GUIA DE GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

ICZ
Instituto de Metais
Não Ferrosos

CAPÍTULO	TÍTULO	PÁG.
UM	GALVANIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL	4
DOIS	PERFORMANCE CONTRA CORROSÃO	8
TRÊS	COMO A GALVANIZAÇÃO PROTEGE O AÇO	14
QUATRO	INTRODUÇÃO À GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE	18
CINCO	CUSTOS E ECONOMIA	24
SEIS	ESPECIFICANDO A GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE	28
SETE	REVESTIMENTO DO AÇO GALVANIZADO, PINTURA OU REVESTIMENTO EM PÓ	40
OITO	QUALIDADE E INSPEÇÃO	44
NOVE	NORMAS RELEVANTES	48

ICZ
Instituto de Metais
Não Ferrosos

CAPÍTULO 1

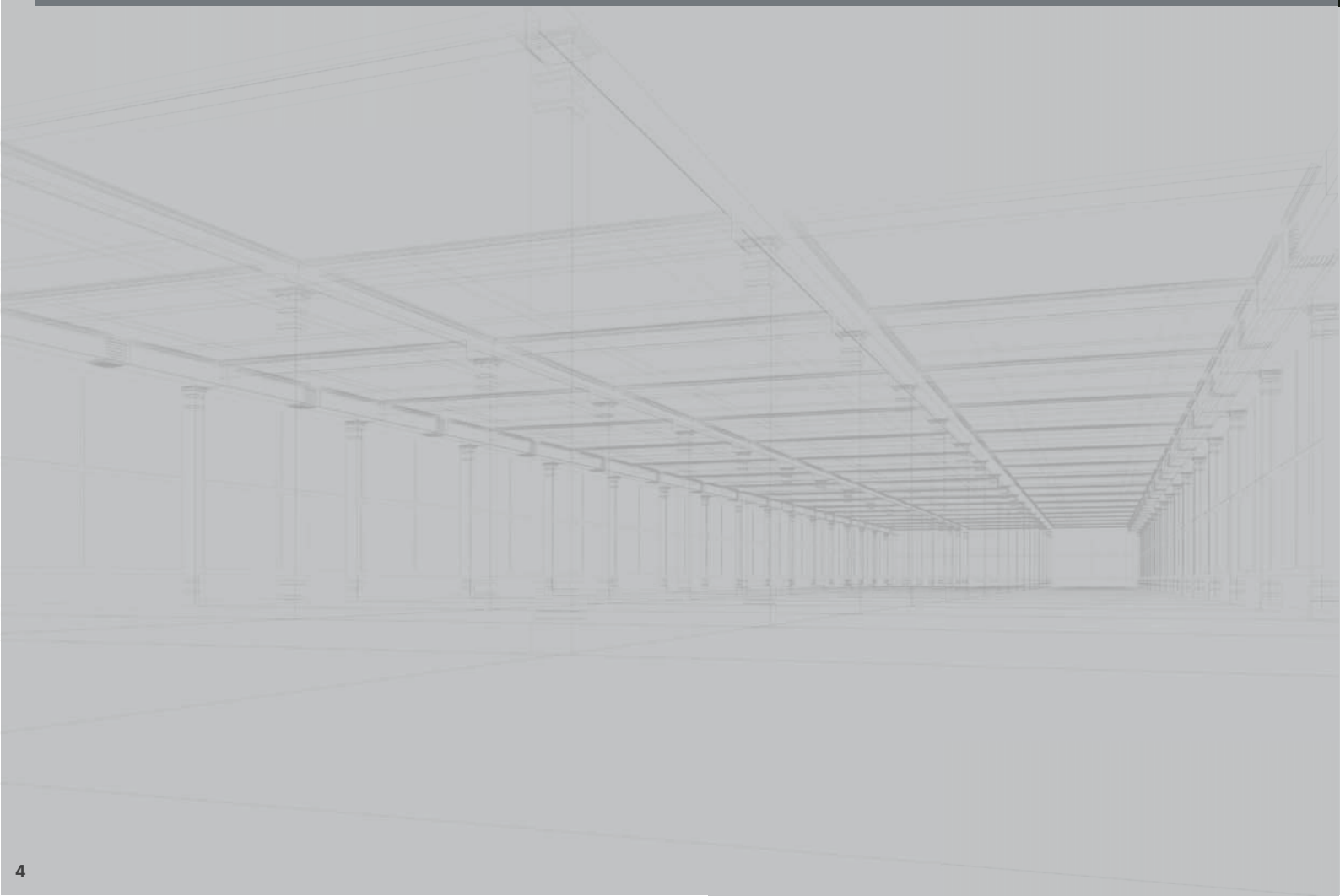
GALVANIZAÇÃO E CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL

