca pode começar a aparecer logo depois que pacotes ou bobinas de chapas alojados em feixes são expostos a condições de umidade, podendo afetar o tempo estimado para necessidade de manutenção das chapas, a menos que isso seja controlado ainda em seu estágio inicial. O material deve ser completamente seco e exposto a ar com livre circulação, para deter este processo de corrosão (figura 20).

Medidas tomadas para proteger a chapa galvanizada contra danificações causadas por ferrugem branca

A passivação das superfícies de chapas galvanizadas, através de tratamento químico durante o processamento, é uma prática padrão, que tem como objetivo evitar a ocorrência de ferrugem branca. Além disso, as chapas galvanizadas podem ser solicitadas com um óleo especial para proteção, que complementa a passivação e serve para oferecer proteção adicional

durante manuseio e armazenamento.

Apesar destas precauções, as chapas galvanizadas não podem ser totalmente protegidas contra a ferrugem branca, especialmente quando armazenadas de modo incorreto em condições adversas.

Existe um tipo especial de embalagem fornecido para bobinas e chapas desempenadas. Usuários que não possuem as instalações necessárias para temporariamente evitar a entrada de umidade são aconselhados a especificamente solicitar este tipo de embalagem protetora.

Os fabricantes enviam todos os tipos de esforços para garantir que produtos fabricados com chapas galvanizadas sejam despachados em condições de qualidade e secos. Tais produtos, sejam eles despachados em bobinas ou cortados, são embalados, manuseados e carregados sob capas, em veículos nos quais eles são cobertos por lonas impermeáveis ou dosseis.

Armazenamento seguro

Com o objetivo de evitar danos desnecessários a chapas com revestimentos pintados ou galvanizados, medidas adequadas devem ser tomadas para evitar a contaminação por umidade enquanto o material ainda estiver empacotado ou empilhado (figura 20).

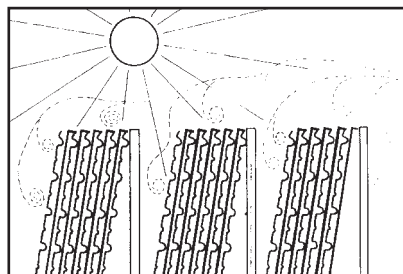


Figura 20.

Caso não tenha uso imediato, as bobinas ou pacotes de chapas devem ser empilhados em local com cobertura adequada, sem contato com o chão e protegidos de chuvas locomovidas pelo vento (figura 21).

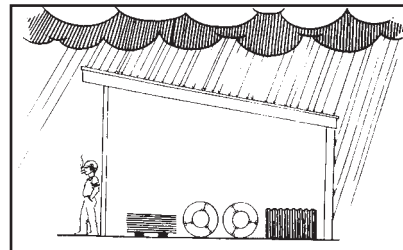


Figura 21.

Lonas impermeáveis de plástico, que envolvem completamente os pacotes de chapas ou bobinas, não devem ser utilizadas, pois uma repentina queda da temperatura ambiente pode levar à condensação de vapor d'água, que pode facilmente acumular entre as chapas, por meio de ação capilar.

O ideal seria que as entregas de chapas de aço com revestimentos pintados ou galvanizados nos locais de construção fossem programadas para que não houvesse um período de armazenamento maior que duas semanas antes da sua instalação. Realize inspeções periódicas no local de armazenamento para garantir que a umidade não penetre nos itens estocados.

Remoção de ferrugem branca

A ferrugem branca deve ser evitada em vez de tratada.

Embora, em casos extremos, a proteção do revestimento possa ser comprometida, os ataques causados pela ferrugem branca são geralmente superficiais, apesar do relativo volume do produto de corrosão. Em áreas nas quais as manchas são suaves e lisas, sem crescimento de camada de óxido de zinco - o que pode ser verificado ao passar suavemente a ponta dos dedos pela superfície - as manchas desaparecerão gradualmente, se misturando à superfície de zinco à sua volta, como resultado do desgaste natural resultante de seu uso.

Quando a área afetada não estiver totalmente exposta durante seu uso, ou em ambientes úmidos, a ferrugem branca deverá ser removida, mesmo que ela se apresente em nível superficial. Isso é essencial para que ocorra a formação da película básica de carbonato de zinco. A formação desta película de carbonato de zinco é necessária para garantir uma vida útil prolongada.

Depósitos simples podem ser removidos através de limpeza com uma escova de cerdas rígidas (e não de arame). Depósitos mais pesados podem ser removidos através de escovação com uma solução de dicromato de potássio ou sódio a 5%, com a adição de 0,1% de ácido sulfúrico concentrado por volume. Alternativamente, também pode ser utilizada uma solução de ácido acético a 10%. Estas soluções são aplicadas com uma escova de cerdas rígidas; elas devem agir por cerca de 30 segundos antes de enxaguar e secar completamente o produto em questão.

A menos que já esteja presente antes do envio, o aparecimento de ferrugem branca não é de responsabilidade do galvanizador. Os clientes devem ter bastante cuidado durante as etapas de transporte e armazenamento para evitar o aparecimento de ferrugem branca.



Galvanização de Arames por Imersão a Quente

O arame para cercas galvanizado por imersão a quente é produzido a partir de um arame de aço de leve, com resistência à tração alta ou muito alta, em uma linha de revestimento contínua, abrangendo recozimento, decapagem com ácido, escorificação, galvanização, limpeza para remover o excesso de zinco e rebobinagem do arame acabado.

6.1 O PROCESSO

Em termos de disposição, o processo é semelhante ao processo contínuo de galvanização por imersão a quente para o revestimento do rolo.

Os revestimentos de zinco no arame são feitos passando-se o arame por baixo de um deslizador imerso em um banho de zinco (figura 22). O deslizador possui diversas áreas de contato que permitem que o zinco fundido e as camadas de liga atuem como lubrificantes para facilitar a passagem do arame.

Entre 20 e 40 cordões individuais passam paralelamente pela fábrica.

Um revestimento nivelado é obtido por meio da limpeza do arame após a galvanização, ajudando a controlar a espessura do revestimento. Os arames geralmente são estirados por meio de uma camada de carvão, gás, cascalho ou nitrogênio e para revestimentos mais finos, utiliza-se fibra sintética.

Para revestimentos com zinco pesados, o tempo que o arame leva para passar pelo zinco fundido é extremamente curto, limitando o crescimento da liga de ferro/zinco. Isto é essencial para que o arame galvanizado possa ser facilmente encurvado para fabricar cercas de arame ou até mesmo produtos como arame farpado. Em outros aspectos, o revestimento galvanizado no arame possui propriedades semelhantes às propriedades dos produtos galvanizados a quente por batelada.

Uma vez que o arame sai da fase de limpeza, exceto em casos específicos de exclusão na ordem dos processos, ele passa pela fase de passivação. Trata-se geralmente da aplicação de dicromato de sódio, necessário para prevenir a incidência de ferrugem branca no arame galvanizado.

A espessura do revestimento está relacionada à espessura do aço processado. Quanto mais espesso o revestimento, mais tempo ele durará em um determinado ambiente.

Duas especificações cobrem a galvanização do arame na África do Sul. A saber, **SANS 675** e **SANS 935:2007**; a **SANS 675** foi adotada em 1993 para incluir somente uma categoria de revestimento. A última especificação

inclui três categorias das quais somente a categoria 1 é equivalente à **SANS 675** em termos de espessura de revestimento (tabela 11).

As falhas no material para cercas nem sempre se devem à falha no revestimento de zinco e muitas vezes ocorrem quando seleciona-se um determinado arame de resistência à tração imprópria (tabela 14). Durante a montagem, também podem surgir danos ao revestimento, o que resulta em corrosão localizada e ferrugem caso ferramentas inadequadas sejam utilizadas.

No tempo devido, o arame que atende a esses padrões exibirá mudanças nas propriedades mecânicas, se comparado com o arame recém-revestido por zinco. As mudanças devido a envelhecimento após deformação ou encruamento por envelhecimento após deformação a frio geralmente resultam em um aumento na resistência à tração e em uma redução no alongamento.

Aderência do revestimento de zinco

Teste a aderência do revestimento de zinco utilizando um arame com comprimento adequado e fazendo, no mínimo, 6 voltas ao redor de um mandril. Escolha a proporção do diâmetro do mandril com o diâmetro do arame conforme a tabela 12.

Quando o teste é realizado conforme a instrução acima, o revestimento permanecerá firmemente aderido ao arame de aço subjacente e não trincará ou soltará lascas de forma que qualquer lasca de revestimento pode ser removida com o esfregar dos dedos. O desaperto ou desprendimento de partículas pequenas e superficiais de zinco durante o teste, formadas por polimento mecânico da superfície do arame revestido de zinco, não deverá considerado causa para rejeição. Durante o teste, pequenas partículas de zinco, formadas como glóbulos na superfície através do revestimento de zinco, poderão se soltar ou se desprender. Isso também não deve ser considerado uma causa para rejeição, desde que não haja pontos expostos (aço exposto).

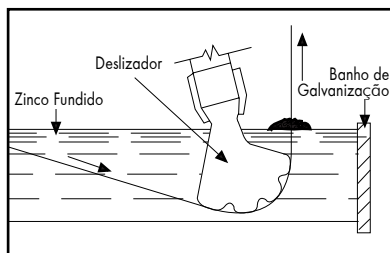


Figura 22. Corte transversal de plano mostrando a montagem e posicionamento do deslizador.

Diâmetro do arame revestido com zinco

Exceto no caso de arame oval, o corte transversal do arame será circular. O(s) diâmetro(s) nominais do arame revestido com zinco estará na faixa determinada na coluna 1 da tabela 13, conforme necessário. O(s) valor(es) reais (medidos) do(s) diâmetro(s) será(ão) igual(is) ao(s) valor(es) nominal(ais), sujeito a tolerância própria determinada na coluna 2 da tabela 13.

6.2 ASPECTOS PRÁTICOS

Tipos de arame

Cerca de 50% do custo do material de uma cerca encontra-se no componente do arame. Por conseguinte, é importante selecionar o tipo de arame adequado para uma determinada aplicação, com o custo mais acessível possível.

Existem dois tipos básicos de arame disponíveis na África do Sul, a saber:

1. Arame macio ou liso
2. Arame de aço de alta tensão

Esses arames diferem na composição química, propriedades físicas e no desempenho quando aplicados em cercas.

Carga de ruptura

A carga de ruptura é a carga máxima que um arame pode suportar antes de romper. A carga de ruptura é expressa em kN (kilonewton), onde um kN é equivalente a uma força de 101,793 kg.

Elasticidade

Um arame de cerca se porta de maneira elástica até uma determinada carga. Ele pode esticar quando uma carga é aplicada, e então retornar ao seu comprimento original quando a carga se descontrai.

Limite elástico

Após uma determinada carga ter sido aplicada ao arame, o arame chegará a um ponto em que não retornará a seu comprimento inicial. (isto é, ele foi esticado).

O limite de carga é denominado limite de escoamento ou limite elástico. O limite de escoamento de qualquer tipo de arame pode ser considerado como aproximadamente 75% da carga de ruptura.

A porção de alongamento produzida pela mesma carga dependerá do diâmetro do arame. Sendo assim, arames mais finos se alongarão mais do que arames mais espessos, tendo uma maior elasticidade.

Isto também significa que arames mais finos perderão menos tensão do que arames mais espessos.

Comprimento de deformação

O comprimento de deformação terá efeito direto sobre a quantidade de tensão que será acumulada em um arame depois de deformado. Quanto maior a deformação, menor será a tensão perdida. Como um guia para cercas deformadas com uma tensão semelhante sob condições semelhantes, se uma for duas vezes maior que a outra, a perda de tensão será reduzida pela metade. Da mesma maneira que ocorre para uma cerca com metade do comprimento, a perda de tensão será duplicada.

Efeito da temperatura em arame de cerca

O arame é prejudicado por variações na temperatura. Conforme a temperatura cai, o arame se contrairá, aumentando a tensão no mesmo, e conforme a temperatura aumenta, o arame se expandirá, diminuindo a tensão. A mudança no comprimento é semelhante para todos os tipos de espessuras de arame; no entanto, a mudança resultante na tensão depende do alongamento do arame, diferindo, assim, de arames com diâmetros diversos.

É o aumento na tensão, devido ao clima frio, que causa os principais problemas em cercas.

Com temperaturas frias, a cerca se contrairá e a tensão no arame e nos postes tensores aumentará. Isso pode resultar no movimento do poste tensor e, quando as temperaturas aumentarem, os arames se afrouxarão.

Se esses fatores forem considerados, as variações de temperatura devem ser levadas em conta, se necessário. Como os arames mais finos possuem uma taxa maior de alongamento, eles não serão prejudicados da mesma forma que arames mais espessos.

Para cada 5 graus C acima ou abaixo de 15 graus C, subtraia ou adicione as seguintes tensões de deformação de uma cerca.

4,00mm - 200 Newtons

3,15mm - 100 Newtons

2,50mm - 50 Newtons

Revestimentos de proteção

Todos os arames de cerca são galvanizados por imersão a quente. O zinco resiste à corrosão melhor do que o aço, mas, sob condições naturais, ele é corroído no lugar do aço. Este processo é conhecido como corrosão anódica.

Nele, o zinco se corrói completamente antes que a corrosão do aço se inicie; desta maneira, a vida útil do arame pode ser dividida em dois componentes distintos: a vida útil do revestimento de

zinco e a vida útil do aço.

As taxas de corrosão variam de maneira considerável. As áreas costeiras podem ser muito mais corrosivas do que as áreas no interior; em contrapartida, o ambiente em áreas industriais pode ser mais agressivo do que em áreas costeiras.

A vida útil do revestimento de zinco é diretamente proporcional à espessura do revestimento, independentemente da espessura do arame. Consulte o Capítulo 12.

A maioria dos galvanizadores de arame fornecem dois tipos de revestimentos galvanizados para prevenir a corrosão:

- Levemente Galvanizado
- Extremamente Galvanizado

O arame extremamente galvanizado possui três vezes mais zinco que os produtos levemente galvanizados. Portanto, os produtos extremamente galvanizados terão uma vida útil muito maior do que os produtos levemente galvanizados. Os revestimentos extremamente galvanizados são muitas vezes especificados para arames de aço de alta deformação, uma vez que o arame é mais fino e possui uma massa menor de aço.

Os revestimentos extremamente galvanizados devem sempre ser especificados para áreas onde sabe-se que a corrosão é um problema em situações excepcionalmente corrosivas, como condições marítimas ou em áreas onde o sal moído prevalece, tais como gabiões, entre outros; mesmo o aço extremamente galvanizado poderá ter uma vida útil relativamente curta.

Expectativa de vida útil

A expectativa de vida útil do arame galvanizado é prejudicada por diversos fatores, sendo um deles a espessura do revestimento. Consulte também o Capítulo 12.

Danos resultantes de incêndios ao arame

Ao comparar o desempenho de diferentes arames in loco, é importante que as circunstâncias sejam semelhantes em cada aspecto.

Estudos internacionais realizados nessas condições indicam que:

- Temperatura, tensão e os diâmetros do arame são os principais fatores envolvidos.
- Temperatura do fogo menor que 400 graus C não prejudicam o desempenho de qualquer arame.
- Podem-se esperar menos falhas em arames macios e mais espessos, devido ao fato de as tensões serem provavelmente menores.
- A tensão de qualquer tipo de arame

| 1 | 2 | 3 |
|--|--|--|
| Diâmetro nominal de arame revestido com zinco mm | Mínimo massa por unidade área de zinco revestimento g/m² | Aproximado equivalente média espessura μm |
| 1,20 - 1,50 | 215 | 30 |
| 1,51 - 1,80 | 230 | 32 |
| 1,81 - 2,20 | 245 | 34 |
| 2,21 - 2,50 | 260 | 36 |
| 2,51 - 3,50 | 275 | 38 |
| 3,51 - 5,00 | 290 | 40 |

Tabela 11 - Área em massa por unidade do revestimento de zinco para SANS 675 e SANS 935 categoria 1. (Arame extremamente galvanizado).

| Dimensões em milímetros | | |
|-------------------------|-----------------|---------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| Diâmetro do arame d | | Diâmetro da mandril |
| Acima | Até e incluindo | |
| - | 3,8 | 4 d |
| 3,8 | 5,0 | 5 d |

Tabela 12 - Diâmetro do mandril.

| Dimensões em milímetros | |
|-------------------------|------------|
| 1 | 2 |
| Faixa de diâmetro | Tolerância |
| up to 1,80 | 0,05 |
| 1,81 - 3,00 | 0,08 |
| 3,01 - 5,00 | 0,10 |

Tabela 13 - Tolerância sobre o diâmetro.

| 1 | 2 |
|----------------------|--------------------------|
| Categoria do Aço | Resistência à Tração MPa |
| Leve (L) | 350 - 575 |
| Alta Tensão (HT) | 1 050 min. |
| Extrema Tensão (VHT) | 1 400 min. |

Tabela 14 - Resistência à tração de arame galvanizado.

não deve exceder 1,3 kN (132kg) em áreas de alto risco de incêndio.

- Arames de aço de alta tensão, mais finos, exigem menos calor para aumentar sua temperatura a níveis essenciais.

Para reduzir o risco de danos resultantes de incêndios decercas, mantenha a vegetação longe da cerca e nivele ou limpe as vias ao longo de cada cerca. Isto também torna as cercas mais acessíveis para manutenção e verificação.



Reações Entre ferro e Zinco

Um revestimento galvanizado por imersão a quente é formado por meio da interação entre o ferro e o zinco fundido, com a formação de uma série de ligas de ferro/zinco que metalurgicamente ligam o revestimento ao substrato. Normalmente, essas ligas são revestidas com uma camada de zinco relativamente puro, exibindo a aparência prateada associada ao revestimento galvanizado por imersão a quente. Embora, na maioria dos casos, o aço adequadamente limpo imerso em zinco fundido exibirá uma aparência prateada, esses são casos em que o aço reativo produz revestimentos mais espessos do que o normal, além de esteticamente menos atraentes. A Figura 23 mostra uma microfotografia da estrutura típica de um revestimento galvanizado por imersão a quente.

Fatores que influenciam a espessura e a estrutura metalúrgica de um revestimento galvanizado por imersão a quente.

Os fatores que determinam a espessura geral e as propriedades metalúrgicas de um revestimento galvanizado por imersão a quente são: a composição e a metalurgia do aço, a temperatura do zinco, o tempo de imersão, adições de liga ao zinco, a taxa de retirada do artefato do zinco fundido, condição da superfície e espessura do aço.

7.1 COMPOSIÇÃO E METALURGIA DO AÇO

A alta reatividade durante a galvanização dos aços simples tem sido observada por mais de meio século. Devido a mudanças na prática de fabricação do aço e, mais especificamente, com a introdução da fundição contínua, a frequência desse fenômeno atualmente é maior. Com o processo de fundição contínua, silício ou alumínio é acrescentado ao aço como agentes desoxidantes. Esses aços são, respectivamente, conhecidos como aço acalmado com alumínio e aço acalmado com silício. Embora as adições de alumínio ao aço não tenham efeito sobre a estrutura e espessura de um revestimento galvanizado, o mesmo não pode ser dito para o silício, o qual tem sido bem documentado por anos como a principal causa de crescimento elevado da camada de liga durante uma galvanização por imersão a quente.

Aços acalmados com alumínio

Quando o aço acalmado com alumínio é imerso em zinco fundido, a liga inicial de ferro/zinco produzida impede o crescimento de novas camadas de liga. Por conseguinte, revestimentos mais finos são produzidos (figura 26).

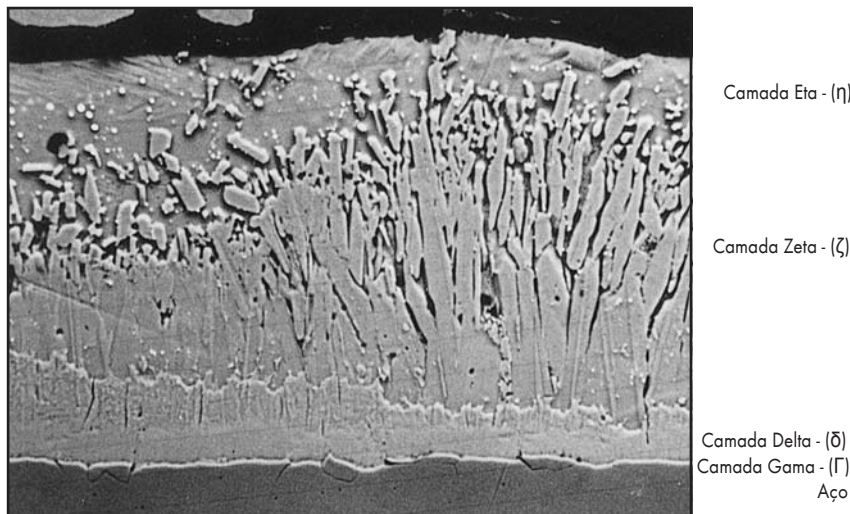


Figura 23. Corte transversal da camada de zinco formada por galvanização por imersão a quente em um aço relativamente reativo.

Camada Eta com 0,03% Fe; camada Zeta com 5,8 - 6,7% Fe; camada Delta com 7 - 11,5% Fe; camada Gama com 21 - 28% Fe.

Quando o zinco presente na camada externa se solidificou, a superfície se torna plana e assume um brilho metálico levemente azulado. Em alguns casos, principalmente se tratando de chapas finas, o zinco pode se solidificar na forma de cristais aleatoriamente pontiagudos, que dão à superfície um acabamento nítido em "flor de zinco".

O acabamento em flor de zinco é uma forma específica de formação em

cristais, que depende de fatores como índice de solidificação. Não há indicação de galvanização por imersão a quente de boa ou má qualidade. Além disso, o acabamento em flor de zinco não possui significância nenhuma para a resistência à corrosão do revestimento de zinco.

Na galvanização contínua por imersão a quente da chapa, é possível controlar o tamanho da flor de zinco (Capítulo 5). Porém, isto não é possível na galvanização por imersão a quente em geral.

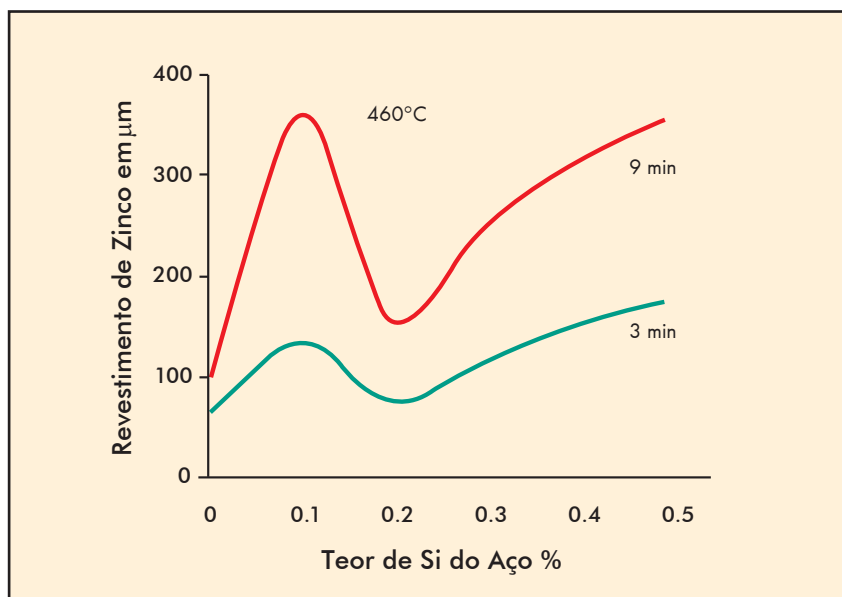


Figura 24. Relação entre o teor de silício de aço e a espessura do revestimento de zinco para um tempo de imersão de 3 e 9 minutos a 460°C. A curva é uma curva média. Podem ocorrer variações significativas entre os aços com o mesmo teor de Si, porém de diferentes cargas. A reatividade alta é entre 0,05 e 0,15% de Si. Isto é denominado Efeito Sandelin.

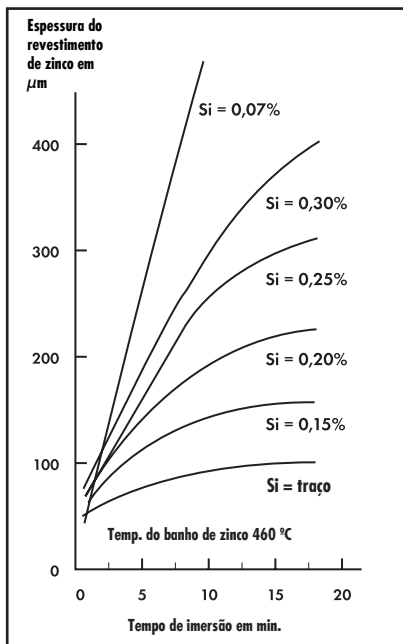


Figura 25. Relação entre o tempo de imersão e a espessura do revestimento de zinco em aços com diferentes teores de silício. As curvas são curvas médias, baseadas nos experimentos e experiência prática. Podem ocorrer variações significativas entre os aços com o mesmo teor de silício, porém de diferentes cargas.

Aços acalmados com silício

O componente do aço que possui a influência mais poderosa sobre a reação entre o ferro e o zinco é o silício (Si). Na fabricação do aço, acrescenta-se o silício durante o processo para remover o oxigênio.

O silício influencia a reação entre o zinco e o ferro de tal forma que os cristais na camada externa da liga (a fase zeta) se formam como pequenos grãos (figura 27) ou cristais longos (figura 28).

O zinco do banho é capaz de penetrar quase que totalmente na superfície do aço. A reação não é demorada, mas permanece rápida durante o período no qual o artefato está imerso no zinco. Portanto, a espessura do revestimento aumenta consideravelmente com tempos de imersão mais prolongados (consulte Relação entre o tempo de imersão e a espessura do revestimento do zinco em aços com diferentes teores - figura 25) e o revestimento geralmente se torna relativamente espesso.

Deve-se observar que a estrutura da camada de liga descrita acima não significa que o revestimento será "poroso" ou repleto de cavidades. O espaço entre os cristais de liga é sempre preenchido com zinco puro. Por essa razão, no caso de aços acalmados com silício, obtém-se o mesmo revestimento metálico compacto obtido em aços acalmados com alumínio.

A influência do silício, porém, não aumenta linearmente com a concentração elevada, mas segue as curvas mostradas na figura 24, que

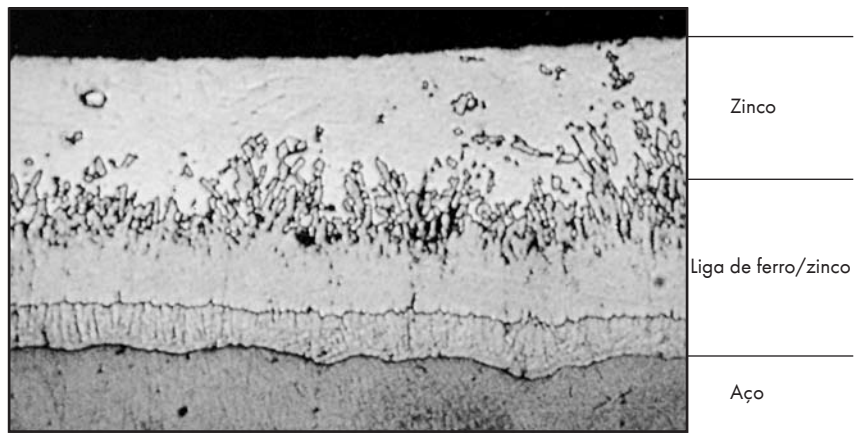


Figura 26. Corte transversal através do revestimento de zinco no aço acalmado com alumínio.

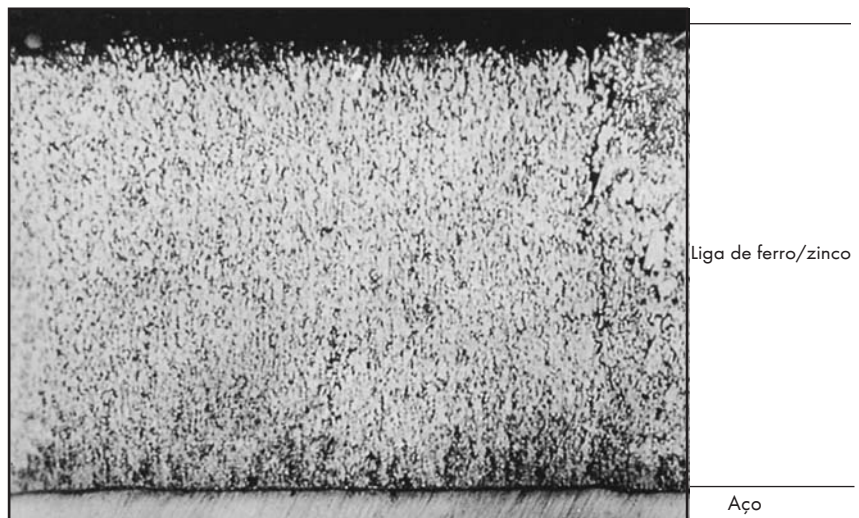


Figura 27. Corte transversal através do revestimento de zinco no aço acalmado com silício com 0,06% de Si.

Galvanização por imersão a quente realizada a 460°C

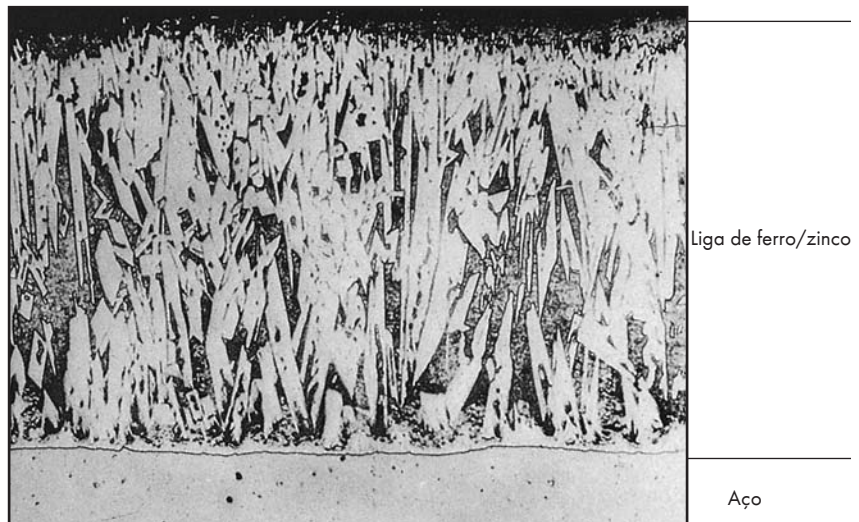


Figura 28. Corte transversal de um revestimento no aço acalmado com silício com 0,26% de Si.

Galvanização por imersão a quente realizada a 460°C

fornece somente valores típicos.

A curva Sandelin tem sido mal interpretada por algumas pessoas; ela indicaria que a alta reatividade na galvanização resulta da presença do silício com um pico reativo entre 0,05 e 0,15% de Si.

Nos últimos anos, o importante papel

desempenhado pelo fósforo também foi reconhecido na combinação com o silício ou sozinho. Afirmou-se que a influência do fósforo como um acelerador é de igual importância ao silício na reação ferro-zinco.

Parece que o fósforo suprime a

formação da camada delta mas estimula o crescimento da fase zeta, enquanto a camada gama se torna descontínua. Esta observação é confirmada por estudos práticos, que mostraram que um revestimento excessivamente espesso e frágil causado por um alto teor de fósforo no aço (>0,02%) está propenso à delaminação em sua totalidade a partir do substrato do aço. Por outro lado, os revestimentos propensos à escamação, devido principalmente ao teor de silício reativo do aço, são parcialmente desprendidos na proximidade da superfície de contato zeta/delta, resultando na não exposição do substrato de aço. O revestimento aderente restante pode variar em espessura, de cerca de 15 µm a até 40 µm.

É por esta razão que galvanizadores que processam aço reativo espesso podem, até certo grau, evitar a possibilidade de uma formação total de revestimento de liga de ferro/zinco por meio de têmpera imediata em água. Deve-se considerar que a têmpera imediata pode aumentar a distorção em artefatos que são propensos a essa condição.

A formação de liga de ferro/zinco, portanto, se estende à superfície do revestimento, que apresenta, então, uma aparência fosca, de aspecto áspero e cor cinza-claro a cinza-escuro. A cor é determinada pela proporção de cristais de ferro/zinco misturados a zinco puro na superfície externa do revestimento - quanto mais puro o zinco, mais clara a superfície; quanto maior o teor de ferro/zinco, mais escura será a superfície.

A soldagem do aço não reativo com o aço reativo pode resultar em duas espessuras diferentes de revestimento quando o artefato não é galvanizado por imersão a quente (figura 29). Para obter uniformidade no revestimento, tanto na aparência quanto na espessura do revestimento e, portanto, resistência à corrosão, aços semelhantes devem ser selecionados para o mesmo produto.

Revestimentos galvanizados por imersão a quente desgastados

Em locais onde acontece a exposição de cristais de liga de ferro/zinco, a superfície externa do revestimento ocasionalmente mostra sinais de ferrugem após alguns anos em operação. Isto não necessariamente significa uma indicação de que o revestimento tenha sofrido corrosão. Existem proteções invariavelmente apropriadas para o aço subjacente (consulte figuras 30 e 31, *Descoloração Marrom-Avermelhada*).