TECNOLOGIAS FUTURAS TERÃO BAIXO GASTO DE ENERGIA E POUCOS RESÍDUOS. A GALVANIZAÇÃO É UMA SOLUÇÃO RECICLÁVEL QUE REDUZ O CONSUMO DE ENERGIA NA FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS.

A PRESSÃO SOBRE A INDÚSTRIA GLOBAL PARA QUE ELA ASSUMA A RESPONSABILIDADE AMBIENTAL POR SUAS AÇÕES É TOTALMENTE JUSTIFICADA, DEVIDO À BUSCA DA SOCIEDADE PELA SUSTENTABILIDADE.
A FILOSOFIA DA SUSTENTABILIDADE É BEM SIMPLES E CONSISTE EM GARANTIR UMA MELHOR QUALIDADE DE VIDA PARA TODOS – HOJE E, O MAIS IMPORTANTE, PARA AS GERAÇÕES FUTURAS. O CONCEITO ABRANGE QUATRO OBJETIVOS:

- PROGRESSO SOCIAL, QUE RECONHECE AS NECESSIDADES DE CADA INDIVÍDUO;
- MANUTENÇÃO DE NÍVEIS ALTOS E ESTÁVEIS DE CRESCIMENTO ECONÔMICO;
- PROTEÇÃO EFICIENTE DO MEIO AMBIENTE;
- USO PRUDENTE DE RECURSOS NATURAIS.

EM RELAÇÃO À PROTEÇÃO EFICIENTE DO MEIO AMBIENTE E AO USO PRUDENTE DE RECURSOS NATURAIS, O PROCESSO DE GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE POSSUI BOA AVALIAÇÃO E PODE SER CONSIDERADO UM IMPORTANTE FATOR DE CONTRIBUIÇÃO DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.



GALVANIZAÇÃO E MEIO AMBIENTE

A galvanização, o revestimento do ferro ou aço com zinco, é possivelmente o processo mais ecológico de prevenção contra a corrosão. Estima-se que os custos com corrosão representem cerca de 4% do PIB das nações industrializadas, percentual que tende a ser maior na economia dos países emergentes.

A cada 90 segundos, em todo o mundo, uma tonelada de aço é consumida pela corrosão; de cada duas toneladas de aço produzido, uma é para substituir o aço corroído. Ao proteger uma tonelada de aço contra a corrosão, através da galvanização por imersão a quente, economiza-se energia suficiente para atender às necessidades de uma família média por várias semanas.

A galvanização é o uso eficiente do zinco para proteger o aço por longos períodos, economizando recursos com o mínimo impacto para o meio ambiente. O zinco, o elemento natural responsável pela resistência à corrosão, é indispensável para os seres humanos, animais e plantas. No processo de galvanização, as estruturas de ferro ou aço são mergulhadas em um banho contendo zinco fundido. A galvanização permite a reutilização de todos os resíduos gerados no processo.

O aço galvanizado pode ser facilmente reciclado com outras sucatas de aço no processo de produção do metal.

O aperfeiçoamento da tecnologia de queima a gás também melhorou a eficiência em energia no aquecimento do banho de galvanização. O calor expelido não é desperdiçado e é utilizado para aquecer produtos químicos de pré-tratamento ou fazer a secagem antes da imersão.

A indústria de galvanização está comprometida em entender e aprimorar a performance ambiental da vida útil de seus processos e produtos.

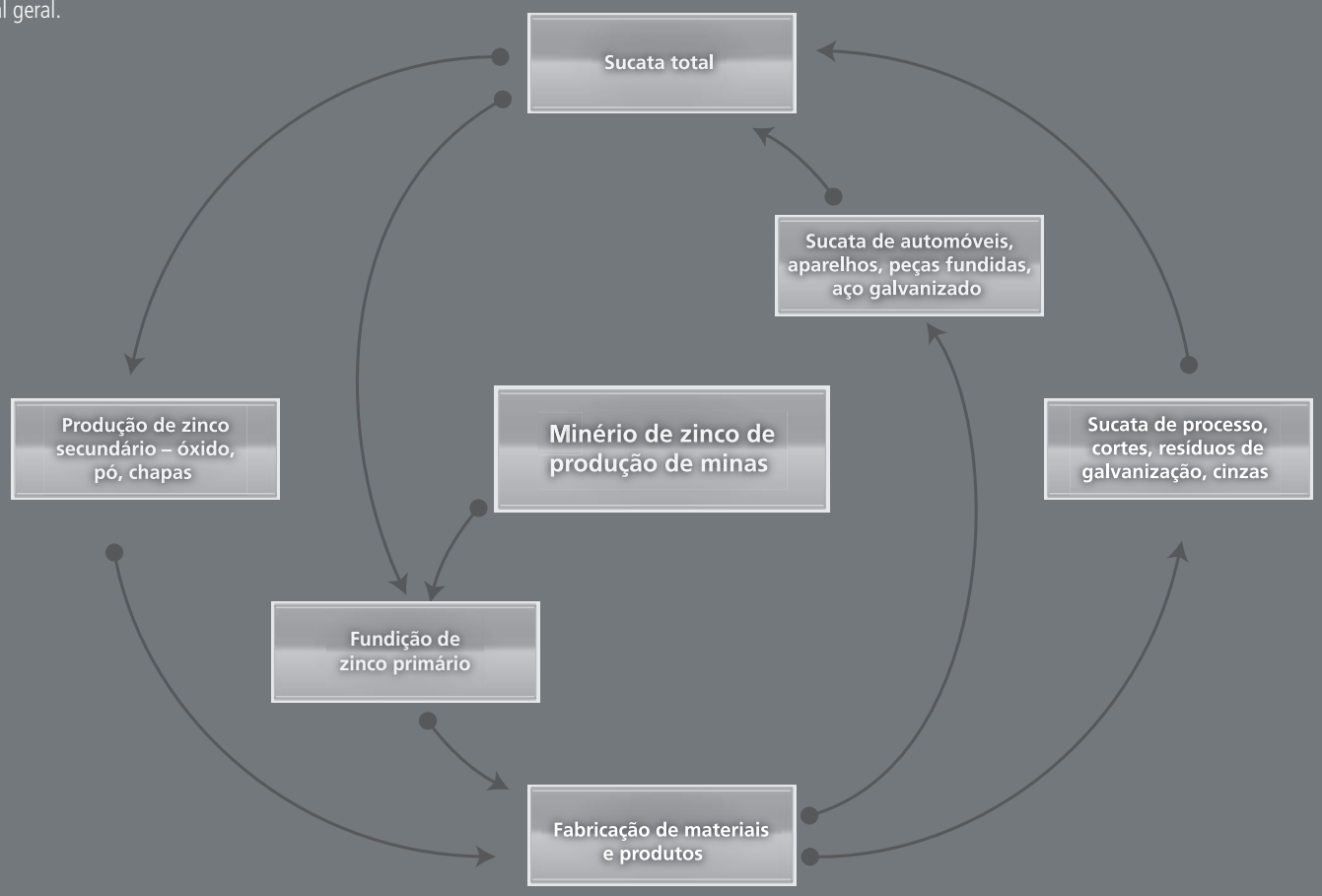
EMISSÕES DO PROCESSO

As emissões do processo de galvanização são muito baixas. A vazão de todos os resíduos líquidos, que consiste principalmente de ácidos utilizados para o pré-tratamento do aço, é removida por empresas licenciadas de gerenciamento de resíduos, em concordância com procedimentos obrigatórios, protegendo assim os recursos hídricos. O ácido descartado é também usado para neutralizar outros resíduos e na fabricação de produtos químicos para tratamento de água. A indústria melhorou muito sua utilização de produtos químicos de processos nos últimos anos – reduzindo os volumes de ácidos usados por tonelada de aço galvanizado.