Muitas vezes, uma superfície galvanizada por imersão a quente não apresenta uma cor cinza uniforme, mas uma aparência descolorada com uma mistura de cinza fosco e áreas brilhantes. Os motivos para isso podem ser diversos

| CLASSIFICAÇÃO | TEOR DE SILÍCIO (% de massa) | TEOR DE FÓSFORO (% de massa) | REATIVIDADE DO AÇO | APARÊNCIA DO REVESTIMENTO |
|--------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--|---|
| 1 (figura 36) | 0 – 0,035 | 0 – 0,025 | Geralmente normal, porém ocasionalmente baixa | Poucos defeitos. Revestimentos finos ocasionais que estão abaixo da especificação |
| 2 (figuras 37 e 38) | 0 – 0,04 | 0,025 – 0,035 | Geralmente normal. | Defeitos localizados devido a erupções de liga zeta. (por exemplo, bolhas ou efeito "casca de árvore", especificamente em seções tubulares ou curvadas) |
| 3 (figura 39) | 0 – 0,04 | >0,035 | Alta, principalmente com teor alto de fósforo | Defeitos evidentes na superfície com alta tendência a esfoliação |
| 4a (baixo fósforo) (figura 40) | 0,04 – 0,135 | <0,01 | Moderada, elevada com teor de silício | Pode parecer normal com poucos defeitos |
| 4b (alto fósforo) (figura 41) | 0,04 – 0,135 | 0,01 to 0,03 | Alta | Geralmente poucos defeitos |
| 5a (baixo fósforo) | 0,135 – 0,35 | <0,03 | Alta, mas geralmente trata-se de revestimento mais fino do que na categoria 5b | Pode parecer normal com poucos defeitos |
| 5b (alto fósforo) | 0,135 – 0,35 | >0,03 | Alta | Tendência a esfoliação, principalmente com alto teor de fósforo |
| 6 (figura 42) | >0,35 | >0 | Alta e aumenta de acordo com o teor de silício | Tendência a esfoliação, elevada com teor de fósforo |

Tabela 15. Classificação de reatividade para aços. A aparência do revestimento pode ser enganosa. Ao especificar o aço para certas aplicações, como para finalidades arquitetônicas, as informações sob o título "Reatividade do Aço" devem ser consideradas; ou seja, alta reatividade pode ser considerada como um atributo pouco aceitável esteticamente.

- a concentração de silício (principalmente), fósforo e enxofre ou outros elementos presentes na superfície do aço; tensões na superfície do aço; o tratamento térmico e a estrutura do aço - todos esses fatores influenciam a sequência de reações. Até mesmo o processo de resfriamento após a galvanização influencia sua aparência.

Os cristais zeta tendem a se desenvolver em certos ângulos a partir da superfície do aço. Portanto, em superfícies planas e côncavas, os cristais se desenvolvem sem prejudicar uns aos outros. O metal fundido é capaz de penetrar entre os cristais e promover o crescimento. Em superfícies côncavas, declividades e depressões, no entanto, os cristais bloqueiam uns aos outros e inibem o crescimento.

Vale ressaltar que a chapa contínua e os processos com arame diferem radicalmente do processo geral de galvanização, principalmente em termos de tempo de imersão. O tempo de imersão desempenha um papel importante na determinação da estrutura final e na espessura do revestimento.

A partir de pesquisa realizada pela International Lead Zinc Research Organization (ILZRO), estabeleceram-se as classificações de reatividade descritas na tabela 15. As categorias presentes na tabela demonstram as influências distintas e combinadas do silício e do fósforo no mecanismo através do qual o revestimento galvanizado por imersão a quente é formado. Foram identificadas seis categorias. As

conclusões obtidas são baseadas nos variados tempos de imersão a uma temperatura de zinco de 455°C.

Categoria 1. Esta categoria trata do aço recomendado para galvanização por imersão a quente quando a aparência estética é importante, como aplicações arquitetônicas e estruturas altamente visíveis como postes de iluminação e mobília de rua. Esses aços são também os mais adequados para estrutura que, por natureza, exigem longos períodos de imersão no zinco (figura 36).

Categoria 2. Esta categoria proporciona revestimentos com uma aparência razoável, desde que os períodos de imersão não sejam prolongados. Esta categoria poderá apresentar erupções locais frequentes de revestimento reativo - bolhas, estriamento ou efeito de casca de árvore, resultando num revestimento localizado com até 500 µm de espessura. As seções tubulares ou curvadas apresentam esses efeitos com teores menores de Si e P (figuras 37 e 38).

Categoria 3. Esta categoria fornecerá revestimentos grossos e espessos com uma pequena ou nenhuma camada eta (zinco puro). A fraca aderência se dará quando tempos de imersão prolongados forem pertinentes. Apresenta defeitos de superfície frequentes; aparência fraca e facilmente danificada. Com níveis de fósforo maiores que 0,02%, não é possível atingir um revestimento aceitável em tempos de imersão normais (figura 39).

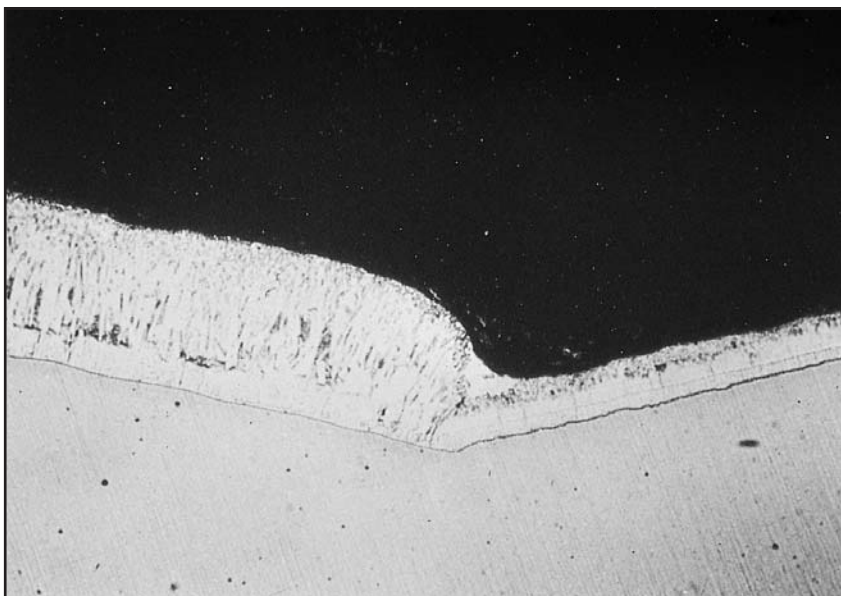


Figura 29. A microfotografia mostra a espessura do revestimento galvanizado por imersão a quente de dois aços diferentes soldados juntos.



Figuras 30 e 31 Muitas vezes, o revestimento galvanizado por imersão a quente não apresenta uma cor cinza uniforme, mas uma aparência descolorada com uma mistura de cinza fosco e áreas brilhantes. Sinais de ferrugem vermelha após diversos anos em operação não são necessariamente uma indicação de que o revestimento foi corroído.

Categorias 4a, 4b e 5a. Essas categorias são apropriadas para revestimentos pesados (espessura do revestimento maior que $105\mu\text{m}$). Nessas categorias, os revestimentos podem desenvolver uma tendência à fragilidade e escamação quando danificados, se o contato do aço com o zinco fundido for maior do que cinco minutos (figuras 40 e 41).

Categorias 5b e 6. Essas categorias não são recomendadas para galvanização por imersão a quente, exceto quando os períodos de imersão podem ser mantidos entre dois e três minutos. Isto geralmente não é prático em uma linha de produção (figura 42).

Algumas outras conclusões obtidas a partir dessa pesquisa que desfazem as concepções erradas anteriores são

apresentadas abaixo:

- Os teores de silício e fósforo são, juntos, os fatores mais importantes ao influenciar a alta reatividade na galvanização por imersão a quente.
- Outros elementos em aços de qualidade comercial possuem uma influência menor na formação do revestimento galvanizado por imersão a quente.
- A análise bruta do aço pode ser corretamente usada para prever o tipo e a espessura de um revestimento galvanizado por imersão a quente.
- Não existem provas de que a alta reatividade é causada pela separação de elementos na superfície do aço.

- A decapagem, desmoldagem, regalvanização ou limpeza por jateamento com abrasivos alterará a estrutura do revestimento; porém, esses fatores podem aumentar a espessura do revestimento.

7.2 TEMPERATURA DO ZINCO

A reação entre o ferro e o zinco fundido é influenciada pela temperatura do zinco. O ferro é dissolvido por difusão, resultando no desenvolvimento das camadas de liga na superfície do aço. A formação das ligas cria uma barreira entre o zinco e o ferro, retardando o índice de difusão.

Com temperatura elevada de cerca de 485°C , a difusão é acelerada lentamente, causando um aumento lento, mas constante, na espessura do revestimento, obedecendo à lei parabólica de tempo. Acima de 485°C , até cerca de 530°C , o desenvolvimento do revestimento é mais ou menos linear com o tempo (independentemente da composição do aço), período após o qual a reação é revertida a uma lei parabólica de tempo (figura 32).

Com uma temperatura do zinco em torno de 510°C , a reação entre o zinco líquido e o aço é tão severa que um banho de galvanização do aço fabricado a partir de uma chapa de 50mm de espessura se perfurará dentro de 60 dias. A vida normal de um banho a temperaturas abaixo de 460°C é de seis ou sete anos.

A galvanização normal é realizada a temperaturas abaixo de 460°C . Não se recomenda a galvanização por imersão a quente a temperaturas que excedam 470°C .

Na faixa de temperatura de galvanização normal (440°C a 460°C), pode-se obter uma redução no crescimento da camada de liga por um determinado período de imersão por meio da galvanização a menor temperatura possível em caso de aços reativos. A Figura 33 ilustra o efeito da temperatura na espessura do revestimento em relação à curva de reatividade de Sandelin. A galvanização em temperaturas abaixo de 438°C não é prática, por estar muito próxima ao ponto de fusão do zinco ($419,5^\circ\text{C}$).

7.3 TEMPO DE IMERSÃO

O grau até o qual o tempo de imersão influencia o desenvolvimento do revestimento a temperaturas de galvanização normal é determinado pela composição do aço. A temperaturas mais elevadas ($>485^\circ\text{C}$), todos os aços reagem mais ou menos de maneira semelhante. No caso dos aços acalmados com alumínio com baixos teores de Silício e Fósforo, períodos prolongados de imersão a temperaturas normais de galvanização resultam somente em um leve aumento na espessura final do revestimento; por exemplo, se a espessura de um revestimento de $85\mu\text{m}$ é obtida a uma certa temperatura de zinco em 5 minutos,

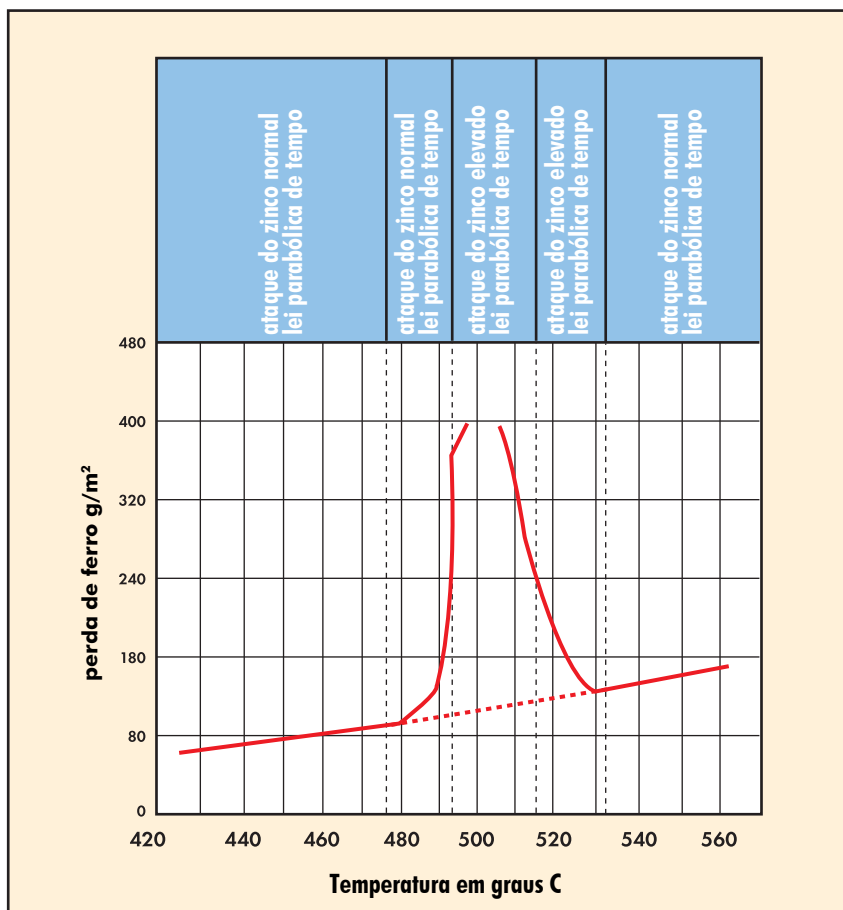


Figura 32. Influência da temperatura na difusão do ferro no zinco fundido.

dobrar o tempo de imersão para 10 minutos provavelmente não aumentará a espessura do revestimento para mais do que aproximadamente 10 μm . Por outro lado, com aços propensos à galvanização de alta reatividade (níveis reativos de Si e/ou P), a espessura final do revestimento pode aumentar de 50 a 100% em períodos de imersão semelhantes.

Quando possível, reduzir o tempo de imersão é o método mais prático disponível para que galvanizadores evitem o desenvolvimento excessivo de revestimento. A principal dificuldade surge com estruturas em que a configuração exige manipulação durante o banho de zinco fundido, principalmente no caso de componentes tubulares em que o zinco deve penetrar e revestir superfícies internas e, então, escoar durante a retirada. Recomenda-se o uso de orifícios de purga e enchimento calibrados ao fabricar uma estrutura tubular. O não cumprimento desse requisito frequentemente faz com que períodos prolongados de imersão sejam inevitáveis.

7.4 ADIÇÕES DE ELEMENTOS DE LIGA AO ZINCO FUNDIDO

Alumínio

A presença do alumínio no zinco fundido retarda a formação inicial de ligas de Fe/Zn, mesmo em concentrações baixas

(0,007%). Quando os ciclos de imersão prolongados são inevitáveis, a influência do alumínio no desenvolvimento do revestimento não é eficaz, embora ela possa melhorar a aparência da superfície.

Os aditivos de alumínio causaram um impacto positivo na galvanização de fita contínua. Chapas finas com revestimentos que possuem ligas de alumínio já estão comercialmente disponíveis sob diversos nomes comerciais há diversos anos. Elas possuem diferentes níveis de alumínio e outros aditivos. Revestimentos semelhantes aplicados através do processo de galvanização geral necessitam de fundentes especiais, tendo obtido sucesso limitado.

Níquel

Adições de 0,06% de níquel podem retardar formações excessivas de liga, mas o níquel é somente uma solução parcial. Embora ele controle a estrutura e a espessura do revestimento para aços que contêm menos de 0,2% de Si, ele falha ao controlar o desenvolvimento da liga em aços com um teor maior de silício (figura 34). O conceito níquel-zinco também pode resultar em espessuras abaixo do nível mínimo especificado no caso de revestimentos aplicados a aços menos reativos.

Aparentemente, o níquel não retarda a reação zinco-ferro; em vez disso, a

liga é liberada no zinco fundido à medida que se forma. O resultado é uma formação de drosses no banho de galvanização.

Vanádio e titânio

Pesquisas recentes mostraram que as adições de vanádio e titânio ao zinco fundido no banho galvanizador podem resolver o problema da galvanização de aço reativo. Os revestimentos produzidos consistem em microestruturas com camadas uniformes semelhantes às encontradas em revestimentos de aços não reativos.

Os aspectos negativos desse desenvolvimento são um aumento de aproximadamente 25% no custo do metal (o qual poderia ser contrabalanceado, de certa forma, através do consumo reduzido de zinco) e um aumento significativo na formação de óxidos na superfície do zinco fundido no banho de galvanização.

7.5 A TAXA DE RETIRADA DO ARTEFATO DO ZINCO FUNDIDO

O princípio de uma boa galvanização é a rápida imersão e a lenta retirada. Por exemplo, se um artefato é retirado a 3,0 m/minuto em vez de 1,0 m/minuto, a espessura do revestimento resultante será aproximadamente 30% maior, à medida que o zinco fundido é retirado do banho.

7.6 CONDIÇÃO DA SUPERFÍCIE

Variações na rugosidade da superfície do aço levam a variações na espessura do revestimento. Quanto mais rugosa for a superfície, mais espesso será o revestimento. Dependendo do tipo de aço e do perfil da superfície, tratamentos da preparação como jateamento com abrasivos podem resultar em um revestimento entre 15 e 25% mais espesso. O aço que foi severamente atacado por ferrugem ou decapado sem inibidores também resulta em uma espessura elevada de revestimento.

7.7 ESPESSURA DO AÇO

A espessura do aço influencia a espessura do revestimento - quanto mais fino o aço, mais fino o revestimento. Isto se aplica principalmente aos aços acalmados com silício. Um dos motivos para tal se deve ao fato de os artefatos fabricados de aços mais finos geralmente necessitarem de períodos de imersão mais curtos. Por esta razão, quando os aços reativos mais finos são soldados a aços mais espessos não reativos, revestimentos excessivamente mais finos poderão aparecer no aço mais fino. Esse revestimento mais fino pode ser esteticamente mais aceitável e propenso à fragilidade, consequentemente levando a possíveis danos, principalmente nas extremidades. O manejo, a laminação e o tratamento térmico do aço podem variar, levando a diferentes reações no banho de zinco.

A composição do banho de zinco não pode apresentar variações na

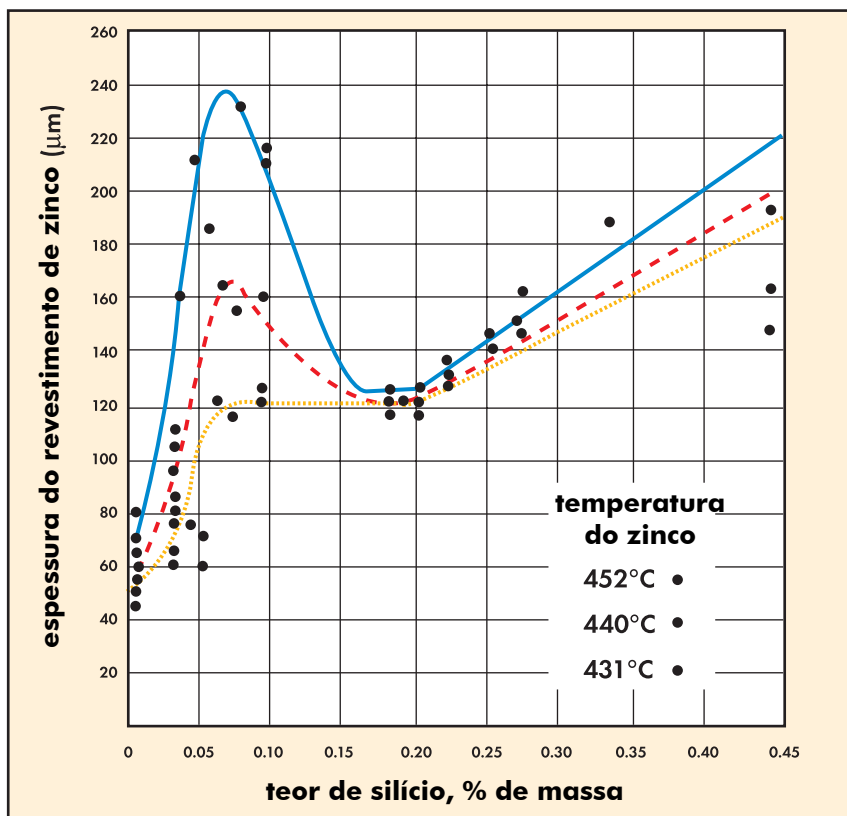


Figura 33. Efeito da temperatura do banho sobre a Tradicional Curva de Sandelin.

galvanização por imersão a quente comum. O zinco utilizado para galvanização por imersão a quente normalmente contém um mínimo de 98,5% de zinco. O Zn2 com pureza de 99,95% também é muito utilizado. Quanto o zinco de alta pureza é utilizado, um pouco de grafite (máx. 1%) e alumínio (máx. 0,007%) são acrescentados ao banho por razões técnicas. Consulte as normas SANS 20 e ISO 752.

Dentre todas as precauções que um galvanizador pode empregar para evitar um desenvolvimento excessivo da camada de liga em aços de alta reatividade, o menor tempo de exposição possível ao zinco líquido, aliado a uma temperatura de zinco baixa (440°C), são as mais eficientes.

7.8 REAÇÕES ENTRE FERRO E ZINCO EM PROCESSOS DE GALVANIZAÇÃO CONTÍNUA

No processo de galvanização contínua por imersão a quente da chapa, o material padrão consiste de tiras de aço laminadas a frio com uma composição adequada para o processo. O tempo de imersão é muito curto, e a temperatura é mantida dentro de limites rígidos. O banho de zinco desenvolve ligação com uma pequena quantidade de alumínio (aprox. 0,2%), o que possui o efeito de retardar a reação ferro/zinco em tempos de imersão curtos. A camada de liga será fina, entre aproximadamente 1 e 2 μm , sendo que o restante do revestimento consistirá em zinco puro (figura 35).

As ligas de ferro/zinco são relativamente duras e frágeis. No entanto, considerando que elas têm sido substituídas por zinco macio, chapas

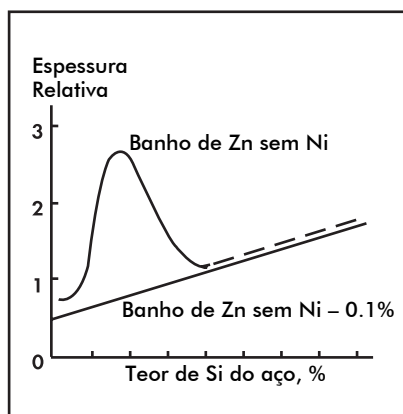


Figura 34. Relação entre o teor de silício do aço e a espessura do revestimento de zinco durante galvanização por imersão a quente em zinco ligado (0,1% Ni) (Tradicional Curva de Sandelin)

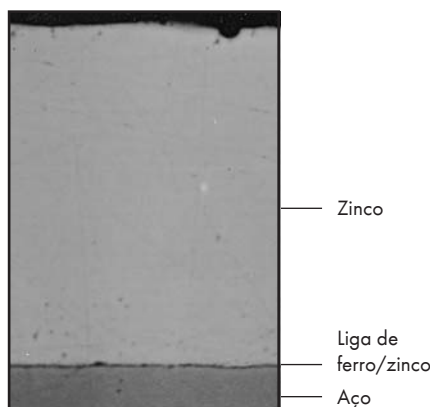


Figura 35. Microfotografia mostrando o revestimento de zinco em chapa continuamente revestida.

galvanizadas por imersão a quente podem ser continuamente dobradas, curvadas, moldadas por pressão e até mesmo embutidas, sem ocorrer fissuras ou escamações do revestimento.

A chapa fina pode até mesmo ser revestida com zinco ligado a alumínio, o que proporciona certo grau maior de proteção contra corrosão em ambientes severos. Alguns nomes de marca comuns incluem Galfan (5% de alumínio), e Aluzink, Galvalume ou Zinalume (55% de alumínio).

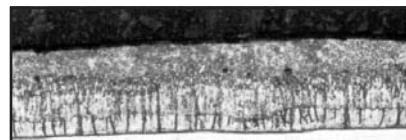


Figura 36. Classificação de reatividade 1.

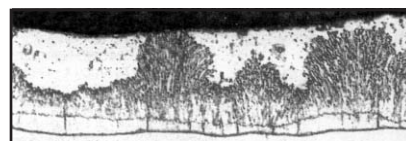


Figura 37. Classificação de reatividade 2.

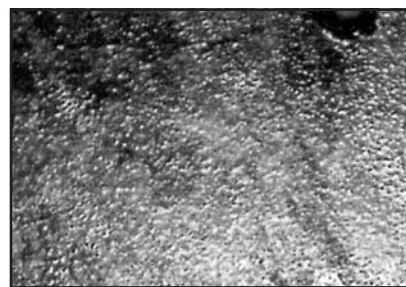


Figura 38. Aparência superficial de um aço mostrando as erupções ilustradas na figura 37.



Figura 39. Classificação de reatividade 3.



Figura 40. Classificação de reatividade 4a.

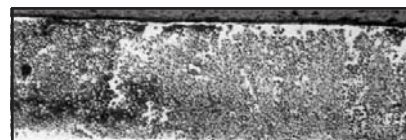


Figura 41. Classificação de reatividade 4b.



Figura 42. Classificação de reatividade 6.



Propriedades Mecânicas de Aços Galvanizados por Imersão a Quente

O processo de galvanização por imersão a quente não possui efeito sobre as propriedades mecânicas do aço estrutural.

8.1 RESISTÊNCIA E DUCTILIDADE

O relatório publicado da BNF chamado 'Galvanização de aços estruturais e suas soldagens' ILZRO, 1975, conclui que '...o processo de galvanização não possui efeito sobre as resistências mais altas exibem fragilização por hidrogênio após um pré-tratamento típico em HCl ou H₂SO₄ inibido.'

Mudanças nas propriedades mecânicas, atribuíveis ao processo de galvanização por imersão a quente, foram detectadas somente quando o aço havia sido operado a frio antes da galvanização, mas somente certas propriedades foram afetadas. Assim, a resistência à tração, o limite de elasticidade e o alongamento de tração do aço laminado a frio não foram afetados, com exceção do alongamento de tração do aço laminado a frio de 40%, que estava propenso a uma elevação devido à galvanização por imersão a quente. Dobras em 1T em muitos dos aços que foram fragilizadas pela galvanização, mas dobras 2T e 3T galvanizadas podem ser completamente esticadas em qualquer tipo de aço, sem fissuras.

8.2 FRAGILIZAÇÃO

É raro o ferro se encontrar em uma condição de fragilização após a galvanização por imersão a quente. A ocorrência de fragilização depende de uma combinação de fatores. Sob certas condições, alguns ferros podem perder suas propriedades de ductilidade e se tornar frágeis. Diversos tipos de fragilização podem ocorrer, mas somente a fragilização por encruamento é agravada pela galvanização por imersão a quente e processos semelhantes. As informações a seguir são fornecidas como orientação em aplicações críticas

Aplicações Críticas

É melhor evitar trabalhos a frio como perfuração, cisalhamento e dobramento de aços estruturais com mais de 6mm de espessura quando o item for galvanizado e subsequentemente sujeito a tensão interna resistente à tração. Caso o trabalho a frio não possa ser evitado, um teste de fragilização prático deve ser

realizado conforme a norma ASTM A143.

Quando as consequências de falha forem severas e o trabalho a frio não puder ser evitado, alivie a tensão a uma temperatura mínima de 650°C antes de realizar o processo de galvanização por imersão a quente.

Em aplicações críticas, o ideal é que o aço estrutural seja trabalhado a quente com temperatura acima de 650°C, conforme as recomendações do fabricante do aço.

Susceptibilidade à fragilização por encruamento

A fragilização por encruamento é causada pelo trabalho a frio de certos aços, principalmente com baixo teor de carbono, seguido por encruamento em temperaturas inferiores a 600°C, ou por aços de trabalho a quente abaixo de 600°C.

Todos os aços estruturais podem sofrer algum tipo de fragilização. A extensão da fragilização depende da quantidade de deformação, tempo com relação à temperatura de encruamento e composição do aço, principalmente o teor de nitrogênio. Elementos conhecidos por unir o nitrogênio na forma de nitretos são úteis para limitar os efeitos do envelhecimento após deformação a frio. Esses elementos incluem alumínio, vanádio, titânio, nióbio e boro.

Trabalho a frio

O trabalho a frio, como perfuração de orifícios, cisalhamento e dobramento antes da galvanização pode levar à fragilização de aços suscetíveis a este fenômeno. É improvável que aços com espessuras inferiores a 3mm sejam significativamente afetados.

Fragilização por hidrogênio

O hidrogênio pode ser absorvido pelo ferro durante a decapagem, mas é rapidamente expulso quando exposto a temperaturas de galvanização, não sendo considerado um problema para componentes que não possuem tensões internas. Certos aços, que foram submetidos a trabalhos a frio e/ou tensionados durante a decapagem, podem ser afetados pela fragilização por hidrogênio, podendo ocorrer fissuras antes da galvanização (consulte também o capítulo 13, item 13.8).

O processo de galvanização

O processo de galvanização envolve imersão em um banho de zinco fundido a aproximadamente 450°C. O efeito do tratamento térmico da galvanização pode acelerar o início da fragilização por encruamento em aços suscetíveis a este processo que foram trabalhados a frio. Nenhum outro aspecto do processo de

galvanização é significativo.

Recomendações para minimizar a fragilização.

Sempre que possível, utilize aço com baixa suscetibilidade à fragilização por encruamento. Sempre que o trabalho a frio for necessário, devem ser observadas as limitações de perfuração, cisalhamento, corte a maçarico, dobramento, distâncias de extremidades e aplicações críticas. Consulte o Capítulo 9

8.3 RESISTÊNCIA À FADIGA

Pesquisas e experiências práticas mostram que a resistência à fadiga dos aços mais comumente galvanizados não é significativamente afetada pela galvanização. A resistência à fadiga de certos aços, especificamente os aços acalmados com silício, pode ser reduzida, mas qualquer redução é pequena quando comparada às reduções que podem ocorrer a partir do ataque da corrosão localizada em aços não galvanizados e com efeitos de soldas.

Para fins práticos, quando a vida útil do projeto é baseada na resistência à fadiga das soldas, os efeitos da galvanização podem ser ignorados.

A resistência à fadiga é reduzida pela presença de entalhes e filetes de solda, independentemente dos efeitos de processos que envolvam um ciclo de aquecimento tal como a galvanização. O resfriamento rápido do trabalho a quente pode causar microfissuras, principalmente nas áreas de soldagem, produzindo um efeito de entalhe com reduções consequentes na resistência à fadiga.

Em aplicações críticas, especificações para a galvanização de fabricações de aço soldado devem exigir resfriamento de ar em vez de têmpera em água após a galvanização, para evitar a possibilidade de microfissuras e reduções na resistência à fadiga.



Design para Galvanização por Imersão a Quente

(Para fins de conveniência, o conteúdo deste capítulo também está disponível em um quadro)

9.1 INTRODUÇÃO

Ao projetar uma estrutura que será galvanizada, deve-se considerar que os artefatos serão imersos e retirados de um banho de zinco fundido aquecido a 450°C. O projeto e o produto devem cumprir com as normas aceitáveis pertinentes, independentemente se será aplicado um revestimento galvanizado ou pintado. No caso da galvanização por imersão a quente, alguns requisitos adicionais, que auxiliam o acesso e a drenagem do zinco fundido, aumentarão a qualidade do revestimento, além de reduzir custos.

Com determinadas fabricações, orifícios presentes para outras finalidades poderão atender aos requisitos de passagem de ar e drenagem de zinco; em outros casos, orifícios extras poderão ser necessários para tal finalidade.

Para obter proteção total, o zinco fundido deve ser capaz de fluir livremente por todas as partes da superfície do produto. No caso de seções ocas ou onde houver compartimentos internos, a galvanização das superfícies internas elimina qualquer perigo de corrosão oculta ocorrida durante operação.

Além de utilizar as especificações corretas em termos de exigências de revestimento, a química do aço deve possuir uma qualidade apropriada para a galvanização (Capítulo 7)

Alguns princípios gerais para orientação são:

- Orifícios para ventilação e purga devem ser os maiores possíveis. O tamanho mínimo absoluto dos orifícios se encontra na tabela 16.
- Os orifícios para ventilação e purga devem estar diagonalmente opostos um ao outro no ponto elevado e no ponto baixo do produto à medida que ele é suspenso para o processo de galvanização (figura 43).
- Com seções ocas vedadas nas extremidades, os orifícios devem ser feitos diagonalmente opostos um ao outro, o mais próximo possível das extremidades do elemento oco (figura 44 e fotos 1 e 2). Em alguns casos, poderá ser mais econômico realizar entalhes em forma de "V" ou "U" (figura 45) nas extremidades dos tubos ou

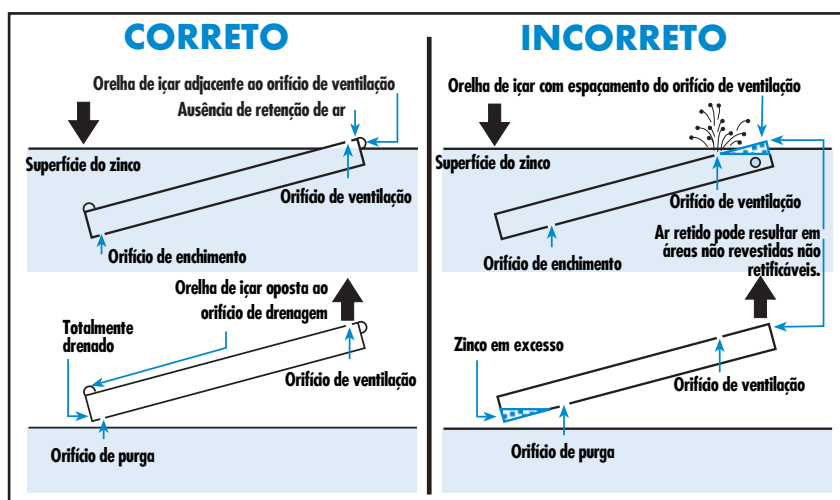


Figura 43.

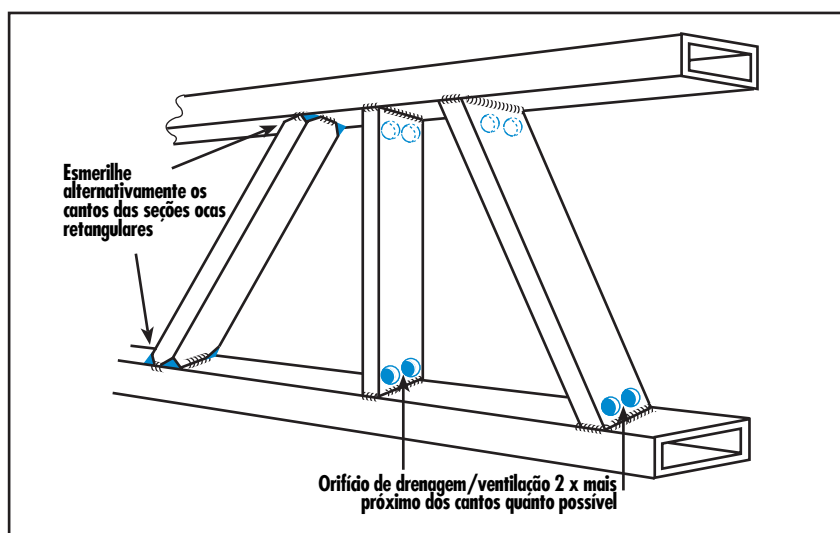


Figura 44.

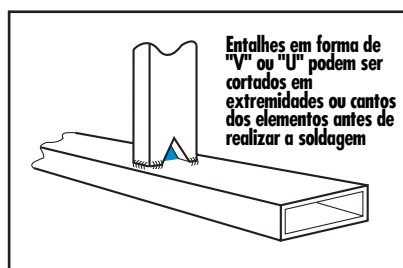


Figura 45.