As emissões para a atmosfera são extremamente baixas e rigidamente controladas pelos órgãos de proteção ambiental. Os banhos de galvanização possuem sistemas de filtragem para captar emissões de partículas para o ar. Isso é obtido com sucesso através do uso de áreas delimitadas para banho com a utilização de filtros.

Pesquisas em programas de melhores práticas de tecnologia ambiental em países europeus indicam que as galvanizações utilizam menos de 25 litros de água por tonelada de produto, em comparação aos 2 mil litros gastos pela indústria de acabamento de metal geral.

Fig. 1: Processo de reciclagem do zinco no aço galvanizado



RECICLAGEM

O zinco é a principal matéria-prima da galvanização.

O zinco é um metal não ferroso que pode ser reciclado indefinidamente sem nenhuma perda das propriedades físicas ou químicas. Essa é a principal vantagem dos processos de galvanização por imersão a quente, que garantem sua sustentabilidade ambiental e seu custo-benefício.

Cerca de 30% (3 milhões de toneladas) do consumo mundial de zinco vem de fontes recicladas. Um número que está aumentando com a maior conscientização ambiental e o aperfeiçoamento das tecnologias de reciclagem.
Estimativas sugerem que 80% do zinco disponível para reciclagem é de fato reciclado. Isso significa que grande parte do zinco em uso atualmente já foi utilizada antes.
A presença de um revestimento de zinco no aço não restringe sua capacidade de reciclagem.

O aço galvanizado é reciclado com outras sucatas desse metal no processo de produção. Ele volatiliza no início do processo e é coletado para reprocessamento.

OUTROS EXEMPLOS DE USO E MERCADOS PARA ZINCO RECICLADO

- Óxidos de zinco – farmacêuticos, alimentos, fertilizantes e cura de borracha.
- Pó de zinco – tintas, produtos químicos, lubrificantes, baterias e recuperação de ouro.
- Em liga com outros metais – fundidos em peças de precisão para aparelhos, hardware, eletrônicos e brinquedos.

A galvanização por imersão a quente é muito eficiente no uso do zinco, pois qualquer metal fundido não utilizado no revestimento do aço voltará para a cuba de galvanização.

Dois produtos residuais são formados durante o processo: uma mistura de zinco/ferro, chamada de borra, e as cinzas de zinco, constituídas principalmente de óxidos. Ambos contêm alto teor de zinco e são recuperados e reciclados por empresas especializadas, e o zinco reciclado normalmente retorna para o galvanizador. O óxido de zinco é recuperado das cinzas do galvanizador e utilizado em produtos farmacêuticos/cosméticos e na fabricação de pneus.

ZINCO – NATURAL E ESSENCIAL PARA A SAÚDE E O MEIO AMBIENTE

O zinco é essencial para a vida. Ele é um elemento natural encontrado em todas as plantas e animais e tem um papel crucial na saúde de nossa pele, dentes, ossos, cabelos, unhas, músculos, nervos e função cerebral. O zinco e seus compostos químicos são encontrados em mais de 200 enzimas e hormônios no homem.

A deficiência de zinco é reconhecida como um problema de saúde. A recomendação diária permitida (RDA) de zinco é de l5mg para homens adultos, um valor facilmente alcançado através de uma dieta equilibrada, contendo carne e vegetais. No entanto, certas pessoas precisam de mais zinco do que outras: grávidas e mulheres em lactação, por exemplo, podem precisar de até l9mg por dia. A dose média de uma pessoa idosa é somente 9mg por dia, pois o consumo de alimentos, principalmente de proteínas, normalmente é reduzido e por isso ela pode precisar tomar um suplemento de zinco.
O zinco é o 17º elemento mais comum na crosta terrestre. Muitas rochas contêm zinco em quantidades variadas e ele existe naturalmente no ar, na água e no solo. Em virtude do envelhecimento natural e da erosão das rochas, solos e sedimentos, além de erupções vulcânicas e incêndios florestais, uma pequena, mas significativa, fração de zinco natural é continuamente mobilizada e transportada no meio ambiente.