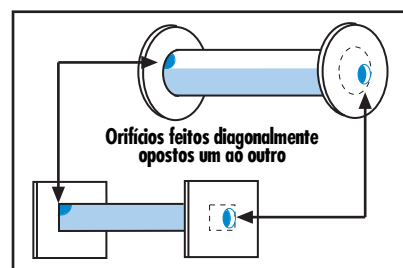


Figura 46.

esmerilhar os cantos das seções ocas retangulares. Esses procedimentos proporcionarão os meios ideais para ventilação e purga.

- Sempre que forem feitos orifícios nas placas terminais ou peças protetoras, eles devem ser posicionados diagonalmente opostos um ao outro, a partir do centro e o

mais próximo possível da parede do elemento ao qual a placa terminal está conectada (figura 46).

- Cantoneiras, anteparos, diafragmas e nesgas internos e externos, além de outros elementos, devem ter as extremidades aparadas, e as mãos francesas, se possível, não devem ultrapassar o flange da

| DIRETRIZES PARA TAMANHOS DE ORIFÍCIO DE VENTILAÇÃO DE PURGA E ENCHIMENTO - OBRIGATÓRIOS POR COMPRIMENTO DE SEÇÃO | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Diâmetro do Tubo | * 50 | 60 - 76 | 89 | 102 - 114 | 127 - 152 | 165 | 219 | 245 | 273 | 324 | 355 |
| Tamanhos das Seções Ocas Retangulares (mm) | 50 x 30 | 80 x 40 | 80 x 80 | 90 x 90 | 160 x 80 | 200 x 100 | 180 x 180 | 200 x 200 | 300 x 200 | 400 x 200 | 300 x 300 |
| | 60 x 40 | 70 x 70 | 120 x 60 | 120 x 80 | 120 x 120 | 150 x 150 | 250 x 150 | 220 x 220 | 250 x 250 | | 450 x 250 |
| | 50 x 50 | 100 x 50 | | 100 x 100 | 150 x 100 | | | | 340 x 200 | | |
| | 60 x 60 | 76 x 76 | | | 140 x 140 | | | | | | |
| Comprimento (m) | Tamanho do orifício (mm) | | | | | | | | | | |
| 1 | 10 (12) | 10 (12) | 10 (12) | 12 (2x10) | 16 (2x12) | 20 (2x16) | 25 (2x20) | 30 (2x25) | 30 (2x25) | 40 (2x30) | 40 (2x30) |
| 2 | 10 (12) | 10 (12) | 12 (2x10) | 12 (2x10) | 16 (2x12) | 20 (2x16) | 25 (2x20) | 30 (2x25) | 30 (2x25) | 40 (2x30) | 50 (2x40) |
| 3 | 10 (12) | 12 (2x10) | 12 (2x10) | 12 (2x10) | 16 (2x12) | 20 (2x16) | 25 (2x20) | 30 (2x25) | 40 (2x30) | 50 (2x40) | 50 (2x40) |
| 4 | 12 (2x10) | 12 (2x10) | 16 (2x12) | 16 (2x12) | 16 (2x12) | 25 (2x20) | 25 (2x20) | 30 (2x25) | 40 (2x30) | 50 (2x40) | 2x50 (3x40) |
| 5 | 12 (2x10) | 16 (2x12) | 16 (2x12) | 16 (2x12) | 25 (2x20) | 25 (2x20) | 30 (2x25) | 30 (2x25) | 50 (2x40) | 50 (2x40) | 2x50 (3x40) |
| 6 | 12 (2x10) | 16 (2x12) | 20 (2x16) | 20 (2x16) | 25 (2x20) | 25 (2x20) | 50 (2x30) | 50 (2x40) | 50 (2x40) | 2x50 (3x40) | 2x50 (3x40) |
| 7 | 16 (2x12) | 16 (2x12) | 20 (2x16) | 20 (2x16) | 25 (2x20) | 25 (2x20) | 50 (2x30) | 50 (2x40) | 50 (2x40) | 2x50 (3x40) | 2x50 (3x40) |
| 8 | 16 (2x12) | 16 (2x12) | 20 (2x16) | 25 (2x20) | 25 (2x20) | 2x25 (3x20) | 50 (2x30) | 50 (2x40) | 2x50 (3x40) | 2x50 (3x40) | 2x50 (3x40) |
| 9 | 16 (2x12) | 16 (2x12) | 25 (2x20) | 25 (2x20) | 2x25 (3x20) | 2x25 (3x20) | 50 (2x30) | 2x50 (3x40) | 2x50 (3x40) | 2x50 (3x40) | 2x50 (3x40) |
| 10+ | 20 (2x16) | 25 (2x16) | 25 (2x20) | 25 (2x20) | 2x25 (3x20) | 2x25 (3x20) | 50 (2x30) | 2x50 (3x40) | 2x50 (3x40) | 2x50 (3x40) | 2x50 (3x40) |

Observação: Os tamanhos de orifícios especificados acima poderão ser substituídos por um número maior de orifícios menores (mínimo de Ø 10 mm para orifício de ventilação e Ø 12 mm para orifício de purga/enchimento)

Tabela 16.

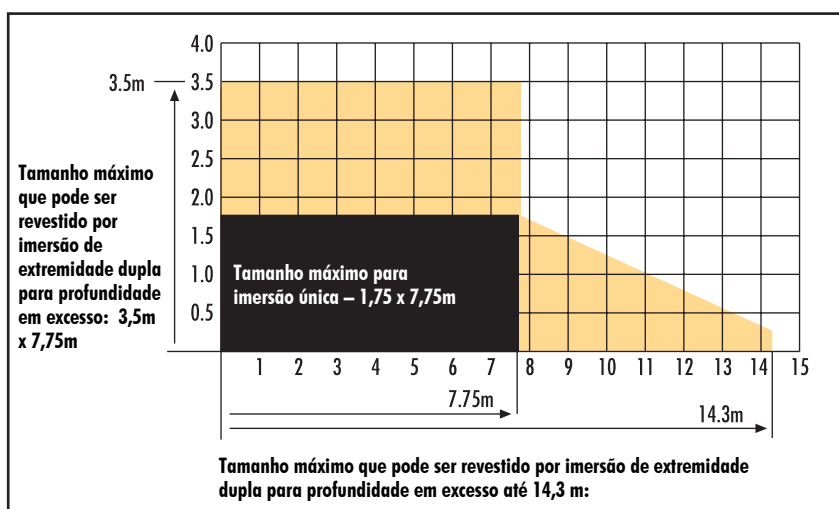


Tabela 17. Indicação esquemática da capacidade de imersão de extremidade dupla para um banho de galvanização com 8 metros de comprimento x 2 metros de profundidade.

lança principal para auxiliar o fluxo do zinco fundido e evitar retenção de ar.

- O melhor momento para fabricação de juntas cavilhadas se dá após o processo de galvanização por imersão a quente.

Galvanização de objetos de grande dimensão por imersão a quente

Existem instalações onde é possível realizar o processo de galvanização por imersão a quente de artefatos de praticamente qualquer tamanho e forma (Confira relação dos tamanhos de banho de membros da associação - consulte www.h-dgasa.org.za).

Quando um artefato é grande demais para uma única imersão no maior banho disponível, é possível galvanizá-lo por meio da imersão de extremidade dupla (figura 47 e tabela 17), dependendo das instalações de tratamento e disposição da planta de galvanização (verifique com o galvanizador). Observação: O custo da imersão de extremidade dupla pode ser mais alto do que o custo padrão de uma galvanização por imersão a quente. Muitas vezes, objetos cilíndricos grandes podem ser galvanizados por imersão progressiva (figura 48).

Esses processos aumentam o potencial para

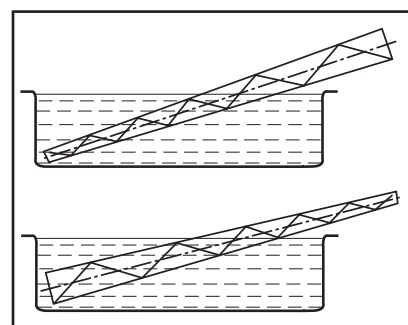


Figura 47.

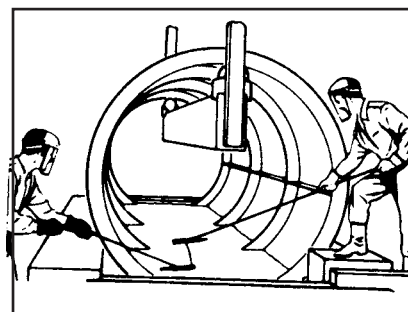


Figura 48. Imersão progressiva.

distorção, uma vez que o objeto recebe aquecimento irregular. A área imersa no banho recebe a máxima temperatura de galvanização, se expandindo mais do que a porção restante no exterior da caldeira. Isto é mais acentuado durante a primeira imersão, quando a temperatura ambiente do objeto é aumentada. É o calor diferencial e a diferença resultante na expansão que podem causar a distorção do produto. Imergir a segunda parte do produto não removerá qualquer distorção que já tenha ocorrido.

Este problema se agravará caso os orifícios de ventilação e purga apresentem um tamanho inferior, exigindo, assim, tempos maiores de galvanização, enquanto o objeto recebe zinco, que é drenado durante remoção. O tempo elevado



Foto 1



Foto 2

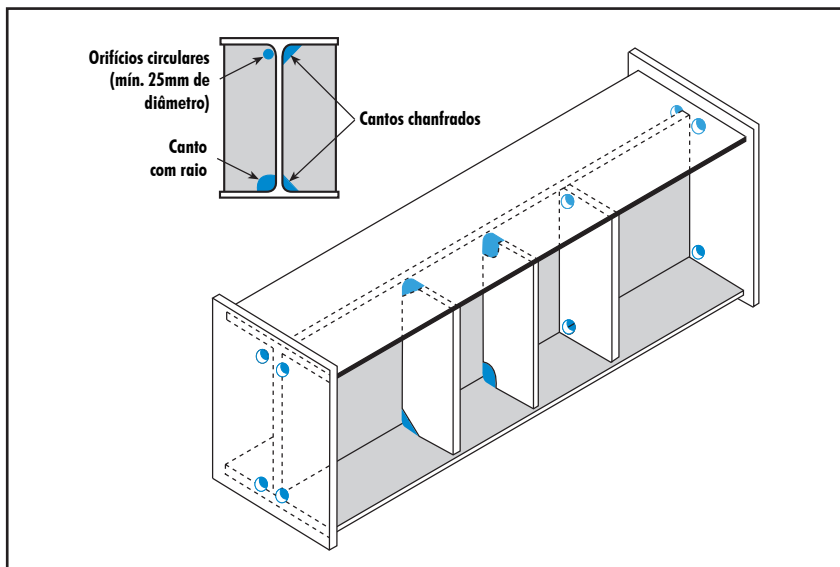


Figura 49.



Fotos 3 e 4 acima.

amplia a expansão diferencial em todo o aço e, consequentemente, a possibilidade de distorção.

Esses problemas podem ser resolvidos ou reduzidos por meio de:

- Estruturas grandes são também galvanizadas por imersão a quente por meio do planejamento em módulos, para montagem posterior por travamento com parafusos ou solda. Técnicas de projeto modular geralmente oferecem economia na fabricação e montagem por meio de manuseio e transporte simplificados.
- Garantia de que os orifícios de drenagem e ventilação estejam adequadamente dimensionados para permitir a rápida imersão e retirada do objeto (tabela 16).
- Permissão de uma expansão linear no design de modo que qualquer distorção seja plástica e não seja retraído por

escoramento transversal.

- Utilização do maior banho disponível para o processo de galvanização.

Esses problemas raramente ocorrem em tubos, postes ou perfis finos em espiral devido à sua simetria e design simples.

Categoria do aço

É possível galvanizar por imersão a quente todos os aços estruturais, e a espessura final de revestimento atingida é determinada pela análise do aço, tempo de imersão e, em menor escala, pela temperatura do zinco. É por esta razão que as especificações para o processo de galvanização por imersão a quente fornecem uma espessura mínima de revestimento e nenhum limite máximo é estabelecido (consulte OBSERVAÇÃO 1, no Capítulo 10). Níveis reativos de silício no aço e teor de fósforo excessivamente alto, mesmo com níveis de silício relativamente baixos, podem resultar em revestimentos mais espessos. Os revestimentos mais espessos oferecem maior proteção contra corrosão, mas, ocasionalmente, podem estar propensos à fragilização. O revestimento resultante pode ser esteticamente menos agradável, muitas vezes exibindo manchas superficiais nas cores preta e cinza fosca. (Capítulo 7).

Fabricação

Dobramento

Os aços suscetíveis à fragilização e falha por fadiga devem ser dobrados sobre um mandril suave com um raio mínimo de 2 a 3 vezes a espessura do material. Sempre que possível, trabalhe a quente ao rubro. É pouco provável que o dobramento a frio afete aços com espessura menor do que 3 mm. Antes de realizar o dobramento, as bordas devem ter um raio estendido sobre todo o arco da dobra.

Dobramento e deformação após o processo de galvanização por imersão a quente

Os componentes que não foram galvanizados por imersão a quente não devem ser dobrados ou deformados

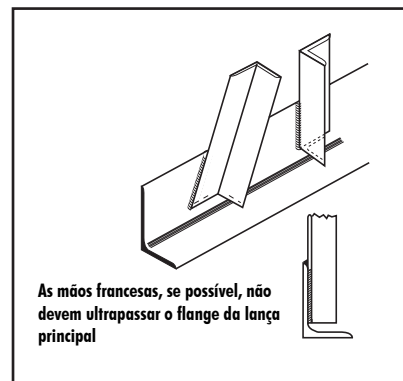


Figura 50.

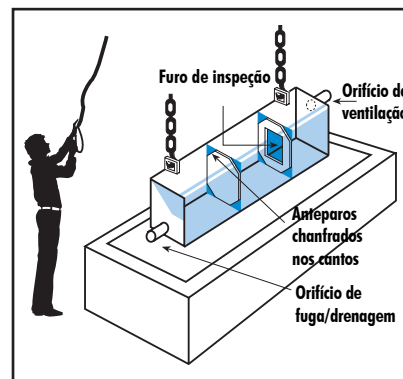


Figura 51.

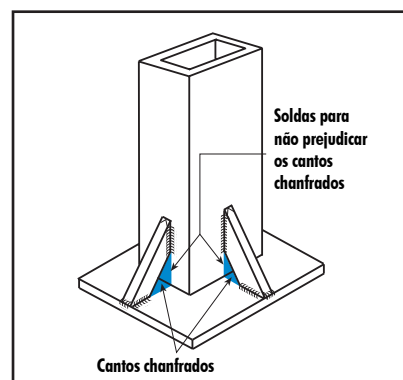


Figura 52.

aplicando calor acima da temperatura de fusão do zinco, já que isso pode causar fragilização devido à penetração do zinco líquido intergranular entre os limites do cristal líquido.

Rebarbas

Diferentemente de um revestimento de

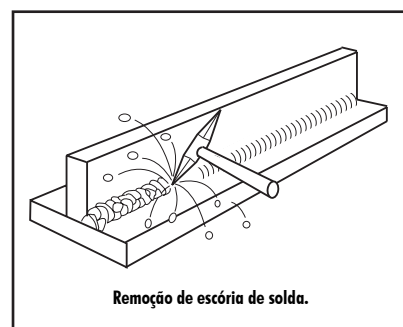


Figura 53.

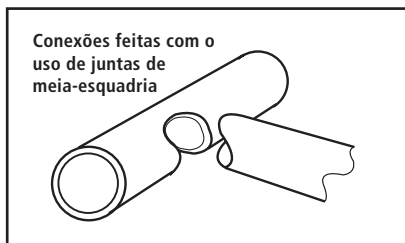


Figura 54.

tinta, as rebarbas serão revestidas pela galvanização por imersão a quente; porém, a remoção de uma rebarba após tal processo poderá resultar na presença de uma pequena superfície não revestida. Por esta razão, as rebarbas devem ser removidas antes da galvanização.

Arestas

Devido ao fato de o revestimento galvanizado por imersão a quente ser formado pela reação metalúrgica entre o zinco fundido e o aço, a espessura do revestimento nas arestas e cantos é maior do que a espessura em superfícies planas. Desta forma, o arredondamento de arestas afiadas, conforme exigido para revestimentos de tinta, não se faz necessário. Se for necessária uma pintura subsequente, as arestas afiadas devem ser arredondadas durante a fabricação a um raio de 3 mm ou 60% da espessura do aço.

Distância da borda. Conforme a norma SANS 10162, Cláusula 22.3.2, que define a distância da aresta como "a distância mínima do centro de um parafuso a qualquer aresta deverá estar em conformidade com a tabela 8".

Perfuração. A perfuração de tamanho integral de orifícios é permitida quando (entre outros requisitos tais como sem distorção, sem rebarbas e não sujeito a fadiga), de acordo com a Cláusula 4.3.6.3.c da norma SANS 2001-CS1, "a espessura do material não é maior do que o diâmetro do orifício mais 3 mm; nem maior do que 12 mm".

A cláusula 4.3.6.4 Perfuração e Alargamento diz: "A perfuração é permitida sem as condições da Cláusula 4.3.6.3 desde que os orifícios sejam perfurados com no mínimo 2 mm menos de diâmetro do que o tamanho obrigatório e que o orifício seja subsequentemente alargado ao diâmetro integral."

Materiais de qualquer espessura poderão ser perfurados com no mínimo 3 mm a menos e então alargados ou furados. Deve-se observar boa prática em relação às proporções de diâmetro do orifício perfurado com a espessura da placa, e a folga diametral da matriz/punção com a espessura da placa.

Para carregamento estático, os orifícios poderão ser perfurados totalmente em material com até 450 mm de espessura, onde F_y é o limite de escoamento do material de até 360 MPa.

Cisalhamento e Corte a maçarico

As arestas das seções de aço maiores do que 16 mm de espessura sujeitas a cargas de tração devem ser trabalhadas a máquina ou cortadas a maçarico. As bordas das seções

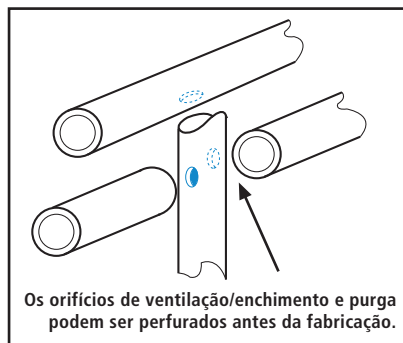


Figura 55.

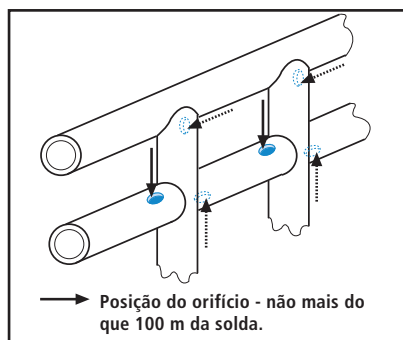


Figura 56.

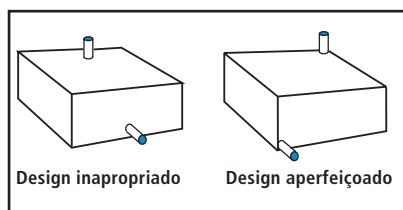


Figura 57.

com até 16 mm de espessura poderão ser cortadas por cisalhamento.

As bordas ciliadas a serem dobradas durante a fabricação devem ter recursos concentradores de tensão tais como rebarbas e goivaduras à chama a uma profundidade mínima de 1,5 mm.

As temperaturas associadas ao corte a maçarico alteram as propriedades da superfície do aço, e caso essas propriedades não sejam completamente esmerilhadas, um revestimento mais fino galvanizado será formado (geralmente abaixo do mínimo especificado).

Soldagem e escória de solda

As soldas devem ser contínuas e livres de porosidade e porosidade excessiva. A escória de soldagem, normalmente associada à soldagem manual, não é prontamente removida pela decapagem com ácido e tal escória deve ser removida pela limpeza por jateamento com abrasivos, rebarbação, esmerilhamento, limpeza à chama ou um desencrustador de agulhas pneumático, antes de realizar a galvanização por imersão a quente. É dada preferência à solda com eletrodo de arco aberto uma vez que este método não resulta na presença de escórias firmemente aderentes (figura 53 e Capítulo 14).

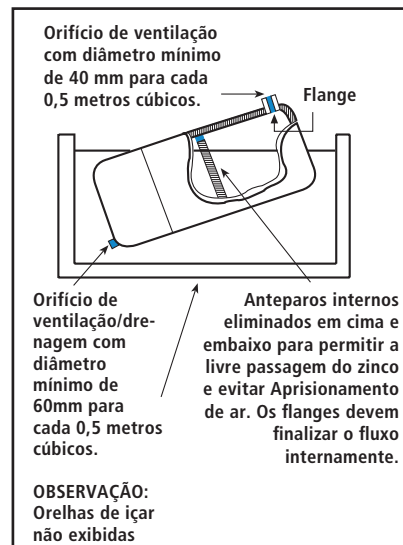


Figura 58.

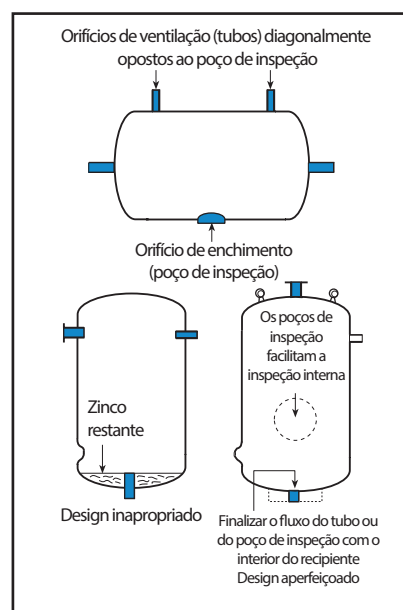


Figura 59.

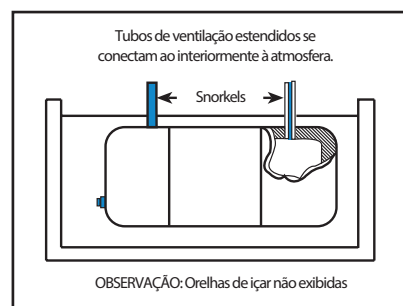


Figura 60.

Para que a solda vede e permaneça no fim de uma solda de filetes de dois lados, considere chanfrar as longas bordas e realize um conjunto soldado com penetração total ao longo de ambos os lados com torres de resfriamento em cada extremidade para garantir soldas com vedação total (figura 16).

Respingo de solda

O respingo de solda não reduz as propriedades de protetoras de um revestimento

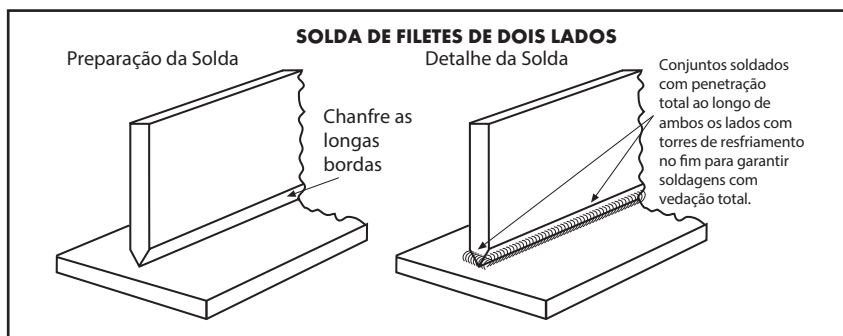


Figura 61.

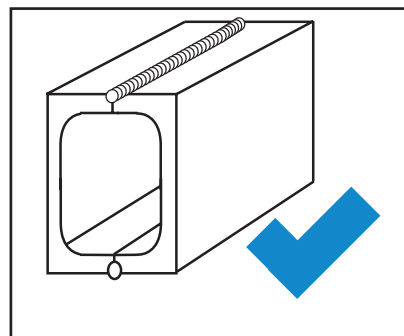


Figura 62.

galvanizado por imersão a quente do mesmo modo que com um revestimento de pintura, porém recomenda-se prática para remover os respingos antes de realizar o processo de galvanização por imersão a quente.

9.2 VENTILAÇÃO, ENCHIMENTO E PURGA

Cantoneiras externas, nesgas soldadas e almas em colunas e vigas, e nesgas em perfis em U devem ter cantos refugados. As fendas criadas devem ser as maiores possíveis, sem comprometer a resistência estrutural. Caso a soldagem seja necessária ao redor da borda criada, é desejável uma aresta arredondada para facilitar a continuidade da solda em torno da extremidade do corte até o outro lado. Orifícios circulares são menos eficientes; se utilizados, eles devem estar o mais próximo possível dos cantos e das bordas. Sempre que conveniente, os cantos ou orifícios refugados poderão se encontrar na viga principal. Recomenda-se consultar o galvanizador quanto aos tamanhos adequados do orifício de drenagem e ventilação (figura 49 e tabela 16).

Seções de tubos soldados

Seções fechadas nunca devem ser incorporadas em um produto. As seções devem ser interconectadas utilizando juntas de meia-esquadria, conforme ilustrado na figura 54, ou orifícios de interconexão devem ser realizados antes da fabricação, como na figura 55.

Por outro lado, orifícios externos podem ser posicionados como na figura 56, um método muitas vezes preferido pelo galvanizador, uma vez que uma rápida inspeção visual mostra que o trabalho é seguro para galvanizar por imersão a quente.

As extremidades do tubo podem ficar abertas ou receber plugues removíveis. (Consulte orifícios de ventilação indesejados).

Orifícios de ventilação indesejados

Esses orifícios podem ser fechados parafusando plugues de alumínio ou chumbo após galvanizar e preencher o fluxo com as superfícies adjacentes.

Fabricações tubulares pequenas

As fabricações tubulares pequenas devem ser ventiladas, de preferência com orifícios menores que 10 mm de diâmetro (tabela 16).

Fabricações tubulares / estruturas ocas

Os tamanhos do orifício de ventilação/purga devem, de preferência, ter 25% do diâmetro interno ou dimensão diagonal para componentes com uma área transversal máxima de 180 cm². Esta porcentagem pode ser influenciada pelo formato do produto. Recomenda-se consultar o galvanizador na fase de design.

Fabricação tubular após galvanização por imersão a quente

O requisito para dobramento de tubos após a galvanização por imersão a quente, ou seja, para a fabricação de portões etc. deve ser realizado de acordo com o método definido no Ensaio de Dobramento (tubo galvanizado). Consulte o item 11.6 Teste de Aderência e Observação 2, referente à espessura do revestimento, página 37.

Tanques e recipientes fechados

Quando as superfícies internas e externas estão prestes a ser galvanizadas por imersão a quente, pelo menos um orifício de ventilação ou purga deve ser feito, apresentando um orifício de ventilação diagonalmente oposto para permitir a saída de ar durante a imersão (figura 57). Para cada meio metro cúbico de volume, faça pelo menos um orifício de ventilação/enchimento com tamanho mínimo de $\phi 60$ mm e um orifício de ventilação com tamanho mínimo de $\phi 40$ mm ou ambos de $\phi 60$ mm (figura 58).

Anteparos internos devem ser refugados como mostra a ilustração (figura 51 e 58). Poços de inspeção ou tubos devem finalizar o fluxo internamente para prevenir o aprisionamento de zinco em excesso (figura 59).

Orelhas de içar devem ser colocadas do lado oposto aos orifícios de drenagem/enchimento com maior tamanho e acessibilidade e adjacentes ao orifício de ventilação na extremidade oposta (figura 43). As orelhas devem ser projetadas para acomodar a massa excedente de zinco fundido dentro do cilindro/tubo na retirada.

| Tamanho do eixo ou eixo motor | Espaço radial mínimo |
|-------------------------------|----------------------|
| Até 30 mm de diâmetro | 2.0mm |
| Acima de 30 mm de diâmetro | 2.0 – 2.5mm |

Tabela 18.

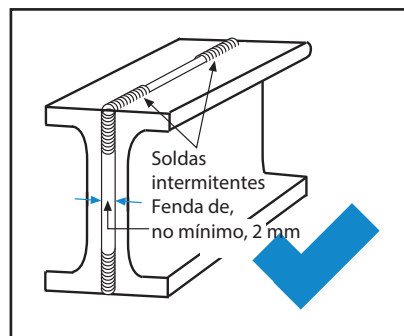


Figura 63.

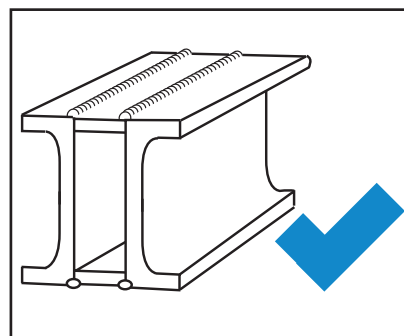


Figura 64.

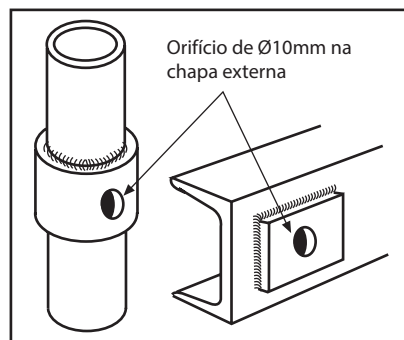


Figura 65.

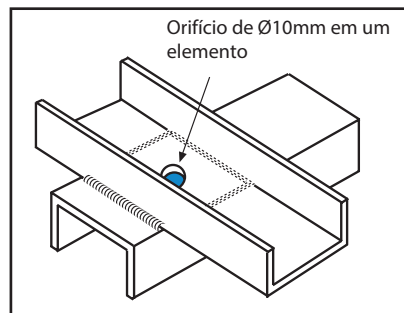


Figura 66.

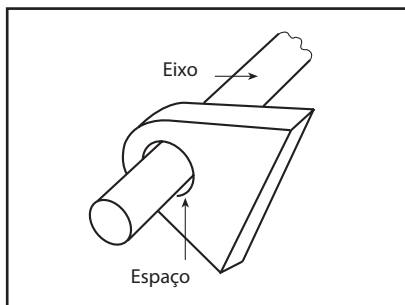


Figura 67.

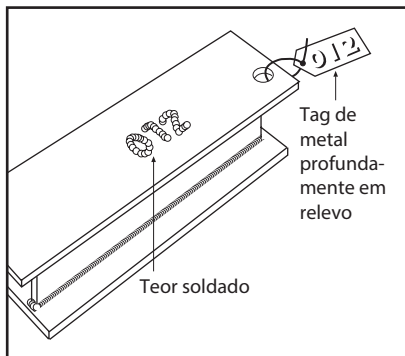


Figura 68.

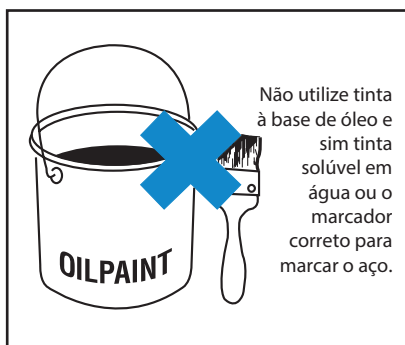


Figura 69.



Figura 70.

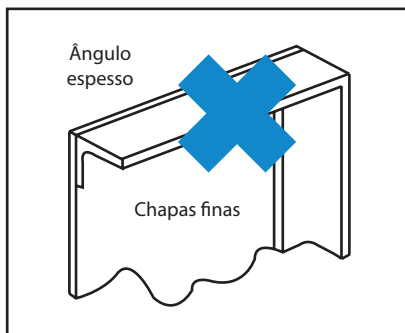


Figura 71.

Recipientes grandes exigem um poço de inspeção de tamanho adequado no anteparo.

Quando recipientes e permutadores de calor etc. não forem galvanizados internamente, 'snorkels' ou tubos de ventilação estendidos devem ser ajustados para permitir que o ar ou a corrente saia acima do nível do zinco fundido no banho de galvanização (figura 60).

9.3 REVESTIMENTO ISOLANTE. SOLDAGEM, MANUSEIO. ESPAÇO LIVRE PARA PARTES MÓVEIS E IDENTIFICAÇÃO

Revestimento Isolante

Foram desenvolvidos materiais de revestimento isolante que, se aplicados antes da galvanização por imersão a quente, prevenirão a formação de revestimento galvanizado em superfícies desnecessárias.

Combinações de superfícies ferrosas

As fabricações contendo uma combinação de fundições e aços, ou superfícies contendo ferrugem ou carepa de laminação devem ser limpas por jateamento abrasivo antes da galvanização por imersão a quente.

Condição para Manuseio

Itens não apropriados para manuseio com correntes, cestas, ganchos ou guias devem ser fornecidos com orifícios de suspensão ou orelhas de içar (figura 43). Em caso de dúvida, consulte o galvanizador.

Materiais adequados para galvanização por imersão a quente

Todos os materiais ferrosos são adequados, incluindo fundições livres de tensões.

Conjuntos soldados poderão ser galvanizados por imersão a quente; primeiro, porém, consulte o galvanizador. Os conjuntos com soldagem macia ou com rebite de alumínio não podem ser submetidos ao processo de galvanização por imersão a quente.

Superfícies de sobreposição

Um vão mínimo de pelo menos 2 mm entre as superfícies de sobreposição e perfis em U e L opostos deve ser fornecido (figuras 62, 63 e 64).

Quando é impossível evitar a ocorrência de pequenas sobreposições, solde as arestas.

Em casos em que a soldagem não é algo prático, um grau de coloração superficial temporária nas fissuras poderá aparecer após a galvanização por imersão a quente e a têmpera. Isto é incorreto e frequentemente descrito como coloração ácida. Utilize uma escova de cerdas e um detergente neutro para a limpeza, se necessário. Fissuras dessa natureza podem ser vedadas após a galvanização por imersão a quente com um agente selador adequado.

Superfícies de sobreposição maiores

Caso não seja possível evitar o contato entre as superfícies, um orifício com diâmetro de 10 mm deve ser fornecido em um dos elementos para cada 100 cm² de superfície de sobreposição. O perímetro da superfície em contato pode ser continuamente soldado. Esse requisito é de extrema importância ao se utilizar essas seções. Os tamanhos do orifício de ventilação para aços mais espessos > 10 mm de espessura e áreas de sobreposição > 300 cm² devem ser acordadas pelo galvanizador antes da fabricação (figuras 65 e 66). Um orifício de ventilação em um elemento garantirá a segurança do pessoal responsável pela galvanização e prevenirá danos ao artefato. Alternativamente, forneça um vão de, no mínimo, 2mm entre os elementos.