As concentrações naturais de zinco em meios ambientes diferentes são chamadas de níveis basais e podem variar consideravelmente de local para local. As espécies animais e de plantas dentro de uma área específica evoluem para aproveitar o zinco de seu meio ambiente e usá-lo para funções específicas de seu metabolismo. Consequentemente, todos os organismos são condicionados para as concentrações de zinco disponíveis em seu meio ambiente, que não são constantes e estão sujeitas a variações sazonais. Os organismos possuem mecanismos para regular seus níveis internos de zinco. Se os níveis de retenção sofrem uma grande queda, pode haver deficiência e ocorrer efeitos adversos.

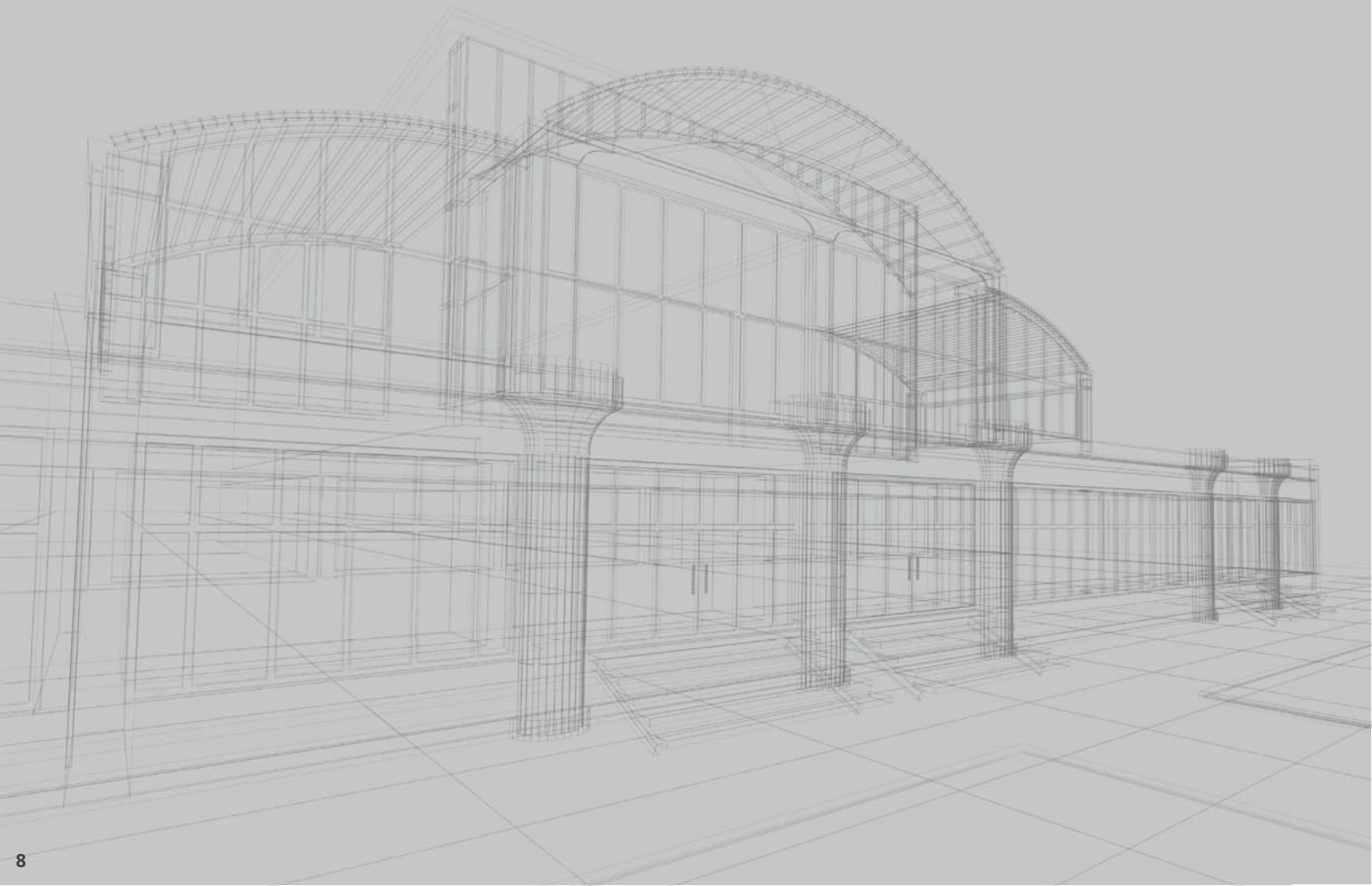
CAPÍTULO 2

PERFORMANCE CONTRA A CORROSÃO

A GALVANIZAÇÃO PROPORCIONA EXCELENTE PERFORMANCE CONTRA A CORROSÃO.

A DURABILIDADE DA ESTRUTURA É DIRETAMENTE PROPORCIONAL À ESPESSURA DA CAMADA DE ZINCO DE RECOBRIMENTO E ESTÁ RELACIONADA AO AMBIENTE NO QUAL A ESTRUTURA ESTÁ INSERIDA.