Nesgas e almas de fortalecimento

Nesgas e almas de fortalecimento soldadas em colunas e vigas e nesgas de fortalecimento em elementos fabricados seções do perfil em U ou viga I devem ter as arestas refugadas ou perfuradas (figuras 49, 52 e fotos 3 e 4).

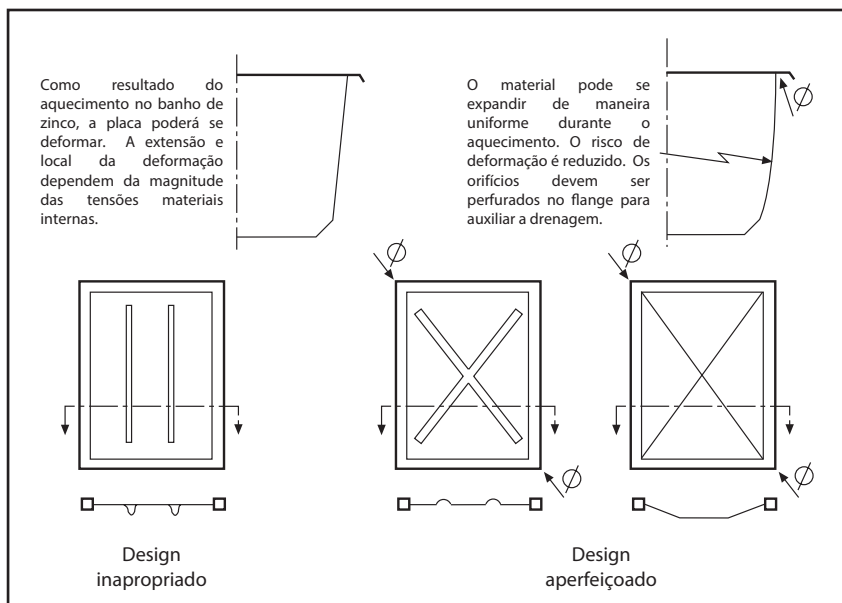


Figura 72.

- prevenir a retenção de ar em bolsas e cantos permitindo total acesso de ácidos de decapagem e zinco fundido à toda a superfície do produto, e
- facilitar a drenagem durante a retirada do desengordurador, soluções ácidas, água de lavagem, fundente e zinco fundido.

Espaço livre para partes móveis

Alças, dobradiças, argolas e eixos motores necessitam de um espaço livre radial para acomodar a espessura do revestimento galvanizado por imersão (figura 67 e tabela 18).

Marcações de identificação

Para identificação permanente, utilize uma marcação soldada, perfurada ou profundamente em relevo (figura 68). Para identificação temporária, utilize tags de metal em relevo conectadas ao item, tinta solúvel em água ou um marcador apropriado.

Não utilize tintas, etiquetas adesivas ou qualquer outro produto que não possa ser imediatamente removido por desengorduramento ou decapagem. Se presentes, esses revestimentos precisam ser removidos por removedor de tinta ou jateamento com abrasivos antes da decapagem e da galvanização por imersão a quente.

Grampos galvanizados a quente

Os grampos galvanizados a quente são recomendados para uso em estruturas pintadas ou galvanizadas por imersão a quente, mas se a norma SANS 121/ISO 1461 não for especificada, é provável que sejam fornecidos revestimentos eletrolíticos de zinco mais finos. (Capítulo 13).

9.4 PROTEÇÃO CONTRA DEFORMAÇÃO

Deformação

A deformação pode ser reduzida por meio do:

- Uso de designs simétricos (figura 70).
- Uso de seções com espessura semelhante (figura 71).
- Uso de seções reforçadas, principalmente quando o aço não possui apoio e apresenta uma espessura menor que 3 - 4 mm (figura 72 e foto 5).
- Uso de elementos pré-formados com o raio de dobramento mínimo apropriado para reduzir a tensão.
- Uso de técnicas de soldagem sequencial ou equilibrada para reduzir as tensões.
- Fabricações grandes e abertas com seções de calha com paredes finas e tanques retangulares podem necessitar de escoras diagonais temporárias para prevenir deformação durante a galvanização por imersão a quente (figura 75 e fotos 6 e 7).
- Aumente os tamanhos do orifício de ventilação, drenagem e enchimento e otimize suas posições relativas (tabela 16).

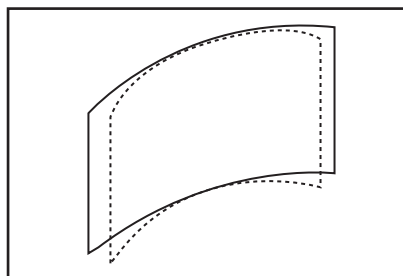


Figura 73

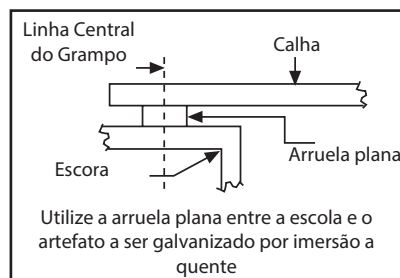


Figura 74.

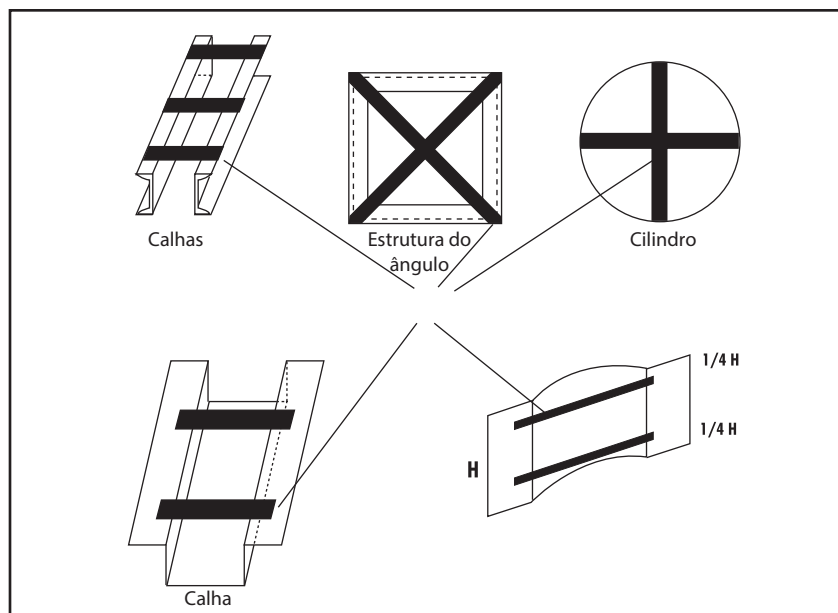


Figura 75.



Foto 5.



Foto 6.

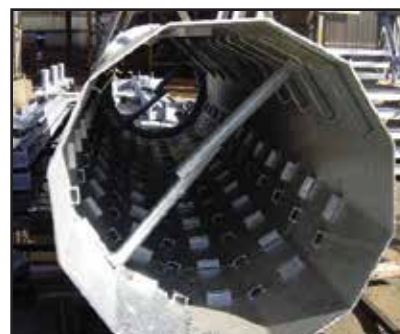


Foto 7.

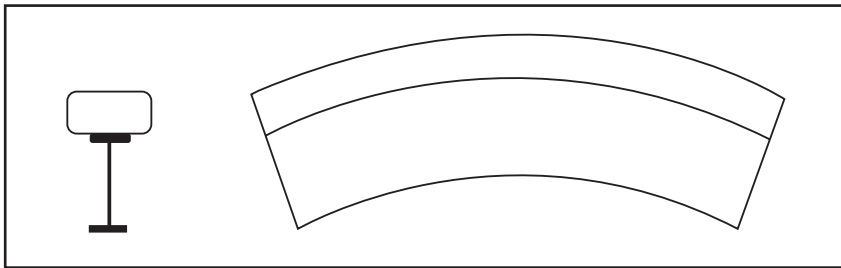


Figura 76.

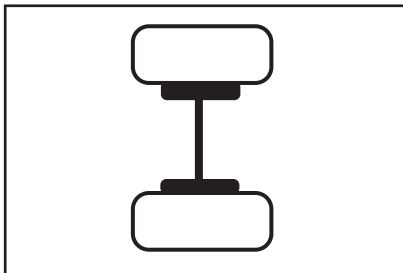


Figura 77.

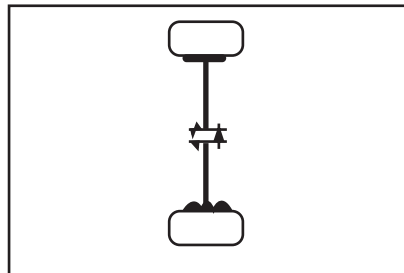


Figura 78.

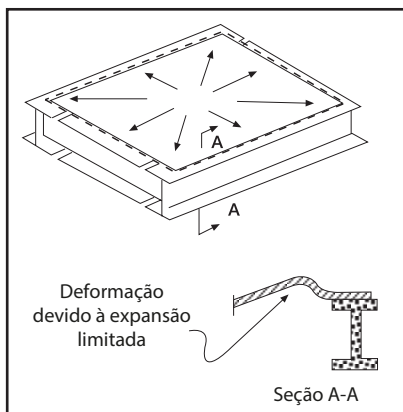


Figura 79.

- Completa e rápida imersão do objeto no banho de galvanização, ou seja, evite a imersão de extremidade dupla, se possível.
- Resfriamento pelo ar após a galvanização por imersão a quente em vez de têmpera em água.

O uso de seções simétricas reduz a distorção durante o processo de galvanização por imersão a quente.

Produtos modelados por dobramento

Muitos objetos são modelados ao curv-los na forma correta na fase de fabricação. Este processo causa tensão ao produto, o que pode ser aliviada durante a operação de galvanização por imersão a quente. Isto ocorre pois a temperatura do zinco fundido de aproximadamente 450°C está na extremidade mais baixa da tensão, aliviando a temperatura do aço. Consequentemente, as tensões utilizadas para modelar o produto podem ser liberadas, apresentando uma mudança resultante na dimensão ou forma do produto.

Imagine o caso de uma placa laminada para formar parte de um círculo. Durante a galvanização por imersão a quente, a liberação da tensão fará com o que o raio do círculo aumente e, então, as peças finais

do círculo fabricado podem não se encontrar (figura 73).

Essas dificuldades podem ser resolvidas com a instalação de escoras temporárias em toda a seção para garantir que o objeto apresente sua forma desejada. As escoras seriam soldadas ou parafusadas com um tamanho proporcional ao tamanho e espessura da placa que elas estão retendo. Se parafusada, uma arruela plana poderá ser utilizada como um separador entre a escora e o artefato a receber galvanização por imersão a quente, consulte a figura 74. Quanto menor o separador, menor a área de reparo final.

As escoras devem estar localizadas pelo menos nos quartos de pontos da estrutura. Resultados semelhantes podem ser obtidos com calhas de curva, estruturas do ângulo ou canaletas (figura 75 e fotos 7). Será necessário reparar a área onde as escoras foram removidas utilizando um material de reparo aprovado.

Tensão causada por soldagem e fabricação Alega-se que as tensões internas devido à soldagem desempenham o papel mais importante na criação da deformação. Como o aço é aquecido a 450°C durante a galvanização, as tensões apresentadas pela soldagem são liberadas e, ocasionalmente, isso pode causar deformação. A soldagem, no entanto, desempenha um papel essencial na criação das fabricações que estão prestes a receber galvanização por imersão a quente. Portanto, é importante compreender como essas forças são produzidas e reduzi-las durante a fabricação para obter um produto satisfatório após a galvanização por imersão a quente.

Felizmente, é possível obter resultados muito melhores apenas seguindo algumas regras simples. As três regras básicas são:

- Evitar a supersoldagem, as soldas não devem ser maiores que o recomendado para a integridade estrutural da fabricação.
- A soldagem deve ser a mais simétrica

possível, a fim de garantir o equilíbrio das tensões. Isto pode ser feito posicionando as soldas perto de eixos neutros ou equilibrando-as ao redor do eixo.

- Utilize uma sequência de soldagem equilibrada e bem planejada. Com estruturas grandes, deve-se tomar um cuidado ainda maior para que as tensões sejam reduzidas ao preparar e trabalhar com um plano de soldagem.
- As soldagens contínuas, que reforçam significativamente a resistência estrutural devem ser soldadas por último para que não impeçam a contração das outras soldas.
- Utilize alguns o menor número de passes possível e reduza o tempo de soldagem para controlar a entrada de calor.
- Faça as forças de contração de solda funcionarem na direção desejada ou equilibre as forças de contração com forças opostas.
- Utilize a soldagem de retrocesso ou a soldagem alternada para reduzir as tensões.

Se um produto de aço se deformar após a soldagem e antes ou após a galvanização por imersão a quente devido a essas tensões, é possível reforçar o objeto. Os melhores resultados são obtidos através de reforço a quente, antes ou após a galvanização por imersão a quente. Deve ser dada preferência ao reforço a quente antes, já que o tempo necessário é menor e a possibilidade de dano ao revestimento de zinco é evitada. Os testes confirmam que os componentes reforçados a quente que se encontravam dentro da tolerância antes da galvanização por imersão a



Foto 8.



Foto 9.

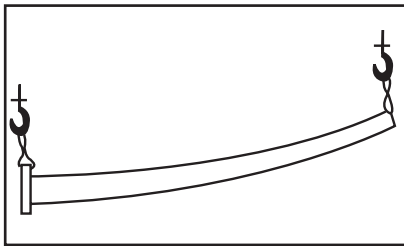


Figura 80.

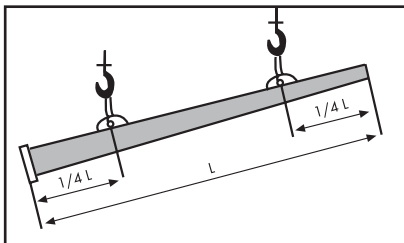


Figura 81.

quente não se deformam novamente durante o processo de galvanização, visto que as tensões já foram aliviadas.

Produtos que carecem de simetria

Quando produtos são consideravelmente simétricos, tanto no plano vertical quanto no horizontal, eles possuem um potencial muito menor para apresentar distorções em temperaturas de galvanização. Nestas condições, as forças de expansão são balanceadas e o produto não sofre qualquer tipo de distorção. Esta condição existe em tubos, vigas duplo T, perfis tubulares retangulares (RHS) e outros tipos equivalentes de perfis. Quando estes perfis são combinados em determinado produto, é possível eliminar esta simetria.

Imagine uma peça de RHS com paredes finas soldada na parte de cima de um perfil de viga duplo T. Neste tipo de situação, a forma geométrica já não é mais simétrica, mesmo que os dois componentes em questão sejam.

O tubo com paredes finas alcançará a temperatura de galvanização antes do flange, de espessura maior, localizado abaixo. Como resultado, o RHS expandirá de maneira mais acelerada que o flange inferior, fazendo com que o perfil apresente um arco ascendente.

Perfis que não apresentam simetria, como perfis em U ou em L, apresentarão problemas similares devido à sua assimetria. No caso de perfis em U, eles se curvarão com os pés apontando para fora.

Estas são as três maneiras recomendáveis para resolver este tipo de problema.

- Refaça o projeto dos produtos para que o design seja simétrico. Isso permitirá um equilíbrio de forças, evitando distorções.
- Produza e galvanize os componentes individuais como componentes separados; depois, solde-os após o processo de galvanização por imersão a quente. As soldas podem ser retocadas com um material de restauração de galvanização adequado.

- Quando várias peças estão disponíveis, elas podem ser galvanizadas de costas a costas, utilizando parafusos com tubos espaçadores para separar as peças. A montagem se separaria, após esfriamento completo, com a área de contato do espaçador sendo retocada com um material de restauração de galvanização adequado (figuras 77 e 78).

Utilizando materiais finos e espessos em montagens

Quando materiais são aquecidos durante processo de galvanização, ele se expande mais rápido que qualquer outro material mais espesso que tenha sido aquecido ao mesmo tempo. Isso acontece porque o material mais fino leva menos tempo para se aquecer por completo e alcançar a temperatura de galvanização. Portanto, o material mais fino apresentará distorções, caso sua expansão seja restringida por um material mais espesso.

Imagine um caso comum - uma chapa de aço fina é soldada ao chassi de um carro-reboque para a formação de um tabuleiro. Geralmente, esta chapa é fixada de modo seguro por soldas ao redor de seu perímetro. Caso, por exemplo, a chapa apresente somente a metade da espessura do material utilizado no chassi, ela rapidamente atinge a temperatura de galvanização - aproximadamente 450°C, dessa forma atingindo o ponto no qual o máximo de expansão ocorrerá.

O chassi, feito com material mais espesso, não terá alcançado a mesma temperatura; portanto, ele não apresentará o mesmo nível de expansão que a chapa mais fina. Devido às restrições das soldas ao redor de seu perímetro, as chapas não poderão se expandir nas arestas; portanto, o aumento do tamanho resultará em cambamentos na superfície do aço (figuras 71, 79 e foto 9).

Existem dois métodos recomendados para resolver este problema:

- Galvanize a chapa por processo de imersão a quente e o chassi separadamente; depois, junte-os após a galvanização. Isso pode ser realizado utilizando fixadores mecânicos, como parafusos com ou sem porcas. Caso sejam utilizadas soldas, elas precisarão ser retocadas com material de restauração de galvanização.
- Utilize a mesma espessura do material, tanto para o chassi quanto para a chapa.

Em alguns casos, tais cambamentos podem ser aceitáveis (foto 8), já que o material é completamente protegido contra corrosão; no entanto, depois que este tipo de distorção aparecer pela primeira vez, ele não poderá ser rapidamente corrigido após a galvanização.

Objetos longos e finos

Tais objetos longos e finos incluem postes, tubos e perfis tubulares retangulares de tamanho superior. Geralmente, esses objetos

não apresentarão distorção devido à sua natureza simétrica; porém, caso eles sejam içados por ambas as extremidades, eles podem assumir uma forma caracteristicamente empenada após o processo de galvanização (figura 80).

Este empenamento é causado quando o aço é aquecido à temperatura de galvanização de 450°C. Ao serem retirados da caldeira de galvanização, o próprio peso dos produtos pode exceder o limite de elasticidade do aço nesta temperatura, causando empenamentos. Este empenamento se torna permanente à medida que o aço resfria.

Caso o produto não tenha sido projetado com orifícios de purga e de ventilação suficientemente grandes, o problema pode ser agravado por conta de quantidades adicionais de zinco presas dentro do objeto quando ele é içado. Mais problemas são gerados por isso já que o tempo de drenagem do zinco permite que a deformação do aço continue por um período maior de tempo, fazendo com que o empenamento piore.

Existem dois métodos recomendados para reduzir este problema:

- Orifícios ou orelhas de içamento devem estar presentes em quatro pontos com igual equidistância destes produtos, para que eles não precisem ser içados pelas extremidades (figura 81).
- Orifícios de purga e de ventilação devem ser devidamente posicionados e dimensionados para maximizar o índice de drenagem, minimizando a retenção de zinco dos perfis (figura 43 e tabela 16).

9.5 EMBALAGEM E TRANSPORTE DE AÇO GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE

Mesmo que o revestimento galvanizado por imersão a quente seja capaz de suportar tratamentos brutos de modo considerável, ele deve ser manuseado com cuidado durante as etapas de armazenamento e transporte. Em caso de perfis compridos, uma embalagem simples e agrupamento em feixes não só evita danos resultantes de manuseio, como também facilita o próprio transporte. A embalagem e o agrupamento em feixes devem ser realizados de modo a evitar risco de ferrugem branca. Espaçadores devem ser utilizados para facilitar a circulação de ar entre componentes (consulte a foto 10).



Foto 10.



Especificações de Galvanização por Imersão a Quente

Os galvanizadores atuam como empresas subcontratadas de fabricantes de aço e, como tal, relacionamentos são geralmente estabelecidos com fabricantes, em vez dos usuários finais ou especificadores. Portanto, é importante que as exigências de usuários e especificadores referentes à galvanização por imersão a quente sejam claras para o fabricante e que todas as instruções sejam passadas aos galvanizadores pelos fabricantes.

Ao solicitar especificamente o processo de galvanização por imersão a quente, é essencial exigir um revestimento cuja aplicação esteja em conformidade com as exigências contidas nas normas SANS 121/ISO 1461 ou SANS 32/EN 10240, quando aplicável. Isso evitará confusão com os revestimentos de tintas ricas em zinco, frequentemente referidas como galvanização a frio, e galvanoplastia com zinco, referido como eletro-galvanização.

Para garantir os melhores níveis de qualidade e suporte técnico, recomendam-se os membros da Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul.

Quando o processo de galvanização por imersão a quente é aplicado, o substrato de aço é completamente coberto por um revestimento de zinco relativamente uniforme. A espessura de revestimento mínima exigida está relacionada à espessura do aço que passará pelo processo de galvanização por imersão a quente, conforme indicado nas tabelas 19 e 20.

10.1 ESPECIFICAÇÕES DO PROCESSO DE GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

SANS 121/ ISO 1461

Revestimentos galvanizados por imersão a quente em produtos de aço e ferro - Especificações e métodos de ensaio.

SANS 32/EN 10240

Revestimentos protetores internos e/ou externos para tubos de aço - Especificações para revestimentos galvanizados por imersão a quente aplicado em fábricas com processo automatizado (tabela 23).

Observação: As especificações acima substituem a norma **SABS 763**.

SANS 763:1997

Revestimentos de zinco (galvanizados) por imersão a quente (exceto arames e chapas revestidos com zinco por galvanização contínua).

SANS 14713/ISO 14713

Proteção contra corrosão do ferro e aço em estruturas revestimentos de zinco e alumínio Diretrizes..

Observação: As especificações acima

substituem a norma **SABS 0214**.

SANS 4998/ISO 4998

Chapas de aço-carbono de qualidade estrutural revestidas com zinco por processo de galvanização contínua por imersão a quente

SANS 3575/ISO 3575

Chapas de aço-carbono de qualidade comercial, qualidade de estampagem profunda e qualidade para fabricação de dutos revestidas com zinco por processo de galvanização contínua por imersão a quente.

Observação: As duas especificações acima substituem a norma **SABS 934**.

SANS 675:1997

Cerca de arame revestida com zinco.

SANS 935:1993

Revestimentos de zinco (galvanizados) por imersão a quente em arames de aço.

As especificações gerais acerca do processo de galvanização por imersão a quente indicam as espessuras local (mínima) e (média) de revestimento. A espessura realmente alcançada varia de acordo com a composição do aço e isso pode variar, desde o valor mínimo até 50% a mais. Como as expectativas de vida útil normalmente se baseiam na espessura mínima de revestimento, elas geralmente são um tanto conservadoras.

OBSERVAÇÃO 1: A especificação não estipula um limite máximo de espessura de revestimento; no entanto, revestimentos demasiadamente espessos em artigos roscados não são desejáveis. Para garantir uma tração eficiente, a espessura do revestimento em fixadores não deve exceder 65µm - isso se aplica em especial a parafusos e porcas de alta resistência.

Na África do Sul, o Gabinete Sul-Africano de Normas (SABS) adaptou as normas **ISO 1461**, **EN 10240** e **ISO 14713**. Portanto, as normas foram publicadas pelas **SABS** como **SANS 121/ISO 1461**, **SANS 32/EN 10240** e **SANS ISO 14713/ISO 14713**.

10.2 TEMPOS DE APROVISIÃO-NAMENTO (LEAD TIMES)

Em linhas gerais, a maioria dos artigos fabricados pode ser galvanizada por imersão a quente e devolvida ao fabricante entre 3 e 7 dias após recebimento.

Em casos de contratos de grande porte, o galvanizador deve estar envolvido na etapa de estabelecimento de cronograma junto com o fabricante e o usuário final. Normalmente, a galvanização por imersão a quente é o último processo após a fabricação, antes da entrega e montagem. Caso não seja disponibilizado tempo suficiente para a realização do processo de galvanização e inspeções no cronograma geral, poderão ocorrer gastos onerosos como atrasos na etapa de montagem.

| ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO EM ITENS NÃO CENTRIFUGADOS | | | | |
|---|---------------------------------|---------------------------------|--|--|
| SANS 121/ISO 1461:1999 | | SANS 121/ISO 1461:2009 | | |
| PERFIS | Categoria e espessura (t) em mm | Categoria e espessura (t) em mm | Espessura local de revestimento (mínimo) µm* | Espessura média de revestimento (mínimo) µm* |
| | t ≥ 6 | t > 6 | 70 | 85 |
| | t ≥ 3 a < 6 | t > 3 a ≤ 6 | 55 | 70 |
| | t ≥ 1.5 a < 3 | t ≥ 1.5 a ≤ 3 | 45 | 55 |
| OBJETOS FORNIDOS | t < 1.5 | t < 1.5 | 35 | 45 |
| | t ≥ 6 | | 70 | 80 |
| | t < 6 | | 60 | 70 |

■ Indicação de espessura - 3mm > t < 6mm - espessura maior que 3mm mas igual ou menor que 6mm.

Tabela 19.

| ESPESSURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO EM ITENS CENTRIFUGADOS | | | | |
|---|---|---|--|--|
| SANS 121/ISO 1461:1999 | | SANS 121/ISO 1461:2009 | | |
| FIXADORES | Categoria e espessura/diâmetro (t) ou (Ø) em mm | Itens e seu diâmetro (Ø) ou espessura (t) em mm | Espessura local de revestimento (mínimo) µm* | Espessura média de revestimento (mínimo) µm* |
| | Ø ≥ 20 | Ø > 6 | 45 | 50 |
| | 6 ≤ Ø < 20 | Ø ≤ 6 | 35 | 45 |
| | Ø < 6 | | 20 | 25 |
| OUTROS ITENS INCLUIDOS (OBJETOS ENTREGUES) | t ≥ 3 | t ≥ 3 | 45 | 55 |
| | t < 3 | t < 3 | 35 | 45 |

■ Indicação de espessura - Ø > 6 = diâmetro maior que 6mm.

Tabela 20.

OBSERVAÇÕES

* A espessura local de revestimento é definida como a média das medidas tomadas em uma área de referência específica. A espessura média de revestimento é a média de amostra de controle da espessura de revestimento local de cada área de referência.

■ Em casos nos quais é exigida apenas uma área de referência, devido ao tamanho do item, a espessura média do revestimento nesta área de referência será igual à espessura média de revestimento fornecida nas tabelas acima.

■ Desvio do padrão de espessura de revestimento. Pedidos de revestimentos mais espessos (25% mais espessos que o padrão estabelecido na tabela 19) podem ser feitos para componentes não centrifugados, sem afetar questões de conformidade com especificações.

Em áreas nas quais a composição do aço não induz a um nível de reatividade moderado ou alto, revestimentos mais espessos não são obtidos tão facilmente.

■ Consulte o Capítulo 13.8 "Conexões com Parafusos; Fixadores de Alta Resistência" para informações sobre a galvanização por imersão a quente de Fixadores de Alta Resistência.



Qualidade - Inspeções Antes e Após Galvanização por Imersão a Quente

11.1 INSPEÇÕES ANTES DE GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

Revestimentos galvanizados por processo de imersão a quente de boa qualidade em itens fabricados podem ser mais facilmente alcançados caso as técnicas corretas de fabricação sejam seguidas. A inspeção de montagens, objetos fundidos e outros componentes que fazem parte do processo de galvanização por imersão a quente deve ser realizada antes do envio para o galvanizador (tabela 21) para garantir a conformidade com as exigências em termos de design detalhadas no Capítulo 9. Isso pode evitar trabalhos onerosos de retificação e atrasos desnecessários nas instalações dos galvanizadores.

11.2 INSPEÇÕES APÓS GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

Como última etapa do processo, o revestimento galvanizado por imersão a quente é inspecionado para garantia de conformidade com as especificações relevantes. A interpretação dos resultados de inspeção deve ser feita com conhecimentos claros das causas das várias condições que podem ser encontradas e sua potencial influência sobre o objetivo final da proteção contra corrosão de longo prazo.

Os inspetores devem ter em mente que **a finalidade do processo de galvanização por imersão a quente é proteger o aço contra corrosão**. O tempo durante o qual espera-se que esta proteção durará é chamado de "vida útil ou tempo até uma primeira manutenção". Ele é definido como o tempo decorrido até o aparecimento de ferrugem em 5% da superfície de determinado item. **A vida útil de um revestimento galvanizado por imersão a quente está diretamente relacionada à espessura do revestimento protetor de zinco. A proteção contra corrosão alcança seu nível máximo quando o revestimento apresenta sua espessura máxima. Portanto, a espessura do revestimento é o fator de verificação de qualidade mais importante.**

A espessura do revestimento é apenas um aspecto do processo de inspeção. Outros itens

para verificação devem ser incluídos, como continuidade, aderência do revestimento e aparência. Fragilizações e defeitos, que surgem de materiais, projetos e processos de produção específicos, também devem ser considerados ao inspecionar itens suscetíveis.

Embora alguns padrões mínimos devam ser cumpridos em todas essas considerações, sua importância relativa varia de acordo com o uso final do produto acabado. Por exemplo, a aparência estética do aço estrutural galvanizado por imersão a quente em aplicações é muito menos importante do que quando uma determinada estrutura é utilizada com fins decorativos. Compreender as exigências específicas, assim como os limites do que pode ser alcançado pela galvanização por imersão a quente, é essencial para um processo de inspeção eficiente.

11.3 TESTE DE ESPESSURA

Vários métodos são utilizados para determinar a espessura do revestimento de zinco em um item galvanizado por imersão a quente. O tamanho, formato e número de peças a serem testadas determinarão o método a ser utilizado. Métodos específicos de testes podem ser destrutivos ou não destrutivos. Eles estão descritos em detalhes nas normas **SANS 121/ISO 1461** e **SANS 32/EN 10240**. O teste mais prático é o método não destrutivo, que faz uso do princípio eletromagnético para determinar a espessura do revestimento (figura 82).

Itens roscados devem encaixar em peças que se casam e, em caso de montagens que contenham itens roscados interna e externamente, será possível encaixar peças que se casam a mão.

Para itens de tamanho reduzido, especialmente itens de geometria complexa, a norma **ISO 1460** trata das medições gravimétricas que têm por objetivo determinar a massa de revestimento por unidade de área, em vez de determinar a espessura. Neste caso, trata-se de um método de teste destrutivo.

11.4 APARÊNCIA

A capacidade apresentada por um revestimento galvanizado por imersão a quente para atender ao seu principal objetivo, que é proporcionar proteção contra corrosão, deve ser o critério mais importante na avaliação da admissibilidade de um determinado revestimento.

De acordo com as exigências específicas de um revestimento galvanizado por imersão a quente, ele deve ser:

- contínuo,
- relativamente liso,
- sem imperfeições grosseiras,
- sem arestas afiadas (que podem causar lesões), e
- sem áreas não revestidas

A não apresentação de áreas não revestidas está mais bem descrita na norma **SABS 763 4.3.2 b**.

Nesta norma, lê-se:

"A área de um determinado ponto individual nu ou uma área com revestimento escasso não poderá exceder 5 mm². A área total de pontos nus ou áreas com revestimento escasso não poderá exceder 25 mm² por metro de comprimento ou por metro quadrado de superfície de um determinado item."

*Observação: A norma **SABS 763** é obsoleta, mas, para fins práticos, e cláusula acima ainda é utilizada por inspetores de galvanização.*

As exigências acima são de especial importância quando um revestimento orgânico de tinta é subsequentemente aplicado a uma superfície galvanizada. A lisura e a ausência de asperezas, características alcançadas em produtos submetidos a processos mecânicos de limpeza, como arames e chapas de galvanização contínua, não devem ser utilizadas como critério para verificação de acabamento de superfície em produtos galvanizados por imersão a quente em geral. Aspereza e lisura são termos relativos. O uso final de um determinado produto deve ser o fator determinante ao estabelecer padrões.

Para proporcionar um nível de proteção ideal contra corrosão, o revestimento galvanizado por imersão a quente deverá ser contínuo. As técnicas de manuseio de itens galvanizados por imersão a quente podem incluir o uso de lingadas de corrente ou outros itens de manuseio, caso acessórios adequados de içamento não estejam acoplados ao item em questão. Em casos excepcionais, correntes e gabaritos especiais podem deixar uma marca de contato no item galvanizado por imersão a quente. Estas marcas nem sempre são prejudiciais e significam uma recusa do produto. Caso estas marcas sejam maiores que 5 mm, com exposição de aço nu, devem ser realizados os reparos adequados, utilizando o método descrito na norma **SANS 121/ISO 1461**. Consulte o Capítulo 15 - "Renovação de Revestimentos Danificados ou Componentes Galvanizados".

Diferenças no brilho e cor de revestimentos galvanizados por imersão a quente não afetam a resistência à corrosão, assim como a presença ou ausência de flores de zinco não



Figura 82. Utilização de instrumento digital para medir espessura de revestimento de zinco.

LISTA DE VERIFICAÇÃO ANTERIOR AO ENVIO DE PRODUTOS PARA A LINHA DE GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

Tamanho e Formato

Verifique se os produtos possuem tamanho adequado e, caso necessário, se orelhas foram disponibilizadas para as instalações do galvanizador selecionado, nas quais ocorrerão as etapas de manuseio e galvanização. Talvez seja tarde demais para realizar mudanças no projeto; porém, é oneroso despachar produtos que o galvanizador não possui capacidade para processar.

Aço Estrutural

Verifique se os processos de dobramento, punção e cisalhamento foram executados em conformidade com as recomendações encontradas no Capítulo 9.

Galvanização por Imersão a Quente Satisfatória
O respeito aos itens listados abaixo e descritos em detalhes no Capítulo 9 garantirão uma qualidade ideal de produtos galvanizados, minimizando atrasos ou custos adicionais.

1. Verifique se estruturas ocas e recipientes possuem ventilação adequada e se existem orifícios de purga e enchimento, para garantir um processo satisfatório de galvanização por imersão a quente.
2. Verifique se todas as escórias de soldagem foram adequadamente removidas.
3. Verifique se montagens formadas por objetos fundidos e aços com condições de superfície bastante distintas foram limpos por meio de jateamento com abrasivos para minimizar as

Tabela 21.

tem nenhum efeito sobre o desempenho do revestimento. As flores de zinco, efeito bastante conhecido encontrado em superfícies galvanizadas por imersão a quente, é um fator de cristalização primária. Depende principalmente da química do banho de zinco, taxa de resfriamento, método de decapagem, química do aço e espessura do revestimento. Na verdade, revestimentos galvanizados por imersão a quente de cor cinza opaco ou com manchas cinzas foscas possuem uma vida útil igual ou maior que revestimentos com brilho ou flores de zinco. As variações nos acabamentos ou aparências de revestimento são importantes somente na medida em que tais características afetam o desempenho contra corrosão ou o uso pretendido para determinado item. A função principal de um revestimento galvanizado por imersão a quente é proteção contra corrosão. Exigências específicas, além dos padrões estabelecidos na norma **SANS 121/ISO 1461** (por exemplo, aparência estética), devem ser comunicadas ao galvanizador por escrito ou negociadas na etapa de revisão do contrato.

Para cumprir com exigências adicionais, as informações a seguir devem ser solicitadas pelo galvanizador:

- a) Composição do aço.
- b) Identificação de superfícies especiais que necessitam de cuidados próprios.

Superfícies especiais são definidas como aquelas que possuem impacto sobre o desempenho de determinado item.

- c) Caso um acabamento especial seja necessário, um padrão de verificação visual deve ser estabelecido.
- d) Qualquer tipo de tratamento especial exigido antes ou após a galvanização por imersão a quente. Tratamentos especiais podem incluir pinturas após o processo de galvanização por imersão a quente, casos nos quais qualquer tipo de material ou exigência referente a renovações deve ser discutido antes da galvanização.
- e) Consulte o Capítulo 15.
- f) Desvios da espessura de revestimento padrão. Consulte informações abaixo, na tabela 20.

GRAU DE ACHATAMENTO PARA TESTE DE ADERÊNCIA DE REVESTIMENTO PARA TUBOS

| Tipo de tubo | Distância entre pratos |
|---------------------------|--------------------------|
| Quadrado | 75% de lateral |
| Tubo Retangular | 75% do lado menor |
| Redondo < 21,3 mm | 85% de diâmetro exterior |
| Redondo > 21,3 < 48,3 mm | 80% de diâmetro exterior |
| Redondo > 48,3 < 76,1 mm | 75% de diâmetro exterior |
| Redondo > 76,1 < 114,3 mm | 70% de diâmetro exterior |
| Redondo > 114,3 mm | 65% de diâmetro exterior |

Tabela 22.

- f) Presença de superfícies cortadas por plasma, laser ou chamas.
- g) Produtos que incluem cavidades internas, comprovando por escrito que foi disponibilizada ventilação adequada.
- h) Arranjos para inspeção de revestimento.
- i) Verificação de necessidade de certificado de conformidade.

Para garantir uma aparência ideal do revestimento galvanizado por imersão a quente após instalação, consulte a seção Regras de Instalação, figura 106 na página 48.

115 ADERÊNCIA DO REVESTIMENTO

Um nível aceitável de aderência está relacionado às condições práticas referentes às etapas de transporte, montagem e prestação de serviço. Os revestimentos galvanizados por imersão a quente devem possuir uma aderência suficiente, para que suportem instâncias normais de manuseio sem apresentar descascamento ou fraturas escamosas, independentemente da natureza e espessura do revestimento. O processo de dobramento ou deformação, além do processo de despenamento realizado pelo galvanizador após a galvanização por imersão a quente, não é considerado uma instância normal de manuseio.

Quando categorias reativas de aço ou perfis muito espessos são galvanizados por imersão a quente, pode ocorrer o aparecimento de revestimentos mais espessos que o comum. O galvanizador possui controle limitado sobre a formação de revestimentos mais espessos, já que esta é uma função da composição química do aço. Tempos prolongados de imersão também têm uma função

nesse processo. Revestimentos pesados galvanizados por imersão a quente, com mais de 250 µm de espessura, podem ter tendências ao aparecimento de fragilidades. A interpretação dos testes de aderência padrão devem ser considerados. As exigências referentes a um trabalho cuidadoso de transporte, manuseio e montagem devem ser comparados à proteção adicional contra corrosão proporcionada por estes revestimentos mais espessos.

11.6 TESTE DE ADERÊNCIA

Os testes de aderência não medem verdadeiramente a força adesiva da ligação metalúrgica entre o revestimento galvanizado por imersão a quente e o aço base, mas serve como indicador das propriedades de aderência do revestimento.

Teste de Aparas

Este teste simples, porém eficaz, é realizado ao cortar ou abrir espaços no revestimento galvanizado por imersão a quente com uma faca afiada. Uma pressão considerável é exercida, de maneira a remover uma parte do revestimento. A aderência é considerada satisfatória quando é possível remover apenas pequenas partículas do revestimento. Idealmente, não seria possível descascar qualquer porção do revestimento em forma de camada, expondo o ferro ou aço subjacente com o avançar da faca. Embora não mencionado na norma SANS 121/ISO 1461, este teste apresenta significância prática como teste de aderência.

Ensaio de achatamento a frio (tubos galvanizados)

Para comprovar conformidade com a norma SANS 32/EN 10240, o teste mais popular é o ensaio de achatamento a frio, nos termos da norma SANS 8492/ISO 8492. Peças para testes, com no mínimo 40 mm de comprimento, são achatadas entre pratos achatados paralelos, conforme demonstrado na tabela 22. Nenhum tipo de fendimento ou fratura escamosa ocorrerá em superfícies distantes da superfície com corte.

Ensaio de dobramento (tubos galvanizados)

O ensaio de dobramento deverá ser executado utilizando uma máquina de dobramento de tubos, e a peça para teste deverá ser dobrada em 90° por um formador com um raio na parte inferior da ranhura equivalente a oito vezes o diâmetro externo do tubo.

Observação 2 : Caso a exigência acima referente a dobramento seja implantada para a produção de portões e outras aplicações após a galvanização por imersão a quente, a espessura máxima de revestimento não deverá ser maior que 40% mais do que o mínimo exigido na tabela 23.

ESPESURA MÍNIMA DE REVESTIMENTO EM TUBOS DE AÇO NOS TERMOS DA NORMA SANS 32/EN 10240

| CATEGORIA DE REVESTIMENTO | | A1 | A2 | A3 |
|---------------------------|--|-------|-------|-------|
| Obrigatório | Espessura local mínima de revestimento na superfície interna, exceto em filetes de solda | 55 µm | 55 µm | 45 µm |
| | Espessura local mínima de revestimento na superfície interna em filetes de solda | 28 µm | 1) | 1) |
| Opções | Espessura local mínima de revestimento na superfície externa | 2) | 2) | 2) |

| CATEGORIA DE REVESTIMENTO | | B1 | B2 | B3 |
|---------------------------|--|----------|-------|-------|
| Obrigatório | Espessura local mínima de revestimento na superfície externa | 55 µm 3) | 40 µm | 25 µm |

1) Esta exigência não é aplicável

2) Esta exigência se aplica quando compradores especificam a Opção 1

3) Opção 3 especificada (caso >55 µm seja exigido, compradores devem solicitar especificações de acordo com a norma SANS121/ISO 1461)

As categorias de revestimento 'A' e 'B' se referem a aplicações finais - a categoria 'A' se refere a instalações para gás e água, enquanto que a 'B' se refere a outras aplicações. O número seguinte à letra da categoria em questão se refere a exigências específicas em termos de espessura de revestimento. **OBSERVAÇÃO:** Na África do Sul, a norma **SANS 32/EN 10240**, referente à categoria A1, substitui a norma anterior **SABS 763** referente à categoria B4.

Tabela 23.



Resistência à Corrosão de Revestimentos Galvanizados por Imersão a Quente

A vida útil de um revestimento galvanizado por imersão a quente é mais ou menos proporcional à sua espessura em um determinado ambiente. (Tabela 2).

Os revestimentos galvanizados por imersão a quente sobre aço protegem contra corrosão de duas maneiras:

- 1 - Uma barreira de proteção é gerada por uma película praticamente não porosa, que isola o substrato de aço a partir de substâncias que induzem a corrosão, encontradas no ambiente.
- 2 - Proteção catódica ou anódica é proporcionada a pequenas superfícies não revestidas, não havendo avanço de corrosão abaixo do revestimento circundante.

O índice de corrosão do zinco é baixo na maior parte dos ambientes. Isso ocorre devido à formação natural de uma película protetora estável de produtos de conversão de zinco, que se forma na superfície do revestimento.

12.1 TESTE DE CORROSÃO

Resumo

A escolha de revestimentos em termos de resistência à corrosão é um processo que geralmente alia experiência prática e know-how científico. Um tipo de auxílio neste processo é o teste de corrosão.

Testar a resistência à corrosão de materiais é necessário para identificar materiais, revestimentos e designs que ajudarão a evitar danos causados pela corrosão. No entanto, estes testes podem ser confusos e até mesmo enganosos, caso não sejam compreendidos e conduzidos de maneira adequada.



Figura 83. Superfície exposta de revestimento galvanizado por imersão a quente com camada exterior de zinco puro. A superfície brilhosa desaparece, sendo substituída por produtos de corrosão de cor cinza (às vezes chamados de pátina de zinco).

USADO PELA HDGASA PARA DETERMINAR A VIDA ÚTIL DE AÇO GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE EXPOSTO A DIVERSOS AMBIENTES ATMOSFÉRICOS

Fonte de Referência: ISO 9223:1992

| Categoria | Corrosividade | Descrição de uma Atmosfera Tipicamente Corrosiva |
|-----------|---------------|--|
| C 1 | Muito baixa | Interior: seco |
| C 2 | Baixa | Interior: condensação ocasional Exterior: zona rural no interior, exposta aos elementos |
| C 3 | Média | Interior: alta umidade, um tanto de poluição atmosférica Exterior: zona urbana no interior ou com leves características costeiras |
| C 4 | Alta | Interior: piscinas, fábricas químicas, etc. Exterior: zona industrial no interior ou urbana costeira |
| C 5 | Muito Alta | Exterior: zona industrial com alto nível de umidade ou costeira com alto índice de salinidade |

Tabela 24. Descrição das categorias de corrosividade atmosférica.

As descrições detalhadas na Tabela 24 devem ser vistas como um guia geral e recomenda-se que análises das condições reais dos ambientes sejam executadas antes da confirmação da categoria de corrosão. Uma análise geral de estruturas galvanizadas por imersão a quente existentes é um método ideal utilizado para estabelecer as condições de corrosão na área total de uma localidade em especial.

| Corrosividade | Índices de Corrosão (r_{corr}) de Aço com Revestimento Galvanizado por Imersão a Quente (Referência: ISO 1461:2009) | | | | |
|---------------|---|---------------------------|---|--|------------------------------|
| | Unid | Zinco | 55 μ m para aço $\geq 1,5$ mm a ≤ 3 mm | 70 μ m para aço > 3 mm a ≤ 6 mm | 85 μ m para aço > 6 mm |
| C 1 | μ m/a | $r_{corr} \leq 0.1$ | > 100 anos | > 100 anos | > 100 anos |
| C 2 | μ m/a | $0.1 < r_{corr} \leq 0.7$ | ≤ 78.5 anos | > 100 anos | > 100 anos |
| C 3 | μ m/a | $0.7 < r_{corr} \leq 2$ | $26 \leq 78,5$ anos | $33 \leq 100$ anos | $40 \leq 100$ anos |
| C 4 | μ m/a | $2.1 < r_{corr} \leq 4.2$ | $13 \leq 26$ anos | $16 \leq 33$ anos | $20 \leq 40$ anos |
| C 5 | μ m/a | $4.2 < r_{corr} \leq 8.4$ | $6,5 \leq 13$ anos | $8,3 \leq 16$ anos | $10 \leq 20$ anos |

Tabela 25. Tempo estimado de vida útil para aço galvanizado por imersão a quente, em conformidade com a norma SANS 121 (ISO 1461:2009) e sujeito à classificação de ambientes atmosféricos nos termos da norma ISO 9223:1992.

Os números que indicam o tempo estimado de vida útil encontrados na tabela 25 servem como um guia geral e recomenda-se que uma análise mais detalhada das condições ambientais reais na localidade em questão seja realizada para definir uma estimativa de longevidade para o aço revestido por processo de galvanização por imersão a quente. É importante perceber que as especificações gerais referentes à galvanização por imersão a quente indicam a espessura local (mínima) e média de revestimento (consulte tabelas 19 e 20). A espessura realmente alcançada varia de acordo com a composição do aço e isso pode variar, desde o valor mínimo até 50% a mais. Como as expectativas de vida útil encontradas na tabela 25 se baseiam na espessura mínima de revestimento, elas geralmente são um tanto conservadoras.

Ensaios padronizados

Diversos tipos de ensaios de corrosão foram desenvolvidos. Alguns são ensaios padronizados pensados por associações como a ASTM ou a Associação Nacional de Engenheiros Especializados em Corrosão (NACE). Outros ensaios se tratam de testes internos criados para simular condições reais de localidades específicas.

Os ensaios padronizados possuem as vantagens de reprodutibilidade e aceitação geral. Normalmente, estes ensaios foram avaliados em diversos locais (ensaios interlaboratoriais) para verificar se os resultados não são afetados por condições locais.

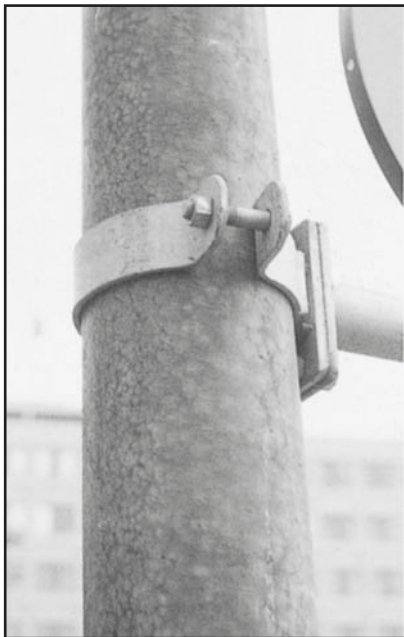


Figura 84. Superfície descolorida de poste de iluminação. O revestimento é formado principalmente por uma ligação de ferro/zinco que cresce a partir da superfície. Ferro é liberado durante a corrosão, o que leva à formação de ferrugem. Trata-se somente de ferrugem superficial, de importância somente estética. O suporte de sinalização de trânsito possui revestimento de zinco puro como camada exterior.

Porém, existem tantos fatores que afetam a corrosão que estes ensaios padronizados podem não simular condições locais de maneira adequada. Por exemplo, um dos ensaios mais utilizados de resistência à corrosão é o teste por borrifo salino ASTM B117. Os resultados deste ensaio ainda são frequentemente mencionados em especificações de produtos automotores, embora este ensaio tenha sido virtualmente descartado por fabricantes de automóveis, principalmente porque demonstra que o aço revestido com zinco não apresenta um desempenho tão bom em aplicações automotoras quando o aço laminado a frio. Experiências em campo demonstram que o contrário é verdade.

Ensaio eletroquímico são mais atraentes por conta de sua precisão. Ao fazer a imersão de eletrólitos compostos pelos materiais avaliados no eletrólito ao qual os materiais serão expostos durante suas aplicações, uma pilha galvânica é criada de maneira semelhante a uma bateria. Já que a corrosão é um processo eletroquímico, o fluxo de corrente e potencial medidos entre os eletrodos podem ser correlacionados aos índices de corrosão. No entanto, estes ensaios não refletem necessariamente condições reais de serviço, como quando os materiais são repetidamente molhados e secados. Sem parâmetros válidos, os resultados dos ensaios eletroquímicos podem ser tão enganosos quanto qualquer outro teste de corrosão.

Outro erro comum em ensaios de corrosão ocorre ao tentar extrapolar dados de longo prazo a partir de ensaios de curto prazo, ou a confiar em dados obtidos a partir de uma única amostra. Caso o processo de corrosão não alcance um nível estável durante o ensaio, os resultados poderão ser enganosos. O uso de diversas amostras também é

recomendado para obter uma boa amostragem estatística.

12.2 RESISTÊNCIA À CORROSÃO NA ATMOSFERA

Quando um item galvanizado por imersão a quente é retirado do banho de zinco, a superfície de revestimento imediatamente reage com o oxigênio e umidade, formando combinações de óxido de zinco e hidróxido de zinco. O dióxido de carbono presente na atmosfera rapidamente converte estes produtos de conversão na superfície em uma película básica de carbonato de zinco, com alto grau de aderência e estabilidade, com baixo índice de solubilidade. Isso evita ataques futuros ao zinco subjacente. A superfície inicial, com brilho e lustre metálico, desaparece, sendo substituída por outra de aparência fosca e cor cinza-claro.

A atmosfera contém substâncias mais ou menos corrosivas, como cloretos, em ambientes marítimos, e dióxido de enxofre, que está associado à poluição industrial. Os níveis de umidade, padrões de chuva e condensação influenciam o grau de corrosão. Esses fatores podem ocorrer em sequências favoráveis ou desfavoráveis, um após o outro, alternadamente, ou em combinação uns com os outros.

Normalmente, os índices de corrosão podem ser diferenciados da seguinte maneira:

1. ambientes rurais
2. ambientes marítimos (costeiros)
3. ambientes urbanos
4. ambientes industriais

(Consulte as tabelas 24 e 25)

A atmosfera em áreas industriais e urbanas contém diversos poluentes. Eles podem atacar a película estável de carbonato de zinco, produzindo produtos mais solúveis, que podem ser enxaguados e eliminados. Consequentemente, o índice de corrosão do aço galvanizado acelerará. Controles ambientais modernos estão gerando níveis mais baixos de poluição; dessa forma, a galvanização por imersão a quente proporciona bons índices de proteção em locais nos quais, anteriormente, a vida útil do revestimento era limitada.

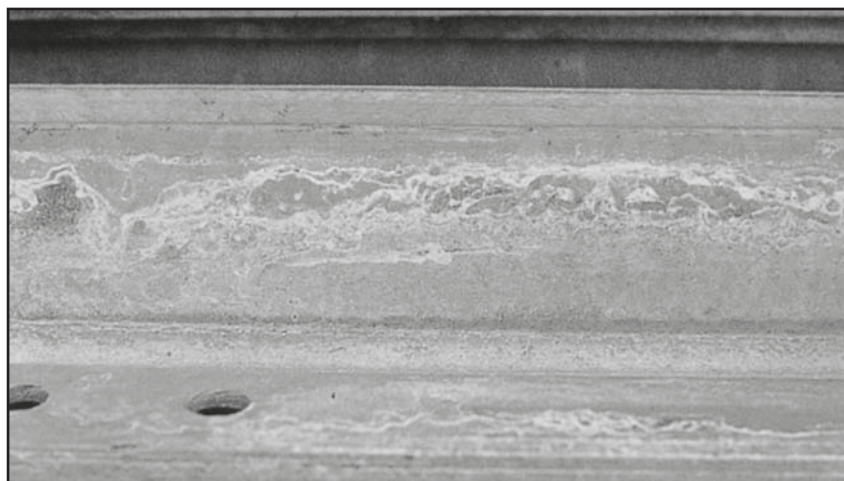


Figura 85. Ferrugem branca formada entre cantoneiras hermeticamente embaladas.

Em ambientes marítimos, a corrosão do zinco é influenciada pelo teor de sal no ar. Porém, a atmosfera de ambientes marítimos contém pequenas quantidades de sais de magnésio, que apresentam boa influência em termos de passivação. Portanto, a corrosão não é tão grande quando se poderia estimar. Normalmente, o teor de sal na atmosfera diminui rapidamente à medida que se afasta da costa, em até 80% nos primeiros 800 m após o nível máximo de maré cheia encontrado.

A cor dos produtos de corrosão do zinco varia de acordo com ambiente no qual eles são formados. Ambientes marinhos geram produtos de corrosão de coloração relativamente branca, em comparação com ambientes rurais e urbanos. Geralmente, os produtos de corrosão são mais escuros em ambientes urbanos.

A corrosão do zinco é influenciada por diversos fatores. Isso significa que uma fórmula geral para obtenção de índices de corrosão não pode ser disponibilizada.

A natureza onipresente da galvanização por imersão a quente significa que sempre existe um produto, como um poste de iluminação ou uma cerca perto de um local para futuras aplicações, que pode ser utilizado para realizar estimativas de desempenho.

Frequentemente, a Associação de Galvanizadores se envolve na análise das condições de corrosão presentes em determinado local, antes da definição de especificações finais referentes a revestimentos. Portanto, o conhecimento sobre o processo de corrosão do zinco, além dos índices de corrosão em ambientes diversos, é amplo.

Descoloração castanho avermelhada

Alguns tipos de aço galvanizado por imersão a quente podem apresentar uma cor castanho avermelhada após determinado período de exposição. Após um período prolongado de exposição, especialmente em atmosferas ricas em zinco, este tipo de descoloração pode gradualmente adquirir uma cor negra. Esta descoloração ocorre principalmente em revestimentos compostos principalmente por uma ligação de ferro/zinco em aços acalmados com silício.

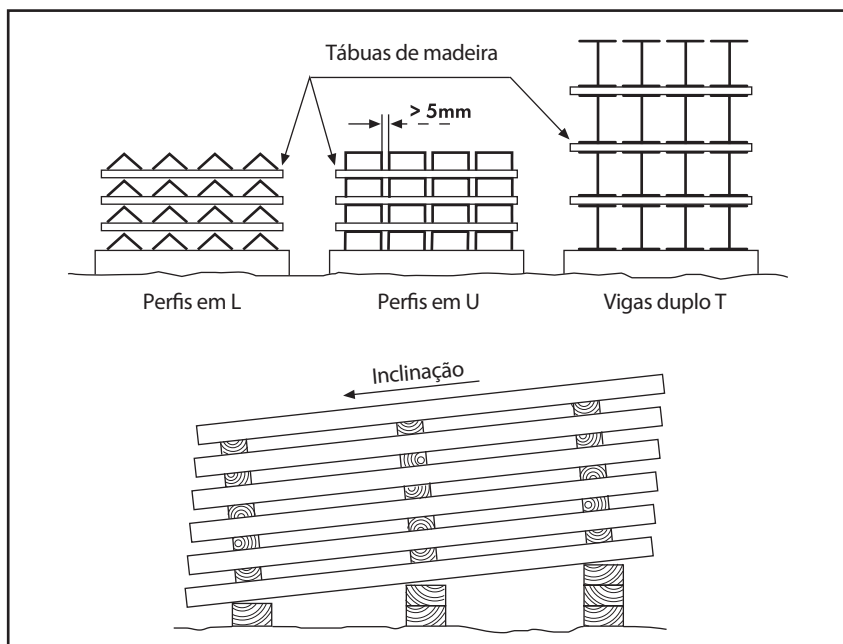


Figura 86. Para evitar a formação de ferrugem branca em superfícies recém-galvanizadas, os perfis de aço, vigas e estruturas devem ser embalados em um determinado ângulo e girados para evitar a acumulação de água. Espaçadores são utilizados para evitar o aparecimento de fendas entre as superfícies de zinco.

| | |
|---|---|
| Extremidade eletropositiva - metais mais nobres | Ouro |
| | Prata |
| | Aço inoxidável (304) |
| | Níquel |
| | Monel |
| | Liga de bronze-alumínio (95% Cu, 5% Al) |
| | Cobre |
| | Latão |
| | Estanho |
| | Chumbo |
| Extremidade eletropositiva - metais mais reativos | FERRO FUNDIDO, não ligado |
| | AÇO-CARBONO |
| | Cádmio |
| | Alumínio |
| | ZINCO |
| | Magnésio |

Tabela 26. Escala de potencial eletroquímico em água do mar a mais de 25°C.



Figura 87. Parafuso galvanizado em contato com uma placa tipo 3CR12 após o ensaio SO2 de ciclo 10. Repare a proteção catódica proporcionada pela cabeça do parafuso galvanizado ao aço adjacente.

12.3 CORROSÃO BRANCA

Ocasionalmente, um revestimento volumoso, em pó, de cor branca, denominado corrosão branca, ou ferrugem branca, aparece em superfícies galvanizadas (figura 85).

Tais depósitos se formam em superfícies recém-galvanizadas, com brilho, especialmente entre chapas e perfis em L hermeticamente embalados, além de produtos similares. Um pré-requisito é que o material seja exposto à água da chuva ou condensada em condições nas quais a umidade não pode evaporar rapidamente. As superfícies de zinco que já formaram uma camada protetora de produtos de conversão dificilmente são atacadas.

Quando superfícies recém-galvanizadas são expostas à atmosfera, são formados hidróxidos de zinco e óxidos de zinco solúveis.

Sob a influência de dióxido de carbono presente no ar, forma-se carbonato de zinco de composição simples. Caso o acesso de ar à superfície de zinco seja restrito, como no caso de fendas estreitas, a área acaba recebendo uma carga insuficiente de dióxido de carbono, o que permite a formação da camada de carbonato de zinco.

Os depósitos de corrosão branca são volumosos e porosos, ligeiramente fixados à superfície de zinco. Como resultado, não existe proteção continuada contra ataques. Portanto, a corrosão continua enquanto houver umidade nas superfícies. Quando há a ocorrência de corrosão branca, o objeto deve ser empilhado, para permitir que as superfícies sequem rapidamente. Isso interromperá o ataque e, com o livre acesso de ar, a camada protetora poderá ser forma-

A fonte de descoloração é resultado da corrosão da liga de ferro/zinco que forma ferrugem na presença de ar úmido ou de água da chuva. A ferrugem possui grande capacidade de gerar manchas e, mesmo em pequenas quantidades, pode causar um nível considerável de descoloração.

Às vezes, quando a descoloração é grave, naturalmente conclui-se que a proteção contra ferrugem foi significativamente reduzida, ou totalmente destruída. No entanto, dificilmente este é o caso. As ligas de ferro/zinco proporcionam um melhor nível de proteção (até 30-40% a mais na maior parte dos ambientes) ao aço subjacente, quando comparadas ao zinco puro.

Se a aparência for uma característica importante, as superfícies que apresentam descoloração podem ser pintadas (figuras 30, 31 e 84).

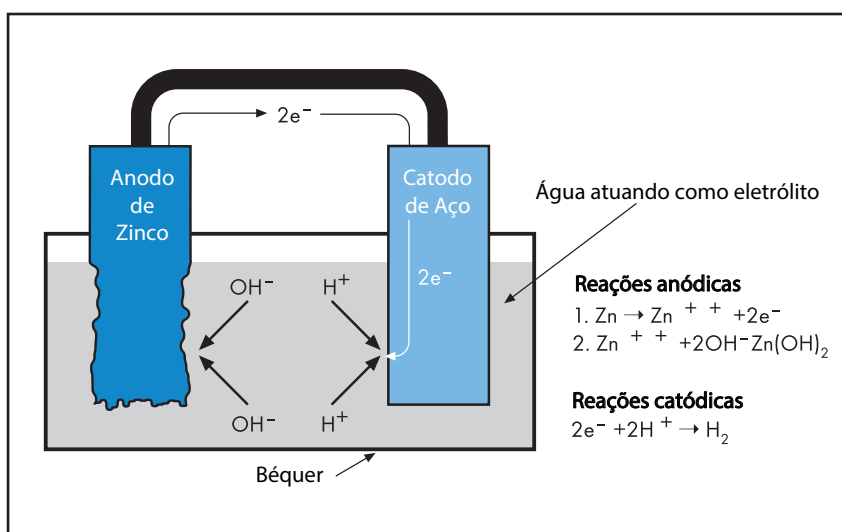


Figura 88. Corrosão galvânica do zinco em contato com aço na água.



Figura 89. Após 20 anos de exposição em ambiente marítimo, esta grade de aço galvanizado por imersão a quente, sem reparos e cortada in loco, ainda oferece proteção catódica nas extremidades de corte.

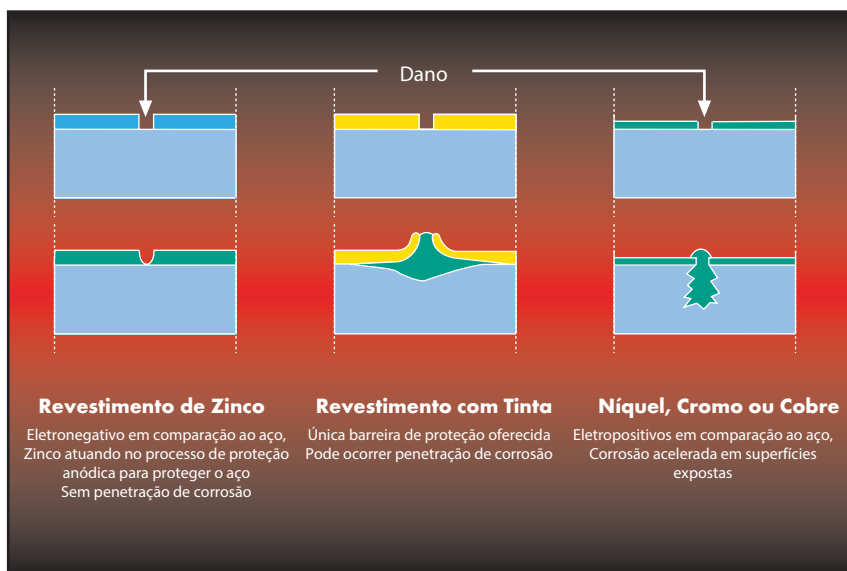


Figura 90. Diagrama esquemático para ilustrar as consequências de danos a diferentes tipos de revestimento que oferecem proteção contra corrosão.

da. A corrosão branca desaparece gradualmente e o revestimento adquire uma aparência que é normal para aços galvanizados por imersão a quentes expostos.

Visto que o produto derivado da corrosão branca é bastante volumoso (cerca de 4,5 vezes o volume sólido de zinco a partir do qual ele é formado), qualquer ataque pode parecer algo grave. Apesar de a corrosão branca frequentemente possuir pouco ou nenhum impacto sobre a vida útil do revestimento, no caso de revestimentos muito finos, um grave ataque pode resultar num impacto significativo.

A melhor maneira de evitar a corrosão branca é evitar que superfícies galvanizadas embaladas hermeticamente entrem em contato com água condensada ou da chuva. Materiais recém-galvanizados expostos a intempéries devem ser empilhados de modo que haja circulação livre de ar (figura 86). Pode-se obter proteção temporária contra corrosão branca através de processos

de cromatação ou fosfatação.

A corrosão branca já formada pode ser parcial ou completamente removida através de um tratamento moderado mecânico ou químico. Consulte "Remoção de Ferrugem Branca" na página 16.

12.4 CORROSÃO ELETROLÍTICA, GALVÂNICA E CORROSÃO GALVÂNICA POR CONCENTRAÇÃO DIFERENCIAL EM CANTOS, RANHURAS, RECESSOS, ETC.

A corrosão pode ser definida como um processo eletroquímico. A corrosão eletrolítica ou galvânica ocorre quando dois metais ou duas ligas diferentes, na presença de um eletrólito, estão em contato elétrico direto. A teoria de corrosão de base afirma que, para que a corrosão ocorra, são necessários quatro requisitos fundamentais, isto é, um anodo, um catodo, um eletrólito e um circuito elétrico. Caso um desses requisitos não esteja presente, a corrosão é interrompida



Figura 91. No caso de fixadores de aço inoxidável ligados a placas galvanizadas por imersão a quente em condições de imersão, observe o ataque anódico do revestimento de zinco ao redor de fixadores sem isolamento, ao contrário de fixadores com isolamento que não ocorrem ataques do zinco adjacente.

(figura 88). Metais diversos possuem potenciais eletroquímicos distintos, conforme indicado na tabela 26. Os metais mais reativos, de maior eletronegatividade, corroerão, em vez dos metais mais eletropositivos em situações nas quais os dois estão em contato elétrico direto - isto é - o anodo é atacado enquanto o catodo é protegido. A escala de potencial elétrico de alguns metais pode variar, dependendo do eletrólito, mas as informações contidas na tabela 26, relacionadas à água do mar, são comuns para a maior parte dos líquidos.

Caso itens galvanizados por imersão a quente entrem em contato com latão, aço inoxidável ou aço tipo 3CR12, eles assumirão o papel de catodos e serão preferencialmente atacados (figuras 87, 91 e 92). Por outro lado, caso o aço seja associado a cádmio, alumínio, zinco ou magnésio, ele assumirá o papel de catodo e será protegido, enquanto o material anódico é consumido.

Revestimentos galvanizados por imersão a quente oferecem principalmente uma barreira protetora, já que, na maior parte dos ambientes, a corrosão ocorre numa velocidade relativamente mais baixa do que a apresentada pelo aço. A segunda linha de defesa se trata da proteção catódica ou anódica em pequenas superfícies não revestidas, proporcionadas pelo potencial eletronegativo do zinco, em relação ao aço-carbono.



Figura 92. Parafuso de latão em aço galvanizado por imersão a quente em cobertura de estacionamento.

Revestimentos de zinco sobre aço é algo incomum, já que uma área substancialmente grande de danificação de revestimento não resulta em níveis catastróficos de corrosão (figuras 89 e 90). O intervalo de variação da proteção catódica depende da espessura e da natureza do eletrólito que gera a pilha galvânica. Para estruturas expostas a atmosferas normais, é normal que se espere uma ação protetora de vários milímetros. No entanto, na presença de água do mar, espera-se proteção com tamanhos ainda maiores.

O impacto da corrosão eletrolítica pode ser evitado com aplicação de tinta ou outro material isolante entre os diferentes metais.

O conceito de proteção anódica é orientado para oferecer proteção catódica a estruturas sujeitas a condições severas de corrosão, como imersão em águas com substâncias agressivas ou solos com alto índice de corrosão. Os anodos de zinco ou magnésio são fixados a componentes de aço para oferecer proteção ao aço. Estes anodos são substituídos depois de serem consumidos.

Componentes galvanizados por imersão a quente, quando em contato com condutores de alumínio, podem necessitar do uso de um composto condutor de eletricidade nas superfícies em contato para repelir umidade e inibir o aparecimento de corrosão.

A corrosão em fendas pode ocorrer em condições de alta umidade em superfícies sobrepostas de produtos galvanizados por imersão a quente. Isso pode ser evitado com a aplicação de um composto inibidor nas superfícies de contato, em conformidade com a norma SANS 1305. Também pode ser utilizado um tipo de tinta adequado à situação. As superfícies de produtos galvanizados por imersão a quente em contato com outros materiais também podem precisar de isolamento.