DETERMINADAS ESSAS VARIÁVEIS, É POSSÍVEL ESTIMAR A VIDA ÚTIL DE UMA ESTRUTURA.



Cobertura com estrutura em aço galvanizado

RESISTÊNCIA À CORROSÃO ATMOSFÉRICA

A resistência da galvanização à corrosão atmosférica depende de uma camada protetora formada na superfície do zinco. Quando o aço é retirado do banho de galvanização, o zinco possui uma superfície brilhante e lustrada. Com o tempo, ela fica acinzentada, pois a superfície reage com o oxigênio, a água e o dióxido de carbono presentes na atmosfera, formando uma película protetora complexa, mas forte e estável, que adere com firmeza ao zinco.

Contaminantes na atmosfera afetam a sua natureza, sendo que o mais importante contaminante para o zinco é o dióxido de enxofre (SO_2). A presença do SO_2 controla em grande parte a corrosão atmosférica do zinco.

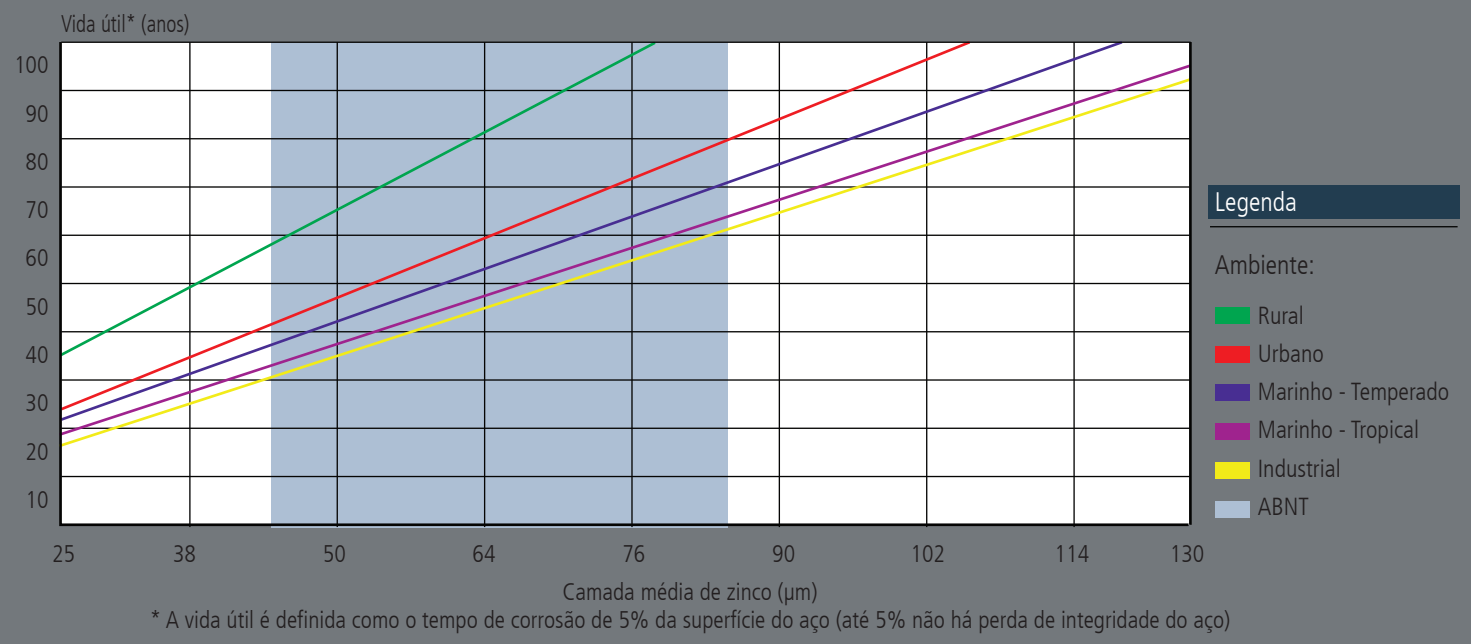
A taxa de corrosão para o zinco é geralmente linear em um determinado ambiente, permitindo, portanto, estimar o tempo de vida do revestimento com base em avaliações da sua espessura.