12.5 RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE REVESTIMENTOS GALVANIZADOS POR IMERSÃO A QUENTE EM CONDIÇÕES AQUOSAS

Geral

O carbonato de zinco, que forma a película protetora sobre revestimentos galvanizados por imersão a quente, é relativamente

insolúvel em água. No entanto, esta estabilidade está restrita a um intervalo de pH ácido/alcalino que vai de 6 a 12,5. O zinco é um composto naturalmente anfotérico, isto é, ele forma sais solúveis com valores de pH altos e baixos. Isto é claramente indicado na figura 93.

Não obstante o exposto acima, a água contém diversos sais dissolvidos, assim como dióxido de carbono e oxigênio em solução. Matéria orgânica pode ser apanhada pela água à medida que ela passa pela vegetação. Isso também pode contribuir consideravelmente com a corrosão em algumas situações. Os efeitos da qualidade da água no índice de corrosão estão resumidos na figura 94.

Em águas de tipo mole, a corrosão do zinco é acelerada. Além disso, a tolerância a sais de cloreto é reduzida. É necessário um nível reserva de alcalinidade para estabilizar a película de carbonato de zinco. Geralmente, presume-se que seja na ordem de 50 - 75 mg/l (CaCO_3). Em águas duras, os altos níveis de cloreto (>2000 mg/l) podem ser tolerados. Geralmente, sulfatos, nitratos e fosfatos são considerados substâncias protetoras de galvanização por imersão a quente. Todavia, quando combinados a compostos de amônia (como fertilizantes), pode haver a formação de compostos solúveis de zinco, resultando no aparecimento de condições ácidas e em ataques ao aço galvanizado por imersão a quente. Compostos orgânicos, como taninos, interromperão a corrosão do aço galvanizado por imersão a quente, mas o depósito de sólidos pode gerar condições de corrosão galvânica por concentração diferencial em cantos, ranhuras, recessos, etc. Da mesma forma, a acumulação de limo deve ser evitada, já que isso pode ocasionar um processo de corrosão induzida microbiologicamente (MIC), resultando num ataque de rápida ação.

A velocidade de fluência/escoamento deve ser mantida em níveis suficientemente altos, para garantir que todos os detritos permaneçam em suspensão em vez de formarem depósitos. "Boas práticas" relacionadas a sistemas de vazamento devem ser regularmente consideradas. Isso deve ser executado em todos os sistemas

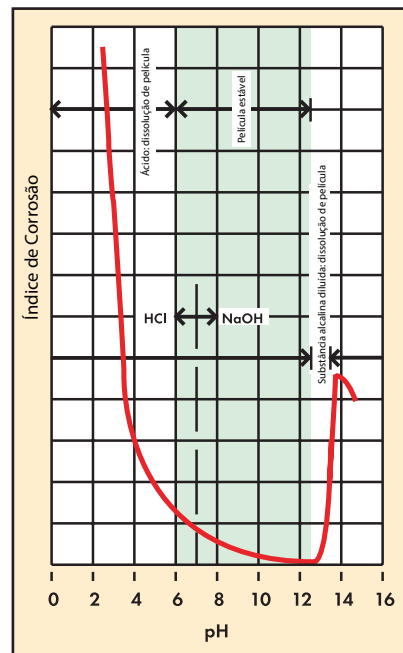


Figura 93. A influência do pH sobre o índice de corrosão do zinco em soluções arejadas (sem CO_2). (NaOH e HCl diluídos a 30°C). Observação: A curva só se aplica em casos de exposição contínua, sob condições específicas. Sob outras condições, ela pode ser usada como um guia de referência. Em águas duras/incrustantes, são formadas camadas protetoras que modificam substancialmente a curva.

de proteção contra incêndios; no entanto, já que a água que entra nestes sistemas geralmente apresenta uma boa qualidade, os índices de corrosão tendem a ser baixos, desde que não ocorra MIC. Em todas as instâncias, o desempenho contra corrosão de tubos galvanizados em sistemas de proteção contra incêndios é muito maior do que o do aço nu. A corrosão que ocorre sob depósitos acumulados ou a corrosão galvânica por concentração diferencial nos cantos, ranhuras e recessos podem ocorrer em locais nos quais os sedimentos se acumulem de modo denso e compactado. Isso pode resultar no aparecimento de locais anaeróbicos propícios para a formação de MIC.

Em circunstâncias normais, a quantidade de oxigênio dissolvido em água seria suficiente para garantir o não surgimento de qualquer tipo de efeito deletério. No entanto, condições sépticas ou anaeróbicas podem afetar negativamente tubos galvanizados por imersão a quente, como é o caso com outros metais. Para água potável, geralmente se aplica algum tipo de cloração. Portanto, em sistemas normais de distribuição, não devem ocorrer condições que resultem na formação de MIC. Ao testar linhas de água, é importante que água limpa seja utilizada e que o sistema seja drenado, caso ele seja inutilizado por um determinado período de tempo. A cloração não possui qualquer efeito sobre as propriedades protetoras resultantes do processo de galvanização. Níveis elevados de oxigênio aceleram a velocidade de corrosão do zinco. Da mesma forma, níveis elevados de dióxido de carbono tendem a gerar condições ácidas, o que pode acelerar a corrosão em sistemas de fluxo.

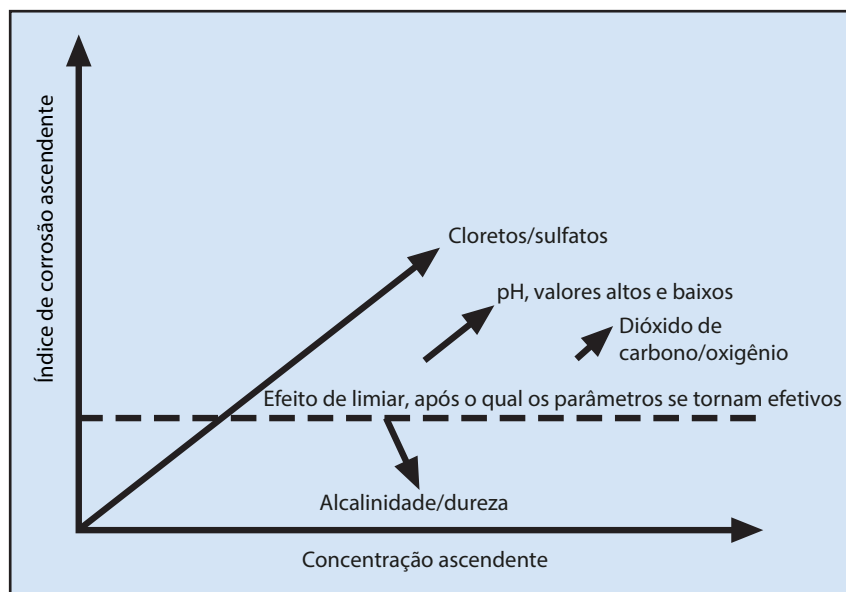


Figura 94. Efeitos da qualidade da água sobre o índice de corrosão de revestimento galvanizado por imersão a quente

| No. | Agressividade | Solo - Condição | Resistividade em Ohms | Método de proteção |
|-----|---------------|---|-----------------------|---|
| 1 | baixa | seco | >100 | Galvanização por imersão a quente > 200 µm |
| 2 | baixa | úmido | >450 | Galvanização por imersão a quente > 200 µm |
| 3 | moderada | seco | <100 | Galvanização por imersão a quente > 200 µm, além de uma margem de tolerância de ferrugem do material base de 0,5 mm em cada lado. |
| 4 | moderada | úmido | 150-450 | Idêntico ao item 3. |
| 5 | alta | úmido | 50-150 | Galvanização por imersão a quente > 200 µm, além de uma margem de tolerância de ferrugem do material base de 1 mm em cada lado. |
| 6 | muito alta | úmido (Em alguns casos, pode haver a formação de H ₂ SO ₄). | <50-150 | Idêntico ao item 5, mas com uma margem de tolerância de ferrugem de 1,5mm em cada lado. |

Tabela 27. Agressividade do solo em diferentes níveis de resistividade com revestimentos galvanizados por imersão a quente

Efeitos da temperatura da água

Tubos galvanizados por imersão a quente são utilizados para fornecimento de água quente, sem efeitos deletérios em muitas aplicações. Entretanto, com temperaturas acima de 65°C, o zinco não consegue proteger o aço exposto. Portanto, recomenda-se que sistemas galvanizados por imersão a quente não sejam expostos a temperaturas acima de 65°C.

A Eskom (estatal de energia elétrica da África do Sul) recomenda que, com isolamento adequado dos tubos, a temperatura máxima em cilindros utilizados para água quente não ultrapasse 60°C. Portanto, para fins práticos, tubos galvanizados por imersão a quente podem ser utilizados em sistemas de transporte de água quente e fria.

Em sistemas domésticos, o cobre só deve ser utilizado a jusante de tubos galvanizados por imersão a quente. Isso evitará a possibilidade de corrosão localizada por cavitação.

Efeitos da água do mar

Os revestimentos galvanizados por imersão a quente apresentam um desempenho relativamente bom em condições nas quais se encontram submersos em água do mar, que apresenta um alto nível de corrosão para a maior parte dos sistemas protetores. Os sais dissolvidos presentes na água do mar reagem com o zinco, formando uma camada protetora, que minimiza a ação corrosiva. O pH da água do mar tende a ser constante globalmente, como resultado da ação de tampão dos sais de carbonato de hidrogênio presentes. A presença de poluentes também não apresenta risco de danos, desde que os níveis de poluição estejam dentro das normas internacionalmente aceitas.

Um simples nomograma (tabela 29) foi produzido para permitir que especificadores determinem a adequação do processo de galvanização por imersão a quente para a proteção de tubos de aço em ambientes com presença de água. Isso serve como um guia, criado com base na qualidade da água e nas condições gerais operacionais mais prováveis de serem encontradas. Informações mais detalhadas podem ser encontradas na norma ARP 060: Guia sobre o uso e aplicação de tubos de aço galvanizado por imersão a quente para o transporte de água potável na África do Sul.

12.6 RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE REVESTIMENTOS GALVANIZADOS POR IMERSÃO A QUENTE EM CONDIÇÕES AQUOSAS

O solo pode conter materiais desgastados por intempéries, sais livres ou ligados, ácidos e álcalis, misturas de substâncias orgânicas, micro-organismos e fungos decompositores, entre outros componentes. Dependendo de sua composição, o solo possui diferentes graus de permeabilidade do ar e umidade. Normalmente, o teor de oxigênio é menor do que o teor no ar, enquanto que o teor de dióxido de carbono é maior. Portanto, as condições de corrosão no solo são muito complexas e pode haver grandes variações entre locais distintos, mesmo locais consideravelmente próximos.

Os solos encontrados na África do Sul variam de solos com alto nível de corrosão em algumas áreas, a nível moderado, em outras.

Um método para determinar a corrosividade do solo é medir sua resistividade. Recomendações podem ser encontradas na tabela 27.

Caso a resistividade do solo não possa ser determinada, o método indicado na tabela 28 serve como regra prática, fornecendo uma medida para orientação. Em casos nos quais a exposição de metais ao solo for uma preocupação, recomenda-se buscar conselhos de fontes qualificadas.

12.7 AÇO GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE EM CONTATO COM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Argamassa, gesso e madeira

Gesso e argamassa em estado úmido atacam o zinco. O ataque é interrompido quando o material seca. Madeira seca, ou relativamente úmida, seja impregnada ou não impregnada, pode ser fincada com pregos galvanizados por imersão a quente, com bons resultados. Todavia, em caso de pregos ou acessórios de união roscados constantemente expostos à água, é preferível optar por um material resistente à acidez. Outros materiais de construção secos, como lã mineral, não atacam o zinco.

Madeira com propriedades ácidas não devem entrar em contato com aço galvanizado.

| Tipo de solo | Agressividade |
|---|---------------|
| Cal, marga calcária, morena, marga arenosa. | Baixa |
| Areia, cascalho | Moderado |
| Argila, turfeira, solo pantanoso | |
| solos ricos em húmus | Alta |

Tabela 28. Corrosividade de diferentes tipos de solo

| VALOR | PARÂMETRO | UNIDADE | CLASSIF. |
|--|--|--------------------------|-------------------------|
| CONDIÇÃO DA ÁGUA | | | |
| A | Corrente Parada Anaeróbica | | |
| ÍNDICE DE CORROSIVIDADE* | | | |
| B | <1 ≥1, <2 ≥2, <5 ≥5 | | 0 -1 -2 -4 |
| ALCALINIDADE TOTAL | | | |
| C | <50 ≥50, <200 ≥200, ≤300 >300 | ppm (CaCO ₃) | -1 1 0 -1 |
| DUREZA DO CÁLCIO | | | |
| D | <50 ≥50, <200 ≥200 | ppm (CaCO ₃) | -1 2 3 |
| pH | | | |
| E | <5.5 ≥5.5, <6.5 ≥6.5, ≤7 >7 | | -6 -4 -1 1 |
| ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO DE CARBONATO DE CÁLCIO | | | |
| F | <-2 ≥-2, <0 0 >0, ≤6 >6 | | -2 -1 0 1 0 |
| Probabilidade = Soma (de A a F) | | | |
| Resultado | Desempenho | | |
| Maior que 1 | Satisfatório (+25 anos) | | |
| de 1 a -1 | Regular | | |
| de -3 a -5 | Insatisfatório | | |
| * O índice de corrosividade (B) pode ser calculado com a seguinte fórmula: $-(C1 \times 0,03) + (SO4 \times 0,04)$ | | | |

Tabela 29. Probabilidade de desempenho

Concreto

Reforços não protegidos podem sofrer corrosão em certos ambientes quando umidade penetra pelo concreto através de rachaduras e poros. Já que a ferrugem possui um volume maior do que o aço a partir do qual ela é formada, a camada de cobertura sobre o reforço pode rachar e esboroar.

Componentes de aço, como parafusos e proteção de arestas parcialmente cobertos por uma fina pasta de argamassa, encontram-se frequentemente não tão bem protegidos contra ferrugem. Além da formação de rachaduras e carepas, há também o problema de manchas de ferrugem desagradáveis que aparecem na superfícies de concreto abaixo.



Figura 95. Vergalhões para concreto armado galvanizados por imersão a quente antes da aplicação de concreto, ambiente marítimo.

Este tipo de dano pode ser evitado caso o aço para concreto armado seja galvanizado por imersão a quente (figura 95). Portanto, malhas ou aços para concreto armado galvanizados por imersão a quente podem ser utilizados em perfis de fachada parcialmente cobertos por uma fina pasta de argamassa. Uma das vantagens desta aplicação é que não há riscos de que a ferrugem descolore a fachada.

De acordo com o Estabelecimento de Pesquisa de Edificações (BRE) Britânico, a aderência média de aço liso para concreto armado é a seguinte:

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| aço galvanizado por imersão a quente | 3.3-3.6 MPa |
| aço preto | 1.3-4.8 MPa |

Testes de aderência aço-concreto (pull-out) realizados in loco confirmam tais resultados. O intervalo abrangente apresentado pelo aço preto se origina dos diferentes graus de ferrugem e composição de camadas de óxidos.

De acordo com um trabalho realizado na Finlândia, a resistência aproximada para 0,1 mm de escorregamento em vergalhões para concreto armado é a seguinte:

| | |
|--|---------|
| aço preto | 150 MPa |
| aço galvanizado por imersão a quente | 160 MPa |
| aço galvanizado por imersão a quente e aço cromado | 190 MPa |

Quando o concreto é moldado, seu pH é de aproximadamente 13. Com este pH, o zinco novo é atacado, produzindo hidrogênio, o que pode resultar em uma aderência ineficiente. Entretanto, o ataque é interrompido assim que o concreto endurece e quaisquer poros residuais não constituem ameaça.

Para evitar que superfícies de zinco novo entrem em contato direto com concreto fresco, recomenda-se deixar que o aço galvanizado envelheça por várias semanas. A camada de cobertura de carbonatos básicos que aparece posteriormente minimizará os ataques e a produção de gás, além de promover aderência. Outra maneira comum

de limitar a reação com o concreto fresco é cromar o aço galvanizado. Outra alternativa é adicionar cerca de 40 ppm (por massa) de cromatos à água quando o concreto for misturado.

12.8 RESISTÊNCIA À ABRASÃO DE REVESTIMENTOS GALVANIZADOS

O zinco puro é um metal macio, embora seja mais duro que a maior parte dos materiais orgânicos de revestimento. No entanto, as ligas de ferro/zinco produzidas em revestimentos galvanizados por imersão a quente são muito duras. Na verdade, elas são mais duras que o aço normal para estruturas (figura 97).

Portanto, as ligas são mais resistentes à abrasão do que o zinco puro, e experimentos demonstram que a camada de liga possui uma resistência à abrasão de 4 a 5 vezes maior que o zinco puro.

Itens galvanizados por imersão a quente são frequentemente utilizados quando a superfície está sujeita à abrasão. Exemplos incluem escadas, portinholas, corrimões, pavimentos de

grades e passarelas (figura 5).

12.9 REVESTIMENTOS GALVANIZADOS POR IMERSÃO A QUENTE EXPOSTOS A TEMPERATURAS ELEVADAS

Revestimentos convencionais de zinco podem ser continuamente expostos a temperaturas de até 200°C, e não continuamente a temperaturas até 350°C.

Em temperaturas constantes acima de 200°C, uma reação de difusão tem início dentro do revestimento, fazendo com que a camada exterior se desprenda da camada de ferro/zinco subjacente. Porém, a camada de ferro/zinco possui um bom nível de resistência à corrosão e pode, dependendo de sua espessura, proteger o aço contra ferrugem por um período de tempo prolongado.

Camadas de zinco com liga de alumínio sobre chapas finas podem resistir a temperaturas ainda maiores. O aluzinc e o galvalume, por exemplo, podem suportar temperaturas constantes de até 315°C.



Figura 96. Lascamento de camada de concreto sobre aço para concreto armado no lado inferior de uma ponte de concreto.

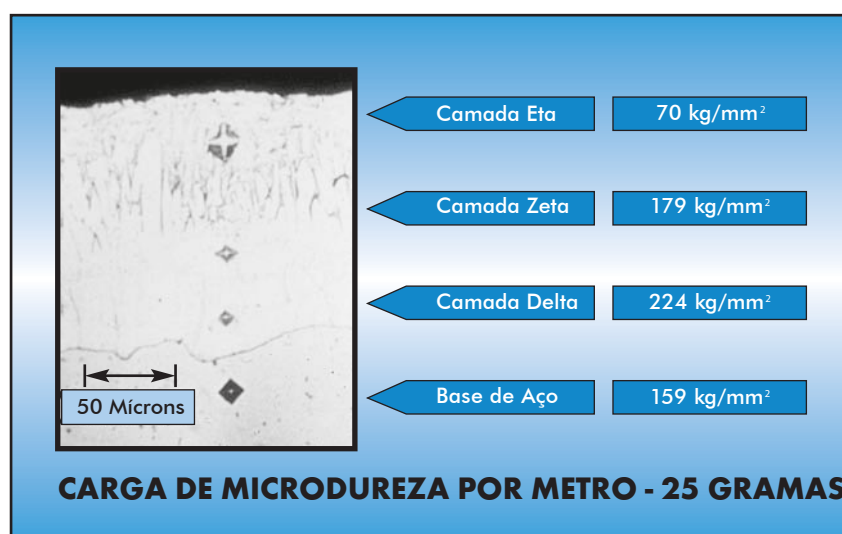


Figura 97. Corpo de prova para microscopia de um revestimento galvanizado por imersão a quente mostrando variações de dureza através do revestimento.



Conexões Roscadas

As conexões roscadas são um dos métodos mais utilizados, versáteis e confiáveis para unir peças de aço para estruturas. Algumas vantagens deste método, em comparação a outros como soldagem e rebite, são:

- Economia, velocidade e facilidade de montagem;
- Confiabilidade do serviço
- Facilidade de inspeção.
- Menor número de operadores, não tão qualificados;
- Desempenho confiável em condições instáveis de tensão;
- Sem necessidade de pré-aquecimento de aços de alta resistência.
- Sem trincas na solda ou tensões internas induzidas;
- Sem ruptura lamelar de placas;
- Sem danos causados pelo calor à superfície de estruturas pintadas ou galvanizadas por imersão a quente.

13.1 TIPOS DE PARAFUSOS ESTRUTURAIS E DISPOSITIVOS DE FIXAÇÃO

Parafusos de aço com baixo teor de carbono, geralmente conhecidos como de categoria 4.8, vêm sendo utilizados por muitos anos. Trabalhos contínuos de desenvolvimento resultaram na criação de parafusos estruturais de alta resistência, para uso em juntas de suporte de alta resistência e juntas de atrito de alta resistência, referidos como categorias 8.8 e 10.9. Estes novos métodos de parafusagem de alta resistência aumentaram significativamente o escopo do uso de parafusos em estruturas.

Nos termos das normas **SANS 1700-7-7**, **SANS 1700-7-8**, **SANS 1700-14-8**, **SANS 1700-14-9** e **SANS 1700-14-10**, a resistência de parafusos para estruturas é especificada em termos da resistência à tração dos fixadores roscados. Dois números separados por um ponto final são estampados na cabeça do parafuso. O primeiro número representa um centésimo da resistência à tração nominal e o segundo representa um décimo da razão entre o limite de escoamento nominal e a resistência à tração nominal expressada em porcentagem. Por exemplo, um parafuso de categoria 4.8 possui:

- Resistência à tração de $4 \times 100 = 400\text{MPa}$;
- Limite de escoamento de $0,8 \times 400 = 400\text{MPa}$;

Uma ampla variedade de artefatos de fixação, além de parafusos e porcas, são utilizados pela indústria como um todo, incluindo componentes como presilhas de fecho de molas, onde a retenção permanente da força de sujeição é essencial.

13.2 PREVENÇÃO CONTRA CORROSÃO

Embora as propriedades mecânicas de montagens realizadas com fixadores sejam estruturalmente confiáveis e econômicas, a durabilidade de tais conexões será influenciada pelo grau de corrosão encontrado durante seu uso em serviço. A deterioração causada pela ferrugem pode levar ao emperramento dos fixadores e falhas prematuras, sob a forma de corrosão associada à fadiga. Portanto, a devida proteção dos fixadores é de extrema importância, caso se deseje manter a integridade geral de uma determinada estrutura durante seu tempo de vida útil (figuras 98, 99 e 100).



Figura 98. Uma série de parafusos com revestimento de zinco, demonstrando a importância da espessura do revestimento em um determinado ambiente.



Em estruturas de aço com parafusos, os parafusos e porcas são itens essenciais, dos quais a integridade de toda a estrutura depende. A proteção contra corrosão é proporcionada ao utilizar materiais resistentes à corrosão ou ao proporcionar um revestimento protetor, seja antes ou depois da instalação.

13.3 METAIS RESISTENTES À CORROSÃO

O uso de fixadores, produzidos a partir de ligas metálicas resistentes à corrosão, frequentemente são o método mais econômico para evitar a degradação por corrosão em ambientes muito agressivos. O contato entre metais diferentes pode resultar em corrosão galvânica, especialmente em áreas nas quais um catodo de tamanho considerável esteja em contato eletrolítico com um anodo de tamanho reduzido. Fixadores de aço inoxidável austenítico são utilizados com sucesso em diversas aplicações nas quais há contato com metais como zinco e, em ambientes de agressividade leve e moderada, fixadores galvanizados por imersão a quente comprovaram seu êxito para conectar componentes produzidos com aço Cor-Ten. O uso de revestimento orgânico sobre uma ou ambas as interfaces de revestimento de metal de uma junta antes da fixação, ou a vedação desta junta após parafusagem em uma atmosfera agressiva, aumentará substancialmente a resistência à corrosão de tal junta.

A tabela 30 oferece um guia de compatibilidade de diversos metais e ligas em contato em aplicações de construção. Por exemplo, pode-se inferir a partir da tabela que um fixador com revestimento de zinco (anodo), conectado a um aço inoxidável de série 300 (catodo), não é uma situação aceitável em ambientes corrosivos; já o aço com revestimento de zinco conectado a um aço inoxidável de série 300 é uma situação aceitável.

13.4 REVESTIMENTOS DE PROTEÇÃO

Um revestimento aplicado a fixadores deve necessariamente possuir um ótimo nível de



Figuras 99 (à esquerda) e 100 (à direita). A proteção contra corrosão de parafusos de fixação deve ser equivalente à proteção das estruturas principais.

aderência e apresentar resistência a danos durante e após trabalhos de montagem. Por esta razão, são preferíveis aplicações de revestimentos de metal antes de trabalhos de montagem. Proteção adicional após a montagem, obtida por meio de revestimentos de tinta, pode trazer benefícios em ambientes agressivos, especialmente quando estes revestimentos de metal forem aplicados.

Os metais utilizados para revestimento incluem o zinco e metais nobres como o níquel e o estanho. No caso de metais mais reativos, como o zinco, a espessura do revestimento é de extrema importância e a vida útil de um determinado item antes do aparecimento de corrosão será mais ou menos proporcional à espessura do revestimento. Em casos nos quais metais como níquel e estanho são utilizados, revestimentos mais finos geralmente proporcionam proteção de longo prazo, desde que tais revestimentos estejam livres de imperfeições e não estejam sujeitos a danos mecânicos que, sob condições corrosivas, levarão a uma corrosão acelerada do aço subjacente exposto. Os custos de proteção utilizando um dos metais mais nobres são altos, o que restringiu um uso mais generalizado destes revestimentos para proteção contra corrosão de fixadores na indústria de aço estrutural.

13.5 GALVANIZAÇÃO DE FIXADORES POR IMERSÃO A QUENTE

A galvanização de fixadores por imersão a quente é um processo especializado e os produtos devem, portanto, ser comprados de fabricantes de parafusos autorizados pela SABS, que garantirão que os procedimentos corretos de fabricação e galvanização, incluindo tolerância referentes a tamanhos superiores ao especificado, entre outros fatores, sejam respeitados. Os fixadores galvanizados por imersão a quente, em suas várias formas, estão disponíveis como itens disponíveis em estoque de estoquistas de parafusos em toda a África do Sul. Entre em contato com a Associação para mais informações.

Tolerância de rosqueamento com superdimensionamento para porcas galvanizadas por imersão a quente.

O revestimento de zinco em filetes de roscas externos deverá estar livre de fragmentos e

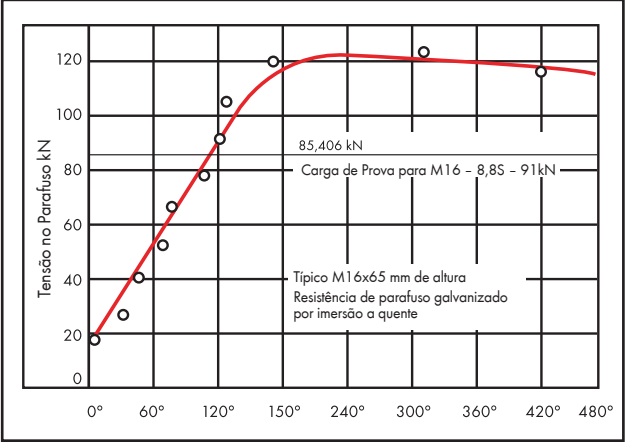


Figura 102. Demonstração de resultados de tensão obtidos através do método de rotação da porca.

| | MATERIAL DE CONTATO (FIXADOR/ARRUELA) | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|-----------------------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|--|------------------|-----------------------------------|------------------|
| | Ligas de alumínio e alumínio | | Ligas de cobre e cobre | | Aços inoxidáveis de série 300 | | Zinco e aço com revestimento de zinco | | Aço com revestimento de zinco/alumínio | | Chumbo | |
| Material para estacada de revestimento | Ambientes industriais e marítimos | Ambientes rurais | Ambientes industriais e marítimos | Ambientes rurais | Ambientes industriais e marítimos | Ambientes rurais | Ambientes industriais e marítimos | Ambientes rurais | Ambientes industriais e marítimos | Ambientes rurais | Ambientes industriais e marítimos | Ambientes rurais |
| Aluminium and aluminium alloys | A | A | C | C | B | B | B | A | A | A | C | C |
| Copper and copper alloys | C | C | A | A | B | B | C | C | C | C | B | B |
| 300 series Stainless Steels | C | B | B | B | A | A | C | C | C | B | B | B |
| Zinc coated steel and Zinc | A | A | C | C | B | B | A | A | A | A | B | A |
| Aluminium/Zinc coated steel | A | A | C | C | B | B | B | A | A | A | C | C |
| Lead | C | C | A | A | A | A | B | A | C | C | A | A |
| Legenda: A = Aceitável. O aumento do índice de corrosão de estacada de revestimento ou de material de contato será zero ou muito reduzido. B = Aceitável, mas poderá ocorrer aumento do índice de corrosão de estacada de revestimento ou de material de contato. C = Não utilizar. Ocorrência corrosão acelerada, ou a diferença entre as vidas úteis dos dois materiais se revelará muito grande, ou ambos. | | | | | | | | | | | | |

Tabela 30. Metais e ligas entre os quais o contato direto é aceitável.

não poderá ter sido submetido a operações de acabamento, corte ou laminação que possam danificar o revestimento de zinco. O revestimento de zinco de uma rosca métrica padrão, que não tenha mordeduras, deverá permitir que a parte rosçada se encaixe em uma porca rosqueada de tamanho superior ao especificado (figura 101), de acordo com as tolerâncias indicadas na tabela 31 abaixo.

Para parafusos maiores que M24, a aplicação de mordeduras a roscas de parafusos é uma alternativa frequentemente privilegiada em comparação a simplesmente aumentar o tamanho das porcas de parafusos.

Consulte a Observação 1 do Capítulo 10.

Influência de revestimentos galvanizados na resistência à decapagem de roscas

Em parafusos de alta resistência, a intensidade correta de aperto é essencial e o rosqueamento com superdimensionamento de porcas galvanizadas não necessita de uma redução no nível de tração mínima que se aplica a fixadores não revestidos. Para cumprir com esta exigência, porcas galvanizadas de alta resistência possuem um nível de dureza especificada maior que o exigido em casos de porcas não galvanizadas.

Alívio de tensões de parafusos mediante fluência

Foram investigados os possíveis efeitos do alívio de tensões de parafusos mediante fluência causada pela camada exterior de

O revestimento galvanizado por imersão a quente em parafusos proporciona proteção contra corrosão para roscas internas em porcas.

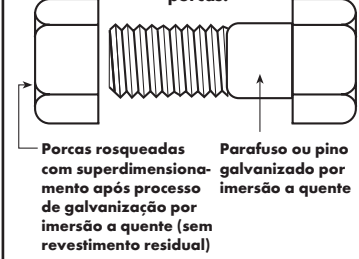


Figura 101.

| TOLERÂNCIA DE ROSQUEAMENTO COM SUPERDIMENSIONAMENTO PARA PORCAS GALVANIZADAS POR IMERSÃO A QUENTE. | |
|--|-----------------|
| Tamanho Nominal de Rosca | Tolerância (mm) |
| M8 to M12 | 0.33 |
| M16 to M24 | 0.38 |
| >M24 = M27 | 0.43 |
| >M27 = M30 | 0.47 |
| >M30 = M36 | 0.57 |
| >M36 = M48 | 0.76 |
| >M48 = M64 | 1.0 |

Tabela 31. Tolerância recomendada de rosqueamento com superdimensionamento

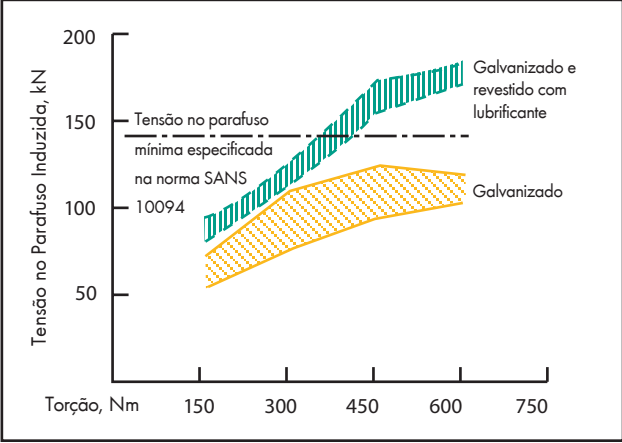


Figura 103. Relação tensão induzida/torção de parafusos M20 de alta resistência para estruturas, somente galvanizados e galvanizados e revestidos com lubrificante.

| Diâmetro nominal do parafuso | Comprimento do parafuso, em mm | |
|------------------------------|--|---|
| | Rotação de porca - 1/2 giro com 60° de tolerância superior e sem tolerância inferior | Rotação de porca - 3/4 de giro com 60° de tolerância superior e sem tolerância inferior |
| M16 | até 120mm | 120 até 240mm |
| M20 | até 120mm | 120 até 240mm |
| M24 | até 160mm | 160 até 350mm |
| M30 | até 160mm | 160 até 350mm |
| M36 | até 160mm | 160 até 350mm |

Tabela 32. Rotação de Porca em posição de ajustagem precisa. Consulte a norma SANS 10094.

zinco, com relativa maciez, sobre superfícies conjugadas. Testes executados pela Associação de Galvanizadores e pela SABS revelaram nenhum tipo significativo de alívio de tensões, confirmando resultados de estudos internacionais, que mostram uma possível perda de carga nos parafusos de 6,5% para placas galvanizadas, ao contrário de 2,5% para peças e parafusos não revestidos. Esta perda ocorre dentro de aproximadamente cinco dias; depois disso, é registrada apenas uma pequena perda adicional. Esta perda pode ocorrer sem grandes problemas em aplicações internas, sendo prontamente contornada.

Fator de escorregamento em superfícies conjugadas em juntas de atrito

No caso de juntas de atrito galvanizadas, o revestimento galvanizado inicialmente se comporta como um lubrificante e o coeficiente de atrito é geralmente menor que 0,2. Após os primeiros ciclos, sob tensão intermitente, as superfícies galvanizadas que tendem a apresentar retenção e instâncias de escorregamento adicional, sob tensão intermitente, são insignificantes. Caso não seja desejável um escorregamento inicial, a aplicação de uma tinta de silicato de zinco nas superfícies conjugadas, antes da montagem, proporcionará um fator de escorregamento maior que 0,4, permitindo que montagens galvanizadas por imersão a quente sejam projetadas para apresentar um desempenho similar ao apresentado por aço não revestido.

O borrifamento de zinco ou jateamento leve com abrasivos de superfícies conjugadas também resultará em fatores de escorregamento aceitáveis.

Lubrificação de roscas

Para estabelecer o nível de tensão necessária para fixadores galvanizados de alta resistência, a lubrificação de roscas, através de um lubrificante com base de dissulfeto de molibdênio ou cera - como cera de abelha, é essencial.

13. CONJUNTOS COM PORCAS E PARAFUSOS

Idealmente, porcas e parafusos galvanizados por imersão a quente devem ser fornecidos com as porcas encaixadas. Isso garante que as porcas e parafusos se encaixam e que foram fornecidos pelo mesmo fabricante, evitando a possibilidade de que os parafusos tenham sido fornecidos com roscas atravancadas.

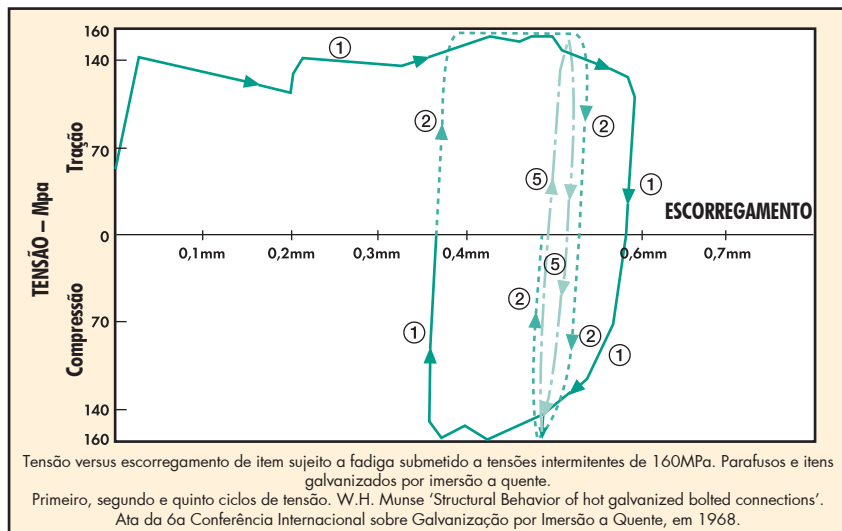


Figura 104.

| Diâmetro de Fixador de Categoria 10.9 - Itens Roscados | Espessura de Revestimento Local (mín.) μm ou gms/m^2 | Espessura de Revestimento Média (mín.) μm ou gms/m^2 | Espessura de Revestimento Máxima (mín.) μm ou gms/m^2 |
|--|---|---|--|
| $d > 6\text{mm}$ | 40 (285) | 50 (360) | 65 (465) |

Observação: Revestimentos galvanizados por imersão a quente excessivamente espessos (isto é, com tempo de imersão no zinco maior que 2 minutos) resultam no crescimento excessivo de camadas duras de liga de ferro/zinco e em possíveis falhas por fadiga originárias da propagação de rachaduras na presença de fator de concentração de tensões. Revestimentos excessivamente espessos em roscas interferirão nas tolerâncias de rosqueamento. As roscas devem estar claramente definidas e livres de excessos de zinco solidificado, possibilitando uma facilidade de encaixe de porcas e de aperto.

Tabela 33.

13.7 ARRUELAS

Arruelas de alta resistência precisam ser endurecidas de fora a fora antes de serem submetidas à galvanização por imersão a quente.

13.8 FIXADORES DE ALTA RESISTÊNCIA - CATEGORIA 10.9 (Consulte a norma SANS 10094)

Fixadores de categoria 10.9 podem ser galvanizados por imersão a quente, desde que um certificado de conformidade seja emitido pelo galvanizador, garantindo que o processo de galvanização por imersão a quente foi realizado de acordo com a norma SANS 10094:2005

Procedimento para galvanização por imersão a quente de fixadores de categoria 10.9

1. A limpeza de pré-tratamento é obtida através do uso de uma turbina para limpeza com abrasivos por menos de 5 minutos, em vez de decapagem com ácido. Este método é preferível para eliminar a liberação de íons de

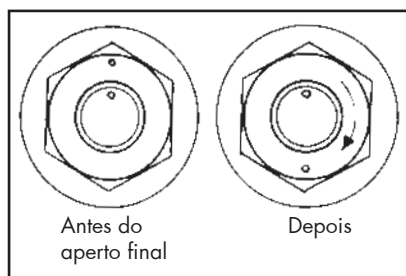


Figura 105. Em locais nos quais precisão é fundamental, indicações permanentes sobre a intensidade de aperto podem ser identificadas por marcas próprias.

hidrogênio (H^+) e eliminar o potencial de fragilização do hidrogênio.

2. Evita-se o aparecimento de revestimentos galvanizados por imersão a quente ao limitar os tempos de imersão, para menos de 2 minutos, ao agitar itens no banho de zinco e garantir que todos eles foram imersos por períodos similares de tempo, seguido por um processo eficiente de centrifugação (tabela 33).
3. **Não é permitido desencaixar e regalanizar revestimentos descartados devido à sua baixa qualidade.**
4. Áreas não revestidas não são aceitáveis.

Observação: Os usuários de fixadores devem estar cientes dos perigos durante procedimentos de aperto, caso eles não sejam aplicados corretamente.

13.9 PROCEDIMENTOS DE TENSÃO DE PARAFUSOS

Testes abrangentes foram executados para obter o método mais eficiente para apertar fixadores galvanizados por imersão a quente, ao mesmo tempo garantindo que este método pode ser executado de maneira confiável por funcionários semiquilificados. O torque exigido para apertar fixadores galvanizados por imersão a quente, mesmo após lubrificação, pode variar substantivamente, dependendo do tipo de fixador, e embora isto se aplique também a fixadores não revestidos, a dispersão é maior em caso de fixadores galvanizados. Recomenda-se que um aperto confiável de fixadores galvanizados por imersão a quente não deve ser basear em valores de torque/tensão, especial-

mente em caso de conexões de atrito. Esta recomendação está alinhada com os resultados obtidos em outros países; por esta razão, o tensionamento do controle de torque não é recomendado, tanto para fixadores de alta resistência revestidos como não revestidos.

Método recomendado para tensionamento (método de rotação da porca)

Se os fixadores galvanizados por imersão a quente forem utilizados, recomenda-se a adoção do método de rotação da porca de tensionamento. Este método demonstrou ser confiável e leves variações no grau de rotação da porca final não influenciam significativamente a tensão final do parafuso (*figura 102*). O procedimento é simples e não envolve o uso de equipamentos especializados. As porcas são apertadas em uma posição justa e as variações na espessura, nesta fase, não influenciam significativamente o resultado final. O aperto justo é definido em muitas especificações como o esforço total de um homem sobre uma chave podger padrão ou o ponto a partir do qual existe uma mudança no ponto ou velocidade de rotação quando uma chave de impacto pneumática começa a impactar de maneira firme. As chaves podgers são classificadas pelo comprimento em relação ao tamanho do parafuso e resistência; por exemplo, uma chave de aproximadamente 450 mm em comprimento é considerada como apropriada para um parafuso estrutural M20 de alta resistência. Deve-se ressaltar que a força de travamento fornecida pelo aperto justo é altamente variável, porém isso não é significativo quando, posteriormente, os parafusos são completamente apertados. A curva de alongamento do parafuso/tensão do parafuso é relativamente reta, depois que a carga de prova é excedida; portanto, variações na condição do aperto justo resultam somente em pequenas variações na tensão final do parafuso.

Para aperto final, recomendam-se as normas apresentadas na *tabela 32*. A tabela apresenta uma rotação de até 60° além da rotação de porca recomendada ou um total de 240° no caso de fixadores com até 120 mm de comprimento. Este nível de tensão está dentro da capacidade dos fixadores de alta resistência conforme disposto nas normas SANS 1700-7-7; SANS 1700-7-8; SANS 1700-14-8; SANS 1700-14-9 e SANS 1700-14-10 (a norma SABS 1282 será substituída por partes específicas da norma SABS 1700) de acordo com as quais, para testes, os fixadores que possuem esse comprimento devem ser tensionados pela rotação da porca após o aperto justo a, no mínimo, 300° sem fraturas ou desgastes de rosas.

Sempre que o tensionamento preciso for crucial, como no caso de conexões de fricção, uma indicação permanente da extensão da rotação da peça pode ser identificada pela contramarcagem da porca e da extremidade do parafuso na fase de aperto justo, antes do aperto final (*figura 105*).

Torção da peça - método de rotação da peça

Este procedimento envolve o uso de uma chave de torque para provocar uma condição de aperto justo a todos os parafusos antes de aplicar tensão integral por meio da rotação dos procedimentos com rosca.

Métodos alternativos de tensionamento de fixadores galvanizados por imersão a quente

O uso de arruelas com indicador de cargas fornece um tensionamento eficaz, mas isso envolve o uso de arruelas especificamente fabricadas com saliências, que são achatadas com o aumento da tensão, e uma redução de vão por uma quantidade especificada que indica que a tensão mínima do parafuso foi atingida.

Além disso, um equipamento de tensionamento hidráulico, que submete o parafuso à tensão antes do aperto da porca, está disponível. Esses métodos alternativos incluem o uso de equipamento especializado e, por esta razão, recomenda-se o método de rotação da porca por ser fácil e confiável.

13.10 EFEITO DA GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE SOBRE AS PROPRIEDADES DE RESISTÊNCIA DE FIXADORES

O processo de galvanização por imersão a quente não afeta as propriedades mecânicas do aço com fixador de alta resistência ou até

mesmo de materiais como aço para molas. Aços temperados com um limite convencional de elasticidade menor que 1000 MPa não são considerados propensos à fragilização por hidrogênio como resultado da decapagem, antes da galvanização, e qualquer hidrogênio absorvido seria difundido durante a imersão no zinco fundido a 450°C.

No caso de fixadores de categoria 10.9 de alta resistência, bem como os produtos fabricados com aço para molas, revestimentos galvanizados excessivamente espessos (>65 µm) devem ser evitados, uma vez que o crescimento excessivo das camadas duras de liga de Fe/Zn podem resultar em falhas por fadiga devido à propagação de fendas dessas camadas no substrato, onde possíveis fatores de concentração de tensão podem estar presentes. De qualquer forma, os revestimentos excessivamente espessos nas rosas são indesejáveis, já que isto interferirá na tolerância da rosca, além de poder resultar em descamação durante o tensionamento. O ideal seria que a espessura máxima do revestimento de 65 µm fosse aplicada a todos os componentes machos roscados.

O uso de parafusos e porcas de Categoria 10.9 galvanizados por imersão a quente é permitido desde que um certificado de conformidade seja emitido pelo galvanizador de que os fixadores foram processados de acordo com a norma **SANS 10094**.

PROCEDIMENTOS PERMITIDOS NA INSTALAÇÃO

- Lave qualquer respingo de cimento com água limpa o mais rápido possível.
- Remova ferrugem branca (corrosão branca) se necessário com o auxílio de uma escova de cerdas e água (não utilize escova de arame). Outros tipos difíceis de mancha podem ser removidos de acordo com os métodos apresentados no *Capítulo 5*.
- Evite contato direto com metais diferentes. Em caso de dúvida, isole com algum material orgânico ou uma segunda camada na interface.
- Utilize fixadores galvanizados por imersão a quente com porcas adequadamente maiores, em vez de fixadores eletrodepositados em zinco sobre estruturas galvanizadas por imersão a quente.
- Vede as fendas formadas entre as duas superfícies de contato parafusadas revestidas de zinco.
- Utilize uma chama a quente, discos flexíveis para esmeril ou papel de lixa ao remover pequenas protuberâncias de zinco deixadas pelo galvanizador.
- Utilize um lubrificante aprovado nos parafusos de aço de alta resistência galvanizados antes do tensionamento do parafuso, como bissulfeto de molibdênio (Moly Slip) ou cera.
- Utilize uma escova de cerdas e um abrasivo industrial (vim) com água para remover manchas de oxidação superficial (limas de ferro etc.) que aderiram à superfície do revestimento. Caso este método não seja eficaz, substitua a escova de cerdas por um disco 'scotchbrite' (disco abrasivo). Caso a mancha ainda permaneça, verifique a espessura do revestimento residual por meio de um medidor de espessura eletromagnético.

PROCEDIMENTOS NÃO PERMITIDOS NA INSTALAÇÃO

- ◆ Não utilize fixadores eletrolíticos para fixar componentes galvanizados por imersão a quente. Se os fixadores galvanizados por imersão a quente não estiverem disponíveis, aplique um novo revestimento nos fixadores eletrolíticos adequadamente limpos com um revestimento orgânico conceituado como o "Zincfix" (*Capítulos 15 e 17*).
- ◆ Não utilize escova de arame na película da superfície de carbonato de zinco cinza fosco quando não for necessário.
- ◆ Não submeta os artefatos galvanizados por imersão a quente a descarga agressiva, martelagem ou batida desnecessária ao alinhar dois componentes. Apesar das excelentes propriedades de resistência à abrasão oferecidas pelo revestimento, os revestimentos mais espessos podem ser frágeis e facilmente danificados.
- ◆ Não permita que os artefatos galvanizados a quente sejam instalados em ambientes ácidos agressivos ou permita que líquidos com um pH menor do que 6,0 ou maior do que 12,5 sejam transportados em tubos galvanizados por imersão a quente.
- ◆ Não dobre os artefatos de maneira excessiva após o processo de galvanização por imersão a quente para alinhamento ou ajuste.
- ◆ Não utilize limas de aço ou discos inflexíveis para esmeril com pessoal não qualificado para remover protuberâncias deixadas pelo galvanizador.

Em caso de dificuldades com os itens acima, entre em contato com a Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul.

Figura 106.



Soldagem em Aço Revestido com Zinco

Geralmente, o revestimento pelo processo de galvanização por imersão a quente é realizado após a finalização do produto. Isto proporciona ao componente uma barreira contínua resistente à corrosão para que uma vida útil razoável seja obtida.

Os comprimentos modulares dos componentes menores do que os tamanhos de banho disponíveis são recomendados uma vez que a imersão única do componente geralmente atingirá uma qualidade de revestimento mais elevada. Os componentes são ocasionalmente imersos em ambas as extremidades caso o caldeamento seja apropriado e o tamanho de banho disponível seja inadequado para uma única imersão. Os componentes que foram desenvolvidos em comprimentos modulares adequados aos tamanhos de banho disponíveis ocasionalmente precisam ser aquecidos no local. Isto pode ser obtido por travamento com parafusos ou soldagem. Quando a soldagem é preferível, certas precauções são necessárias para obter ligações de qualidade. Os processos de soldagem mais comuns, com seus respectivos efeitos sobre a junta soldada, são apresentados abaixo.

14.1 SOLDAGEM COM ELETRODO DE ARCO COBERTO (SMAW)

As condições de soldagem são semelhantes às utilizadas no aço não revestido, com exceção de que o vão da raiz é elevado em determinados casos para fornecer total penetração e permitir a drenagem.

O arco de soldagem deve ser direcionado ao revestimento com zinco por meio de um movimento de tecimento à frente da poça de fusão para derreter e vaporizar o revestimento do aço.

Juntas T utilizando SMAW

A mesma técnica de soldagem básica utilizada para soldar juntas a topo deve ser aplicada; ou seja, uma velocidade de percurso mais lenta do que o normal e um leve movimento de oscilação do eletrodo. O corte rebaixado é o defeito mais comum encontrado em soldas em filete posicionadas horizontal e verticalmente com eletrodos revestidos básicos ou rutilos.

Com a galvanização em geral, o revestimento de zinco é mais espesso do que o encontrado na chapa constantemente galvanizada. Esse zinco adicional pode causar problemas na posição vertical, pois, quando é fundido, ele tende a escorrer para a poça de fusão e dificultar o controle da escória. Isto pode ser minimizado, e muitas vezes evitado, mantendo o comprimento do arco o mais curto possível.

14.2 SOLDAGEM MIG (GMAW)

Condições para soldar o aço galvanizado por imersão a quente

O modo de transferência por curto-circuito produz menos deformação e dano ao revestimento de zinco do que o modo de transferência por spray.

Formação de salpicaduras na soldagem MIG

Através do processo de soldagem MIG com dióxido de carbono, cada curto circuito durante a transferência de metal causa uma rápida elevação momentânea na corrente, seguida pela extinção do arco. A reignição é acompanhada pela expulsão de pequenas partículas de metal fundido na forma de respingo. Quando o dióxido de carbono ou um gás protetor com 20% de dióxido de carbono e 80% de argônio é utilizado, o respingo é aumentado ao soldar um aço galvanizado por imersão a quente quando comparado a um aço não revestido.

Se as partículas de respingo aderentes à peça tiverem uma má aparência, o problema pode ser minimizado aplicando um composto antirrespingo na peça antes de realizar a soldagem. Produtos antirrespingo disponíveis são à base de silicone, petróleo ou compostos de grafite. Aplicar um desses produtos permitirá que as partículas de respingo sejam removidas facilmente.

A formação de respingo aumenta com a espessura do revestimento de zinco, sendo, portanto, maior no aço galvanizado em geral do que na chapa constantemente galvanizada. Quando o aço em geral galvanizado por imersão a quente é soldado em uma junta T, em uma posição plana, as partículas de respingo tendem a escorrer para o canto da junta, causando uma soldagem de difícil execução. A formação de respingo também traz problemas na soldagem superior efetuada por baixo, visto que as partículas de respingo estão aptas a se depositarem no bico de gás da pistola de soldagem. A formação de respingo é diminuída com a redução do diâmetro do fio de soldar.

14.3 SOLDAGEM TIG (GTAW)

A soldagem a arco gasoso com tungstênio do aço galvanizado em geral não é recomendada, a menos que o revestimento de zinco seja primeiramente removido. O vapor de zinco pode contaminar o eletrodo que, por sua vez, deixará a operação do arco instável e a qualidade da solda inferior. Se o revestimento do zinco é removido, o aço nu é soldado com procedimentos adequados para o aço não revestido. A soldagem forte a arco gasoso com tungstênio, com suas temperaturas inferiores concomitantes, pode ser realizada com uma preparação reduzida de junta.

14.4 SOLDAGEM A ARCO DE ALMA FUNDENTE (FCAW)

Os aços galvanizados por imersão a quente podem ser soldados a arco com eletrodos de alma fundente. Os sistemas de escória foram desenvolvidos para proteção por dióxido de carbono bem como para aplicações sem gás. Os eletrodos autoprotetidos são os mais adequados para fabricar aço em chapa devido à possibilidade de baixa penetração e altas velocidades de percurso. As recomendações do fabricante de eletrodos devem ser seguidas e o procedimento de soldagem deve ser qualificado com testes apropriados.

14.5 SOLDAGEM DE ARCO SUBMERSO

Juntas a topo

As juntas a topo podem ser soldadas utilizando o aço galvanizado por imersão a quente com a mesma chanfradura de topo do que o aço não revestido. (SAW)

A baixa velocidade de percurso pode reduzir ou aumentar a porosidade. Ao suportar as chapas livres da bancada de soldagem, para que o vapor de zinco possa escapar de cima e de baixo da junta, revestimentos em geral galvanizados por imersão a quente e mais grossos podem ser normalmente soldados sem porosidade.

Juntas T

As soldagens por arco submerso com cordão duplo, em que ambos os lados de uma junta T são soldados simultaneamente, podem ser depositados no aço galvanizado por imersão a quente.

14.6 SOLDAGEM COM OXIGÊNIO E GÁS COMBUSTÍVEL (OGW)

O aço galvanizado por imersão a quente pode ser soldado com oxigênio e gás combustível utilizando varetas de enchimento com aço levemente revestido com cobre. A preparação para a solda é semelhante àquela utilizada para a soldagem do aço não revestido; guias e grampos são utilizados para prevenir deformação causada pela formação de calor e qualquer gordura ou sujeira é removida da área a ser soldada. Deve-se utilizar chama neutra, e o tamanho da ponta deve ser o mesmo que o utilizado para soldar o aço não revestido ou de espessura semelhante.

No caso de soldagem com oxigênio e gás combustível, devido à baixa velocidade de percurso utilizada, o revestimento de zinco é volatilizado e completamente removido em pelo menos 7 mm em cada lado da solda. Para a obtenção de aproximadamente 7 mm adicionais em cada lado, ocorre a volatilização parcial. Essas alterações resultam em uma redução na resistência à corrosão. Além da região esgotada, até 19 mm, a aparência do revestimento de zinco pode ser degradada; entretanto, foi observado que essa região fosca não apresenta deterioração na resistência à corrosão.

14.7 BRASAGEM E SOLDA-BRASAGEM

Brasagem

A brasagem por indução de alta frequência pode ser realizada em chapas galvanizadas comuns e apresentar resultados muito satisfatórios utilizando ligas de enchimento de cobre-silício ou 60% de cobre - 40% de zinco. O controle cauteloso dos índices de aquecimento pode resultar em juntas estáveis com poucos danos ao revestimento de zinco.

Solda-brasagem

As soldas-brasagens são feitas a temperaturas menores do que as soldagens por fusão. O metal-base não é fundido e há menos perda do revestimento de zinco do aço. O uso de ligas apropriadas de brasagem produz soldas resistentes à intensa corrosão.

14.8 SOLDADURA

O aço galvanizado por imersão a quente pode ser soldado utilizando ácido ou fundente orgânico. Os fundentes à base de cloreto de amônio e cloreto de zínco geralmente são adequados, fazendo uso de soldadores de chumbo-estanho contendo entre 20% e 50% de estanho. A composição de soldadura mais popular é 40% de estanho e 60% de chumbo. A fonte térmica recomendada é um ferro de soldar. Um tratamento cáustico antes da soldadura ajuda a melhorar a molhabilidade.

A passivação do dicromato de sódio, utilizada para evitar manchas decorrentes da armazenagem úmida, pode interferir no fluxo da soldadura. O dicromato de sódio deve ser removido (*consulte Limpeza de Produtos Químicos - Capítulo 17*) antes de realizar a soldadura.

Os revestimentos galvanizados por imersão a quente submetidos a revestimento antioxidante por banho fosfatado são difíceis de soldar. As películas de fosfato devem ser removidas antes da soldadura.

14.9 FRAGILIZAÇÃO DO AÇO POR ZINCO LÍQUIDO DURANTE SOLDAGEM OGW E SOLDAGEM A ARCO

Soldar juntas de aço galvanizadas comuns utilizando eletrodos de aço carbono pode causar fissurações. Essas fissurações são causadas pela penetração intergranular do zinco no metal de solda. Ela ocorre com mais frequência ao longo da garganta de uma solda em filete, na raiz da solda e também é observada no metal base na zona afetada pelo calor.

As juntas soldadas adequadamente projetadas utilizando os procedimentos abaixo podem minimizar a ocorrência dessa fragilização e as tensões internas resistentes à tração que aumentam o problema. Além disso, aconselha-se selecionar um eletrodo contendo silício abaixo de 0,4%.

A probabilidade de ocorrência de fissuração nas soldas em filete depende de diversos fatores:

- a espessura do revestimento galvanizado por imersão a quente;
- o método de galvanização por imersão a quente;
- imersão a quente;

a espessura do aço galvanizado por

- a largura do vão de raiz conjunto;
- o método de limitação conjunta;
- o processo de soldagem; e
- a classificação do eletrodo.

A fissuração da solda é influenciada pela espessura do revestimento. Por esta razão, a fissuração ocorre com mais frequência quando revestimentos espessos são aplicados através do processo de galvanização comum. É possível que fissurações não se desenvolvam com revestimentos finos que possuam deposição eletrolítica. A fissuração tende a ser menos comum em soldagens com eletrodo de arco coberto de baixa penetração e mais comum com a soldagem MIG, principalmente com o gás de proteção por dióxido de carbono. Quanto maior a entrada de calor e menor a velocidade de soldagem com eletrodo de arco coberto, maior será a liberdade para que zinco se volatilize antes da poça de fusão.

Métodos para minimizar fissurações na solda em filete na chapa galvanizada por imersão a quente, devido à penetração do zinco, compreendem quatro categorias;

- utilize o vão de raiz adequado entre as placas recomenda-se aproximadamente 1,6 mm;
- a escolha correta de eletrodos consumíveis: E70S-3 de baixo silício com o processo MIG são melhores que os eletrodos E70S-6 de alto silício, além disso, o tipo E6012/13 rutilo é melhor do que o tipo E7015/16 com baixo hidrogênio.
- seleção do metal base galvanizado através de testes adequados para o procedimento; e
- preparação da placa de base para reduzir o zinco disponível queimando o zinco por meio de um maçarico de oxigênio e gás, cisalhamento ou jateamento com abrasivos ou pré-planificação com a aplicação de uma máscara antes de iniciar o processo de galvanização por imersão a quente.

14.10 SOLDAGEM À RESISTÊNCIA

A soldagem à resistência ou a soldagem por pontos é comumente utilizada para unir perfis de aço mais finos que 5mm se o revestimento for mais leve que 300g/m² (43µm de espessura). Revestimentos com até 450 g/m (65µm de espessura) foram soldados com sucesso, embora a vida útil do eletrodo de cobre seja muito menor do que a obtida com revestimentos mais leves. Em revestimentos pesados, é necessário retificar ou substituir com frequência os eletrodos gastos, devido à formação de zinco no eletrodo.

Geralmente, danos no revestimento por soldagem à resistência são pouco significativos, exigindo pouco ou nenhum reparo. Se os revestimentos galvanizados são espessos, a soldagem à resistência não é viável.

A soldagem contínua à resistência não é recomendada devido à contaminação de zinco do eletrodo, mas a soldagem à resistência de ressaltos é possível sem maiores dificuldades.

14.11 PRÁTICAS SEGURAS DE SAÚDE

Gera-se sempre fumaça durante a soldagem de um aço não revestido. Ela contém quantidades variadas de óxido de ferro, ozônio, hidrogênio, monóxido de carbono, óxido nítrico e fluoreto. O óxido de zinco é gerado ao soldar ou cortar o aço revestido com zinco. O óxido de zinco é um composto branco claramente visível na fumaça resultantes da soldagem, diferentemente dos gases mencionados acima.

Efeitos do óxido de zinco na saúde

A inalação do óxido de zinco recém-formado pode causar uma condição conhecida como febre dos fumos metálicos. Os sintomas são semelhantes aos da gripe, ou seja, febre, calafrios, aumento da secreção salivar, dores de cabeça e, em casos mais sérios, náuseas e vômitos.

No entanto, o zinco não é retido no corpo da mesma maneira que o grafite, o cádmio ou qualquer outro metal pesado ele é excretado na urina ou nas fezes. Os sintomas da febre dos fumos metálicos desaparecem em poucas horas e os efeitos no longo prazo são considerados mínimos. A temperatura, no entanto, não parece exceder 39°C e a recuperação total geralmente ocorre de 24 a 28 horas. Um Valor Limite (TLV) sugerido de 5 mg/m³ foi estabelecido para práticas realizadas nos Estados Unidos. Um trabalhador poderá ser exposto a esse nível por um período de oito horas sem efeitos nocivos.

Proteção contra fumaça de solda

Ao tomar precauções básicas, principalmente em espaços fechados, os efeitos da fumaça de zinco podem ser reduzidos da seguinte maneira:

- forneça ventilação positiva como uma mangueira de aspiração;
- Utilize o bico da pistola do tubo de aspiração no arco de metal a gás e equipamentos da soldagem a arco de alma fundente;
- utilize máscaras faciais e respiradores;
- solde a parte externa das portas, se for aplicável;
- utilize barras de cobre, se possível, para absorver o calor da soldagem;
- os soldadores devem se posicionar de uma maneira que não os superexponha à fumaça; e
- garanta que as áreas a serem resoldadas/reparadas estejam limpas de resíduos de zinco. O esmerilhamento é considerado a maneira mais eficiente de remover esses revestimentos.

Informações técnicas adicionais sobre soldagem de aço galvanizado por imersão a quente podem ser obtidas com o Instituto Sul-Africano de Soldagem ou com a Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul.



Renovação de Revestimentos Danificados ou Componentes Galvanizados por Imersão a Quente Modificados no Local

15.1 PROCEDIMENTO DE RESTAURAÇÃO DE REVESTIMENTO EXECUTADO POR GALVANIZAÇÕES

Com relação à norma **SANS 121/ISO 1461:2009**, um galvanizador poderá reparar um revestimento por meio de aplicação de spray térmico de zinco, tinta ou epóxi rico em zinco, floco de zinco apropriado ou produtos com pasta de zinco. O uso de um bastão de liga de zinco também é aceitável. A tinta ou o epóxi rico em zinco deve cumprir determinadas exigências de especificação.

As áreas totais não revestidas a serem restauradas pelo galvanizador não devem exceder 0,5% da área total do componente.

Para artefatos equivalentes a uma área de 2m²; 0,5% representa uma área máxima de 100 cm ou 100mm x 100²mm. Para artefatos equivalentes a uma área de 10.000 m²; 0,5% representa uma área máxima de 50 cm² ou 7mm x 7mm. Nenhuma área de reparo individual deverá exceder 10 cm² ou 10 mm x 10 mm.

Se as áreas não revestidas forem maiores do que 0,5%, o artefato deverá ser galvanizado, exceto caso tenha sido acordado de outra forma entre o comprador e o galvanizador.

Revestimentos com aplicação térmica de spray de zinco

O método preferido de reparo é a aplicação de spray de metal. O reparo no galvanizador só será necessário se houver a presença de pontos expostos, geralmente causados pela limpeza inadequada, retenção de ar ou ocorrência de algum dano mecânico (figura 107).

Método

A área danificada será levemente jateada com o uso de um bico de jateamento ou então o revestimento adjacente deverá ser protegido para limitar os danos.

Um revestimento com aplicação de spray térmico de zinco é aplicado a uma superfície levemente jateada com uma espessura mínima de revestimento de 100µm, a menos que o comprador oriente o galvanizador de outra forma: por exemplo, quando a superfície galvanizada for pintada e a espessura de revestimento para áreas renovadas for a mesma que a espessura do revestimento galvanizado por imersão a quente. A área reparada é então escovada com uma escova de arame (preferencialmente de aço inoxidável) para remover aderências sobre o zinco jateado. A escovação proporciona o benefício de vedar os poros que possam estar presentes no revestimento com spray.

Epóxi rico em zinco ou tinta rica em zinco

Método

A área com defeito será jateada conforme acima ou lixada com papel de lixa (com 80



Figura 107. O spray de zinco é aplicado a uma pequena área não revestida sobre uma seção de tubo, adjacente ao flange.



Figura 108. Junta soldada no local em placa de pórtico rodoviário - reparado por "Zincfix".

de aspereza) ou completamente escovada com escova de arame. Poeiras e detritos devem ser completamente removidos. Em caso de ausência de umidade, todas as superfícies devem ser secadas adequadamente.

Uma tinta rica em zinco contendo não menos do que 80% de zinco em película seca (53% por volume) deve ser aplicada a uma espessura mínima de revestimento de 100 µm, a menos que o comprador oriente o galvanizador de outra forma: por exemplo, quando a superfície galvanizada for pintada e a espessura de revestimento para áreas renovadas for a mesma que a espessura do revestimento galvanizado por imersão a quente. O revestimento com tinta deve sobrepor o zinco adjacente em, no mínimo, 5 mm (figura 108).

É dada preferência a um epóxi rico em zinco com dois ou três componentes.

15.2 RESTAURAÇÃO EXECUTADA NO LOCAL

O método preferido de reparo é a aplicação de spray de metal. Entretanto, devido ao

isolamento da maioria dos locais, e à indisponibilidade do equipamento para aplicação de spray de metal, os reparos com epóxi rico em zinco ou tinta rica em zinco estão mais populares atualmente.

Os reparos no local devem ser limitados a pequenos defeitos de revestimento e áreas que foram cortadas ou soldadas no local.

Caso quantidades excessivas de graxa ou óleo estejam presentes na área defeituosa, elas devem ser removidas por meio de um solvente apropriado. Na medida do possível, todos os resíduos devem ser completamente removidos com água limpa.

Em seguida, a área afetada deve ser lixada com papel de lixa (80 de aspereza) ou completamente limpa utilizando, de preferência, uma escova de aço inoxidável. Poeiras e detritos deverão ser completamente removidos.

Agora, o reparo pode ser realizado com um produto apropriado.

As tintas ricas em zinco em embalagem individual são materiais de qualidade e de fácil aplicação. No entanto, elas requerem diversos revestimentos para atingir a espessura de película seca requerida conforme a norma **SANS 121/ISO 1461**. Os diversos revestimentos necessitarão de períodos de secagem maiores entre os revestimentos.

Reparos no local com "Zincfix"

Até recentemente, os produtos para reparo estavam somente disponíveis em recipientes grandes. Devido às grandes quantidades envolvidas e à curta vida útil da mistura, foi comprovado que os produtos são caros e ineficazes.

Atualmente, existe um produto disponível com dois componentes e sem solvente, com uma embalagem prática e de fácil uso. Este produto é conhecido como "Zincfix" e é aprovado e disponibilizado pela Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul e todos os seus membros.

O produto foi testado e comparado a diversos produtos renomados e o resultado foi extremamente satisfatório.

As embalagens estão disponíveis em 100 gm ou 400 gm. A quantidade revestirá uma área maior que 0,25 m² e 1,0m², respectivamente, com uma espessura de película seca de 100 a 150 µm em uma única aplicação.

Os conteúdos são facilmente misturados em proporções precisas.



A Boa Relação Custo/Benefício do Processo de Galvanização por Imersão a Quente

A escolha do sistema de prevenção contra corrosão é geralmente feita utilizando somente como base o valor de aquisição. Entretanto, este valor de aquisição diz muito pouco sobre a economia total dos diferentes sistemas de prevenção contra corrosão.

Os custos com manutenção de um sistema podem ser significativamente maiores do que outros. Este é o caso se o acesso à estrutura é difícil; se a manutenção causa interrupções operacionais; se os produtos e as máquinas precisam ser cobertos ou se os andaimes precisam ser erguidos.

Infelizmente, não é nada prático dar uma resposta universalmente aplicável quanto ao custo da galvanização por imersão a quente ou outros tratamentos superficiais. Estruturas e componentes variam em tamanho, afetando a facilidade com a qual eles podem ser manuseados e, assim, o custo da galvanização.

O preço da galvanização por imersão a quente é baseado no volume dos produtos, considerando que o preço da pintura é geralmente baseado na área da superfície (figura 111). As relações entre a espessura média do material e a superfície em m^2 /tonelada são apresentadas na figura 109.

Os custos iniciais são geralmente menores para a galvanização por imersão a quente do que para a pintura pesada (figura 110), pois a pintura é mais trabalhosa do que esse tipo de galvanização.

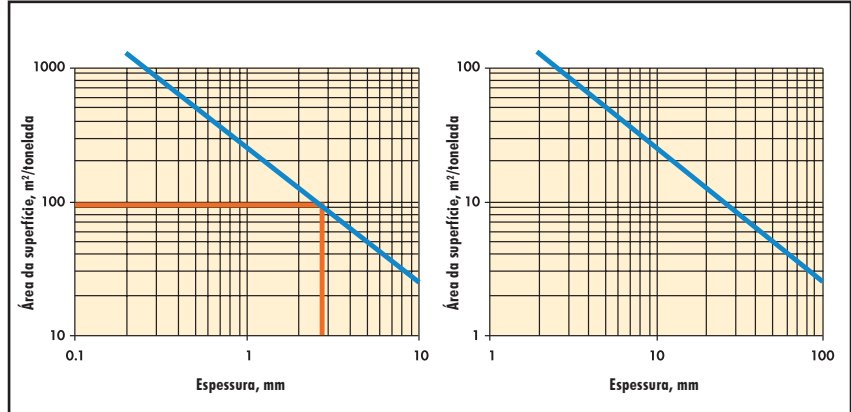


Figura 109. Diagrama para novo cálculo da espessura do material em mm com base na superfície do material em m^2 por tonelada. (De acordo com H-J Böttcher e J P Kleingarn)

Quando os custos totais de diferentes sistemas de prevenção contra corrosão forem comparados, surgem diversas complicações, uma vez que os intervalos entre as exigências de manutenção individual podem variar. As situações de custo em cada intervalo também podem variar. Entretanto, a longa vida útil dada pelos revestimentos de zinco, juntamente com o risco menor de dano secundário levando a uma redução significativa na proteção contra corrosão, quase sempre torna a galvanização por imersão a quente mais barata do que os outros métodos de tratamento superficial no longo prazo.

Os custos permanentes totais dos sistemas de prevenção contra corrosão variam devido aos diferentes intervalos de serviço, aos diferentes conteúdos de trabalho, à complexidade dos custos de acesso à

manutenção e às taxas de desconto utilizadas nos atuais cálculos dos valores. O custo primário de será galvanização muitas vezes maior do que o custo primário de sistemas de pintura com vida útil curta, porém menores do que os custos apresentados por sistemas de pintura com vida útil longa. O custo de galvanizar formas e produtos complexos por imersão a quente com uma alta razão entre superfície e peso geralmente será mais competitivo do que o custo da pintura. A galvanização por imersão a quente também oferecerá tempos menores de produção, sem perigo de atrasos dispendiosos no local. Esses fatores, além de uma longa vida útil, geralmente farão com que a proteção contra corrosão com galvanização por imersão a quente seja uma solução competitiva.

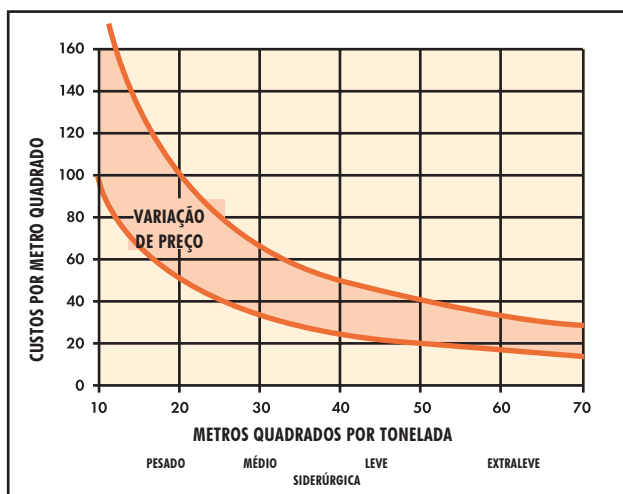


Figura 110. Comparação entre os custos iniciais relativos da galvanização por imersão a quente e um sistema típico de pintura pesada. O gráfico considera a espessura do revestimento galvanizado por imersão a quente para várias espessuras verticais.

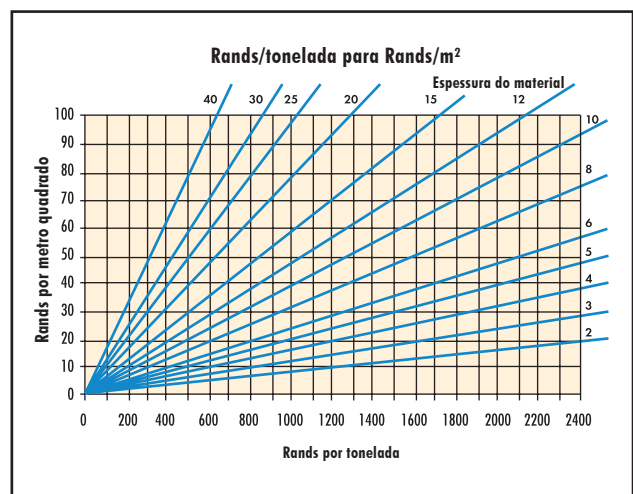


Figura 111. Conversão de volume baseado em uma área a um preço de área.



Pintura de Aço Galvanizado por Imersão a Quente - Sistemas de Revestimento Duplex

O "Revestimento Duplex" é um termo introduzido por JFH van Eijnsbergen, especialista em corrosão, no início dos anos 50. Ele descreve a proteção do aço por uma camada de zinco, que recebe uma camada extra de um revestimento não metálico. Seu objetivo é fornecer resistência adicional à corrosão, principalmente quando for exigido ou quando uma aparência agradável se faz necessária. A o tempo de resistência à corrosão de um revestimento duplex aplicado adequadamente é normalmente maior do que a soma das vidas úteis de dois revestimentos individuais. Normalmente, em condições climáticas extremamente ruins, o fator de aumento se situa entre 1,8 e 2,0. Em água do mar, o fator é entre 1,3 e 1,6 e em boas condições climáticas, o fator é entre 2,0 a 2,7.

Uma proteção eficiente por meio de um sistema duplex somente é possível se a aderência no inter-revestimento de longo prazo for obtida através de um revestimento de pintura, o qual não reagirá quimicamente com o substrato de zinco. A preparação e limpeza inadequadas da superfície de zinco antes da aplicação de sistema de pintura compatível ou revestimento em pó é a principal causa de falha prematura.

Já que as películas de tinta são permeáveis, em maior ou menor grau, a água consegue penetrar, durante certo tempo, para a superfície de zinco, podendo causar uma reação com o zinco. Os produtos sólidos de corrosão do zinco são aproximadamente 20% maiores em volume que o zinco a partir do qual eles surgem, considerando que os produtos de corrosão do aço possuem cerca de duas vezes o volume do aço a partir do qual eles são formados. No caso de revestimentos duplex, isto pode ser benéfico, desde que os defeitos no revestimento orgânico possam ser parcialmente vedados e a penetração retardada. Entretanto, o ataque excessivo na interface resultará em descascamento ou empolamento, geralmente em menor escala do que em casos nos quais mais produtos de corrosão volumosos de aço são produzidos.

Os revestimentos galvanizados por imersão a quente em aço acalmado com silício são mais

fáceis de pintar do que revestimentos de zinco puro em chapas constantemente galvanizadas devido à presença de camadas de liga de ferro/zinco. Em revestimentos com aplicação térmica de zinco, aconselha-se aplicar um revestimento isolante inicial para evitar a absorção de camadas de tinta por poros do revestimento de zinco, deixando uma camada rica em pigmento, propensa à desintegração. O revestimento em pó com poliésteres, poliésteres de epóxi ou epóxis é uma prática comum.

17.1 QUANDO REALIZAR A PINTURA DE ESTRUTURAS DE AÇO GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE

Estruturas existentes

A pintura de manutenção em uma superfície galvanizada, desgastada e limpa é geralmente mais eficiente do que quando a pintura é realizada em uma superfície de aço corroído. Isto é devido à facilidade de remoção dos produtos de corrosão do zinco, fornecendo, assim, um substrato mais estável. Já com o aço não galvanizado, a pintura de manutenção raramente alcança o padrão de um revestimento de tinta original. Os epóxis, que têm sido especificamente formulados para a pintura de manutenção do aço, também serão eficientes em superfícies galvanizadas desgastadas, mas limpas. No entanto, com a precaução necessária, é possível evitar ou adiar a dispendiosa pintura de manutenção com a aplicação de um revestimento duplex. Com frequência, a pintura de manutenção do aço estrutural galvanizado é realizada sem necessidade, devido à convicção errônea de as "manchas de corrosão" superficiais presentes no revestimento se originam do substrato do aço. É importante reconhecer que as ligas de ferro/zinco constituem uma grande proporção de todo o revestimento. À medida que o desgaste gradativo ocorre, é possível observar manchas de corrosão dessas ligas, principalmente em casos em que os revestimentos extremamente espessos, associados à galvanização do aço acalmado com silício reativo, estão presentes. O único teste conclusivo serve para determinar a verdadeira

espessura do revestimento restante por meio de um calibrador de espessura eletromagnético. (Consulte também o Capítulo 11).

Novas estruturas

De longe, os resultados de revestimentos duplex mais satisfatórios são obtidos com a aplicação do sistema de pintura imediatamente após o processo de galvanização. A galvanização desgastada, adequadamente limpa, pode proporcionar uma superfície satisfatória para se aplicar à tinta, mas isto deve ser considerado somente se o material estiver situado em um no qual a corrosão é relativamente leve e no qual uma superfície de zinco desgastada e estável tenha se desenvolvido. Sob nenhuma hipótese, a pintura de estruturas recém-galvanizadas deve ser prolongada em um ambiente marítimo no qual a necessidade de remover produtos de corrosão de zinco instáveis, antes da pintura, fará com que o sistema se torne menos eficiente. No caso de estruturas parafusadas, a pintura antes da montagem fornece um benefício evidente, uma vez que as superfícies foscas recebem uma proteção extra enquanto o contato de metal com metal é evitado.

Uma alternativa para aplicar todo o sistema de pintura imediatamente após a galvanização é aplicar um primer adequado nesta etapa, seguido de um revestimento superior compatível no local. O revestimento final, porém, deve ser aplicado assim que possível se o material preparado for entregue em um local corrosivo.

De preferência, o material deve ter totalmente pintado no local de trabalho do galvanizador ou em local próximo, onde são aplicados rígidos procedimentos de controle de qualidade. Danos causados pelo transporte ao material pintado são principalmente resultantes de empilhamento inadequado ou manuseio incorreto. O uso de separadores de plástico, ou material semelhante, bem como lingas de nylon, para carregamento e descarregamento, geralmente resulta em danos mínimos a um revestimento com aplicação adequada de tinta. O uso de produtos de tinta revestível é recomendado, para que qualquer dano no revestimento, que possa ocorrer durante o transporte, seja imediatamente reparado no local, seja antes ou após a montagem.



Figura 112. Revestimento galvanizado por imersão a quente com jateamento brando com abrasivos seguido de um sistema de pintura adequado.

17.2 PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE PARA REVESTIMENTO DUPLEX

Uma superfície de zinco totalmente livre de contaminantes é um pré-requisito essencial para uma pintura de aço galvanizado satisfatória. **Quase todos os tipos de falha ocorrem devido a uma preparação inadequada da superfície ou recontaminação, após a limpeza e antes da pintura, da superfície reativa de zinco. Não informar ao galvanizador que haverá uma aplicação posterior de pintura geralmente resulta na entrega de um revestimento que foi passivado, o que pode influenciar negativamente a aderência da tinta. Quando a pintura ocorre (consulte a seção de novas estruturas) algum tempo depois que componentes galvanizados por imersão a quente são expostos a um ambiente marítimo com corrosão agressiva, recomenda-se fortemente a passivação após o processo de galvanização por imersão a quente. Da mesma forma, protuberâncias e fragmentos de zinco, que são aceitáveis em superfícies galvanizadas, não serão removidos caso o galvanizador não esteja ciente da obrigatoriedade de pintura.**

Aspereza da Superfície de Revestimento de Zinco

Da mesma forma que ocorre com um revestimento de pintura aplicado diretamente sobre o aço, salpicaduras de solda, escórias e defeitos na superfície de aço serão aparentes após a galvanização por imersão a quente, caso uma remoção prévia não seja executada.

Irregularidades na superfície de um revestimento galvanizado podem ser formadas por pequenas partículas de drossa, óxido de zinco, depósitos de fundentes e manchas resultantes de espaços intersticiais não vedados. Fragmentos localizados podem ocorrer quando a drenagem do zinco em excesso, durante sua retirada do banho de zinco, for incompleta. Geralmente, estes atributos não reduzem a resistência à corrosão do revestimento galvanizado, mas, caso sistemas duplex sejam aplicados, eles terão uma aparência mais proeminente após a pintura, podendo reduzir localmente a espessura do revestimento de tinta.

Da mesma forma que ocorre com um revestimento de pintura aplicado diretamente sobre o aço, salpicaduras de solda, escórias e defeitos na superfície de aço se uma película de tinta local mais fina localizada sobre uma pequena partícula de drossa ou sobre uma gotícula de zinco é algo menos crítico que uma película fina de tinta sobre uma protuberância do aço, já que os produtos da corrosão do zinco, formados após a corrosão da área de tinta com pouca espessura, evitarão uma corrosão acelerada, desde que uma boa aderência geral da película de tinta seja mantida. Isso foi demonstrado, por exemplo, no caso de revestimentos em pó, em que a presença de porosidades não apresenta qualquer influência sobre a resistência à corrosão do sistema duplex quando exposto à atmosfera. Em condições de imersão com alto grau de corrosividade, no entanto, películas de tinta locais com pouca espessura não devem ser toleradas, rão aparentes após a galvanização por imersão a quente, caso uma remoção prévia não seja executada.

Jateamento brando com abrasivo

O jateamento brando com abrasivo é um método frequentemente utilizado para preparar superfícies galvanizadas para serem pintadas. Não há dúvidas que, caso este processo seja executado corretamente, pode-se obter um

excelente nível de aderência. O uso de partículas abrasivas não metálicas ultrafinas e pressão reduzida de bico são itens essenciais, mas, caso sejam utilizados materiais abrasivos pulverulentos ou contaminados, o jateamento branco com abrasivo pode prejudicar mais do que auxiliar. A alta pressão de jateamento e o uso de abrasivos inadequados podem resultar na delaminação das camadas de liga de ferro/zinco, especialmente na presença de revestimentos pesados de zinco associados à galvanização de aço acalmado com silício. O processo é menos eficiente para produtos como pavimentos de grade, com superfícies inacessíveis não recebendo a quantidade de jateamento adequada, enquanto arestas expostas são inclinadas, recebendo uma quantidade excessiva de jateamento. Este tipo de jateamento deve ser somente utilizado para a preparação de superfícies de aço galvanizado caso os equipamentos e materiais adequados estejam disponíveis e sejam operados por funcionários treinados (figura 112).

Limpeza química

O zinco tende a atrair contaminantes, como óleo e poeira. Todos os contaminantes devem ser removidos por meio de limpeza, executada com um detergente solvente desengordurante adequado. O não cumprimento deste procedimento é a principal causa de falhas em sistemas duplex. Limpadores galvanizados, que contêm abrasivos, possuem eficiência comprovada, desde que o processo de escovagem seja executado adequadamente. Componentes abrasivos tendem a formar depósitos em contêineres eretos; portanto, recomenda-se uma mistura completa antes de qualquer utilização. Após o desengorduramento, é essencial uma escovagem com escova de cerdas e uma lavagem e enxaguadura completa com água potável corrente para remover qualquer vestígio de produtos químicos de limpeza. A superfície de zinco deve, portanto, ser uma superfície 'livre de rupturas da película de água' e, depois que esta etapa é alcançada e a superfície do zinco estiver seca, o processo de pintura deve começar assim que possível.

Revestimentos por conversão química

Pré-tratamentos químicos têm como objetivo proporcionar uma ligação forte, durável e duradoura entre revestimentos metálicos e não metálicos, além de evitar ou retardar ações físicas ou químicas indesejáveis entre os dois revestimentos. Os produtos químicos mais utilizados em pré-tratamentos são fosfatos e cromatos, que são amplamente utilizados na pintura de chapas, além de revestimentos em pó. Alguns produtos foram desenvolvidos e contêm um pequeno acréscimo de sais de cobre, o que faz com que o revestimento de zinco adquira uma coloração cinza escura. A vantagem destas fórmulas é que se torna possível verificar que todas as superfícies foram tratadas, apenas através de uma simples inspeção visual. Estas fórmulas comprovadamente proporcionam um excelente nível de aderência, embora seja possível alegar que sais de cobre são teoricamente prejudiciais quando em contato com um revestimento de zinco. Experiências realizadas no Reino Unido mostraram que isso somente se aplica caso o revestimento orgânico subsequente se deteriore ou em caso de aplicação em uma superfície na qual o pré-tratamento químico ainda produza reações.

17.3 ESCOLHA DE SISTEMA

Ao selecionar um sistema adequado, recomenda-se que todos os produtos, sempre que possível, sejam adquiridos de um mesmo fabricante de tintas. Isso garantirá um bom nível de compatibilidade. Algumas fórmulas de tintas não devem ser aplicadas diretamente em superfícies de zinco.

Alquídicos, entre outros produtos, podem gerar saponificação, com a formação de ácido fórmico, atacando o substrato de zinco e resultando em falhas de longo prazo no tocante à aderência. Algumas tintas, aplicadas a superfícies de zinco adequadamente limpas, proporcionarão um bom nível de aderência entre o revestimento de zinco e a tinta sem a aplicação de um primer. Isso acontece especialmente quando as superfícies são corretamente limpas através de jateamento brando com abrasivo antes do processo de pintura. Um excelente nível de aderência de certos tipos de revestimento especialmente formulados de poliuretano e epóxi de grande espessura pode ser atualmente alcançado sem o uso de um primer ou revestimento intermediário.

Primers

Primers aplicados a superfícies galvanizadas devidamente limpas e com eficiência comprovada para proporcionar o nível necessário de aderência de longo prazo entre um revestimento orgânico e um substrato de zinco incluem:

- Primers de epóxi com amina, com componentes duplos, à base de solvente, contendo óxidos de zinco e silicatos.
- Primers copolímeros modificados por acrílicos com componente único à base de água. Estes primers não devem ser utilizados em casos em que se espera saturação permanente durante o serviço.

Revestimentos de acabamento

O material a ser utilizado será determinado pelas condições encontradas em serviço. Revestimentos de epóxi com grande espessura e curados com poliamida são utilizados com sucesso pela indústria de mineração corrosiva, mas foram encontrados problemas relacionados à abrasão e fragilização por envelhecimento em certos produtos. Epóxis com alumínio, com componentes duplos, com alto volume de sólidos e com grande espessura são aplicados com sucesso em superfícies galvanizadas com primers. Estes produtos podem ser fornecidos com pigmentos de óxido de ferro micáceo (m.i.o.), ou pigmentos puros, caso podragem não seja uma desvantagem. Eles também são utilizados com sucesso na manutenção de pinturas. Os poliuretanos estão se tornando populares em situações nas quais são exigidas retenção de brilho e cores brilhantes. A aplicação de um revestimento externo de borracha clorada mostra resultados positivos, mas este produto está sendo, em muitos casos, substituído por revestimentos de vinil de alta resistência. Tem-se alcançado considerável sucesso com epóxis de alcatrão com fórmulas especiais que, quando aplicadas a superfícies de zinco adequadamente preparadas, podem proporcionar uma proteção de longo prazo, sem necessidade de manutenção, mesmo em situações de saturação permanente. Para mais informações, entre em contato com a Associação e consulte as seguintes publicações: Código de Práticas para Preparação de Superfícies e Aplicação de Revestimentos Orgânicos (HDGASA 01-1990); Especificações sobre Exigências de Desempenho de Sistemas de Revestimento (HDGASA 02-1990) e Proteção contra Corrosão de Sistemas Duplex e Galvanização por Imersão a Quente, incluindo - Supervisão de Qualidade, Manuseio, Carregamento, Descarregamento, Empilhamento e Reparos in Loco (HDGASA 03-2006). Para chapas revestidas através de processo de galvanização contínua, consulte o capítulo 5.



DESEMPENHOS COMPROVADOS DE REVESTIMENTOS – CASOS HISTÓRICOS

A engenharia da corrosão é a disciplina especializada que trata da aplicação de conhecimentos científicos, leis naturais e recursos físicos para criar e implantar materiais, estruturas, dispositivos, sistemas e procedimentos para controlar o fenômeno natural conhecido como FERRUGEM.

Embora alguns esforços para reduzir a corrosão apenas transformem os danos em algo previsível e menos evidentes, tratamentos de corrosão controlada como galvanização por imersão a quente e revestimentos duplex aumentarão a resistência à corrosão de determinado material e também permitirão estabelecer uma estimativa acerca do tempo de vida útil deste material.

Esta característica da previsibilidade do desempenho pode ser destacada de maneira significativa através dos três casos a seguir.

Durante muitos anos, a Eskom dependeu do processo de galvanização por imersão a quente para proteger seus produtos, como estruturas de aço para estações elétricas, pilones e estruturas de aço para subestações, expostos a diversas condições climáticas em toda a África do Sul.

A galvanização por imersão a quente é principalmente especificada para proteção contra corrosão. Por essa razão, os dois critérios mais importantes de inspeção de revestimento, verificados a qualquer momento durante o tempo de vida do revestimento, são a espessura e a continuidade de tal revestimento.

Já que o tempo de vida de determinado revestimento, independentemente de sua aplicação, é mais ou menos proporcional à sua espessura em um dado ambiente, um revestimento mais espesso resultará num tempo de vida substancialmente maior, quando comparado a um revestimento mais fino.

18.1 SUBESTAÇÃO DE PENTRICH – MKONDENI . PIETERMARITZBURG

A subestação foi construída em aproximadamente 1967 e exposta à atmosfera de Mkondeni. De acordo com a norma ISO 9223 Corrosão de Metais e Ligas - Corrosividade de Atmosferas - Classificação (consulte Capítulo 12), sugere-se que esta região de Pietermaritzburg seja um ambiente C2 ou C3, na pior das hipóteses.

Nossas descobertas

A espessura do revestimento galvanizado por imersão a quente de diversos componentes da subestação foi limpa, com a retirada de contaminantes atmosféricos, e medida através de um medidor eletromagnético calibrado de espessura de revestimento, cujos resultados se encontram em tabela abaixo.

Embora a norma SABS 763 tenha sido a especificação utilizada na época da instalação, as exigências referentes à espessura do revestimento são similares às encontradas na norma

SANS 121 (ISO 1461), a atual. Consulte o Capítulo 10.

Apesar das condições atmosféricas, o revestimento galvanizado por imersão a quente apresentou muito pouca corrosão em 40 anos de exposição.

As porcas e parafusos de sujeição de todas as estruturas aparentavam, a partir das leituras da espessura de revestimento, ser de zinco eletro galvanizado originalmente, e estavam em processo de degradação. Os parafusos de sujeição foram posteriormente revestidos por uma tinta rica em zinco, que foi raspada para medir a espessura do revestimento de zinco residual. Apesar de seu tamanho e às condições locais de corrosão atmosférica, a corrosão dos parafusos, em médio prazo, não comprometeria de maneira nenhuma a vida útil da estrutura; no entanto, eles devem ser restaurados utilizando um material adequado.

Subconclusão

O revestimento galvanizado por imersão a quente residual encontrado no aço estrutural se encontra, após 40 anos de exposição à atmosfera de Mkondeni, Pietermaritzburg, em boas condições, não necessitando de qualquer tipo de reparo por mais 40 anos.

18.2 SUBESTAÇÃO BLOUWATER – BAÍA DE SALDANHA

A Subestação Blouwater está localizada a cerca de 130 km ao norte da Cidade do Cabo. Esta área está periodicamente sujeita a uma névoa matinal que dura até a metade do período da manhã. O local escolhido se encontra há 20 km da costa, com ventos provenientes principalmente do sudeste e do noroeste. Portanto, estruturas de aço expostas a estas condições estão sujeitas a altos níveis de umidade, assim como atmosferas salinas costeiras. Foi construída em 1970.

Nossas descobertas

Em termos gerais, o revestimento está em muito boas condições apesar da contaminação



Foto 11: Visão geral da Subestação de Pentrich.



Fotos 12 e 13: Leituras de espessura de revestimento residual de 90 e 85 µm feitas em torres de terminais de 132/88kV e dois suportes de isoladores.

| ESPESURA DE REVESTIMENTO(µm) | | | | |
|---|-------|------|------|-----------------|
| Georgedale / Pentrich 3 - Torre de Terminal de 132/88kV | | | | |
| | Média | Máx. | Mín. | Nº. de leituras |
| 90 x 90 x 8mm L | 95 | 114 | 83 | 9 |
| 30 x 30 x 3mm L | 134 | 161 | 114 | 11 |
| Porca Sextavada M12 | 78 | 141 | 55 | 10 |
| Porca Sextavada M12 | 97 | 132 | 65 | 12 |
| Suporte de Isolador 132/88kV | | | | |
| 50 x 50 x 6mm L | 88 | 109 | 61 | 22 |
| Perfil em U de 150 x 75 | 123 | 179 | 89 | 18 |
| 70 x 70 x 12 L | 155 | 162 | 145 | 14 |
| Porca Sextavada M16 | 73 | 88 | 59 | 4 |

Leituras de revestimentos galvanizados por imersão a quente realizadas em diversos componentes expostos na Subestação de Pentrich.

de superfície, que poderia indicar o contrário. Curiosamente, alguns parafusos e porcas apresentavam sinais de alteração. Isso parecia limitado a conjuntos de fixadores abaixo da extremidade inferior de contraixas angulares diagonais invertidas. Isso ocorre devido a um período prolongado de acúmulo de umidade e isolamento da luz solar.

O uso de fixadores eletrogalvanizados com zinco não é aceitável devido ao revestimento de zinco extremamente fino.

Subconclusão

Após cerca de 35 anos de vida útil, o revestimento galvanizado por imersão a quente sobre itens de aço instalados na subestação de Blouwater continuará a proporcionar uma proteção contra corrosão adequada e eficaz por, pelo menos, mais 35 anos.

Não há dúvidas de que a galvanização por imersão a quente pode e de fato proporciona uma solução econômica para as questões de proteção do aço contra corrosão, não só em áreas com até 20 km de distância da costa, mas também em áreas de maior agressividade encontradas na África do Sul.

É interessante notar que, mesmo em locais nos quais o aço galvanizado por imersão a quente aparenta exibir "ferrugem vermelha", uma quantidade substancial de zinco e de ligas de ferro/zinco permanecem presentes após limpeza da superfície contaminada. É fato estabelecido que as camadas de ferro/zinco proporcionam aproximadamente 30% a mais de proteção contra corrosão do que o zinco puro. No entanto, à medida que as ligas de ferro/zinco são corroídas, salpicos de ferrugem vermelha aparecem devido ao teor de ferro presente nas ligas. Às vezes, isso é visto como uma representação de uma falha em potencial da estrutura; porém, na verdade, o aço permanece intocado e capaz de desempenhar as funções para as quais ele foi originalmente criado.

18.3 TORRES DE TRANSMISSÃO ELÉTRICA

A África do Sul é conhecida por suas diversas condições atmosféricas corrosivas. Estas condições ambientais não estão apenas restritas a regiões costeiras, mas incluem muitas áreas industriais localizadas no interior do país.

Áreas selecionadas e nossas descobertas

As três áreas escolhidas representam o espectro completo de condições climáticas existentes.

Área No. 1

- Condições Relativamente Benignas
- Linha de corrente contínua de 53kV de Cabora Basa à Subestação Apollo da Eskom, localizada ao sul de Pretória e inaugurada em 1973.
- Após remover a descoloração "aparente" da ferrugem, a espessura do revestimento subjacente de zinco galvanizado por imersão a quente era de 65,4 µm.

Área No. 2

- Área industrial localizada no interior, selecionada devido às suas condições



Fotos 14 e 15: Área No. 1 - Após a remoção da descoloração "aparente" devido à ferrugem, o revestimento subjacente galvanizado por imersão a quente apresentou espessura de 65,4 µm.

relativamente severas de corrosão.

A área está localizada dentro da área industrial de Germiston.

- Acredita-se que torre em questão esteja em serviço por 40 anos.
- Após a remoção da descoloração, isto é, dos produtos de corrosão, foi revelado que o revestimento galvanizado por imersão a quente remanescente media 119 µm.

Área No. 3

- Condições Costeiras Severas
- Linha de Transmissão Buffalo-Port Rez, situada em East London. Na época da inspeção, as torres estavam em serviço por 25 anos.
- Após 25 anos de serviço, as condições gerais das torres estavam em determinado nível que era recomendada a pintura de uma camada exterior com sistema de tintas para estender o tempo de vida da estrutura.
- A área selecionada para ilustrar condições marítimas severas consistia em torres de transmissão das Linhas de Transmissão Buffalo-Port Rez, situadas em East London.
- A torre inspecionada estava situada a aproximadamente 3 km do oceano, ao lado de um estuário de água salgada do rio Buffalo, além de estar adjacente a um aterro sanitário municipal. Na época da inspeção, as torres estavam em serviço por 25 anos. A proteção inicial contra corrosão consistia num revestimento galvanizado por imersão a quente; não havia nenhuma cobertura exterior de sistema de revestimento orgânico. Foi observado um severo processo de corrosão em perda subsequente de metais em alguns componentes da estrutura. Em uma determinada área, o grau de perda de metais era tão alto que isso resultou na perfuração de um dos componentes. As porcas e parafusos destes



Foto 16: Condições costeiras severas. Linha de Transmissão Buffalo-Port Rez, situada em East London. Na época da inspeção do revestimento, as torres estavam em serviço por cerca de 25 anos.

componentes corroídos também estavam gravemente enferrujados. O caso mais severo de corrosão estava localizado principalmente nas superfícies internas dos componentes. Os componentes que apresentavam níveis severos de corrosão se encontravam perfurados, ou o grau de perda de metais estava entre 1 e 2 mm. As superfícies exteriores destes componentes estavam apenas corroídas em nível superficial e as leituras da espessura do revestimento galvanizado por imersão a quente indicaram entre 87 e 104 µm.

Conclusão

Estruturas galvanizadas por imersão a quente encontradas em numerosas aplicações demonstraram possuir um desempenho notável em todo o espectro de condições ambientais existentes. Em áreas nas quais condições ambientais severas são encontradas, revestimentos duplex (galvanização por imersão a quente e revestimento exterior de uma camada de tinta) devem ser considerados.

Reconhecemos os esforços e agradecemos à Eskom pelas informações fornecidas nos casos acima.



Fotos 17 e 18: Apesar da contaminação aparente por "ferrugem" encontrada na superfície galvanizada, depois de removido, o revestimento galvanizado apresentou espessura de 126 µm.



CONFIABILIDADE

O revestimento galvanizado por imersão a quente é formado por uma reação metalúrgica entre o aço adequadamente limpo e zinco fundido. Isso resulta na formação de uma série de ligas de ferro/zinco, que depois são cobertas por zinco relativamente puro. Esse processo envolve a imersão total de componentes, tanto em pré-tratamentos químicos quanto em zinco fundido. Isso garante proteção uniforme e confiabilidade do revestimento mesmo em superfícies nas quais revestimentos através de outros métodos não seriam possíveis.

CONFIANÇA

Facilidade de inspeção e confiança na execução de serviços são atributos benéficos de um revestimento galvanizado por imersão a quente. A proteção catódica do zinco ao aço garante que não ocorra a corrosão do aço subjacente, desde que haja zinco presente. Mesmo em áreas de revestimento onde existe descontinuidade, o deslocamento da corrosão abaixo do zinco circundante não é possível.

PREVISIBILIDADE

A durabilidade de um revestimento galvanizado por imersão a quente é determinada pelo grau de corrosão do zinco em um ambiente específico e pela espessura do revestimento. Geralmente, a corrosão do zinco é uniforme; portanto, a durabilidade de um revestimento galvanizado por imersão a quente pode ser estimada na maior parte das aplicações.

SELO DE MEMBRO

A GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE É UM MÉTODO UTILIZADO PARA PROTEGER O AÇO CONTRA A CORROSÃO UTILIZADO POR MAIS DE 170 ANOS. AS APLICAÇÕES PARA AS QUAIS A GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE SÃO RECOMENDADAS SÃO DIVERSAS E A DEMANDA CONTINUA A CRESCER.

DATA DE PUBLICAÇÃO: SETEMBRO DE 2009

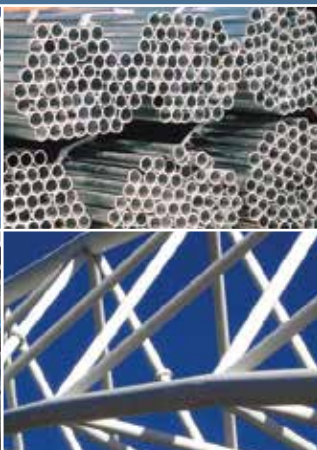
O material incluído nesta publicação foi desenvolvido para fornecer informações precisas e oficiais referentes a produtos de aço e ferro galvanizados por imersão a quente após sua fabricação, e foi elaborado com base em práticas de inspeção e princípios de engenharia reconhecidos. Este material foi elaborado somente para fins informativos e não foi pensado como substituto de testes e verificações profissionais competentes com relação a precisão, adequação e aplicabilidade. A publicação dos materiais aqui contidos não deve ser considerada como uma declaração ou garantia por parte da Associação de Galvanizadores por Imersão a Quente da África do Sul. Qualquer pessoa que utilizar estas informações assume total responsabilidade resultante desta utilização.

PUBLICAÇÕES DISPONIBILIZADAS PELA ASSOCIAÇÃO

- Jornal da Associação - Hot Dip Galvanizing Today.
- Proteção do Aço através de Sistemas Dúplex e Galvanização por Imersão a Quente
- Guia Prático para Inspeção e Reparos em Revestimentos Galvanizados por Imersão a Quente.
- Especificações acerca de Exigências de Desempenho para Sistemas de Revestimento Dúplex.
- Código de Práticas para Preparação de Superfícies e Aplicação de Revestimentos Orgânicos em Aço Galvanizado por Imersão a Quente Não Desgastado.
- Orientações para Uso de Produtos Galvanizados por Imersão a Quente na Indústria Mineradora.
- Quadro - Design para Galvanizados por Imersão a Quente.



GALVANIZAÇÃO DE CHAPAS POR IMERSÃO A QUENTE



GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE DE TUBOS



GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE COM CENTRIFUGAÇÃO



GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE DE ARAMES