Uma estimativa da vida útil do revestimento também pode ser calculada através das taxas de corrosão para uma determinada categoria de corrosividade, de acordo com a norma ABNT NBR 14643, indicadas na Fig. 2

Fig. 2: Taxas indicativas de corrosão para ambientes diferentes (categorias de corrosividade de acordo com a ABNT NBR 14643).

Categoria de corrosividade	Taxa média anual de corrosão do zinco (um/ano)	Taxa média anual de corrosão do aço carbono (um/ano)
C1 | interior: seco	<0,1	<1,3
C2 | interior: condensação ocasional exterior: rural	0,1 a 0,7	1,3 a 25
C3 | interior: alta umidade, pouca poluição no ar exterior: interior urbano ou costa urbana	0,7 a 2,1	25 a 50
C4 | interior: piscinas, plantas químicas exterior: interior industrial ou costa urbana	2,1 a 4,2	50 a 80
C5 | exterior: industrial com alta umidade ou alta salinidade costal	4,2 a 8,4	80 a 200

A Fig. 3 ilustra o tempo de vida esperado do revestimento de acordo com sua espessura e o ambiente onde está inserido. A área hachurada representa as espessuras mínimas requeridas encontradas na norma ASTM NBR 6323



* A vida útil é definida como o tempo de corrosão de 5% da superfície do aço (até 5% não há perda de integridade do aço)

Fig.3: Vida útil para estruturas de aço galvanizado
(Fonte: AGA – American Galvanizers Association)

PERFORMANCE EM OUTROS AMBIENTES

AMBIENTES INTERNOS

Um erro de conceito comum é que a corrosão pode não afetar estruturas de aço que estejam em ambientes internos, fora do alcance das intempéries. Se existe condensação frequente na superfície da estrutura e o aço não está devidamente protegido, a corrosão será significativa. Sob essas condições, a galvanização por imersão a quente pode oferecer mais de 40 anos de vida útil. A galvanização por imersão a quente também tem sido amplamente utilizada para proteger estruturas de aço em ambientes internos, porém agressivos, como piscinas e cervejarias.

IMERSO: ÁGUA FRIA

Em sua grande maioria, as águas possuem sais formadores de incrustações, que podem formar uma camada protetora nas superfícies internas de sistemas galvanizados de distribuição de água. Consequentemente, os revestimentos podem ter sua vida útil normalmente aumentada em mais do que 40 anos. Se esses sais não estiverem presentes, pode-se prolongar a vida útil do revestimento através da aplicação de duas películas de solução betuminosa.

IMERSO: ÁGUA QUENTE

As propriedades da água formadoras de incrustações também são importantes na água quente, oferecendo expectativa de vida útil de mais de dez anos. Acima de 60ºC, o zinco pode tornar-se catódico em relação ao aço quando imerso em água, não oferecendo mais proteção de sacrifício caso o revestimento seja danificado. Em estruturas, como, por exemplo, tubulações, nas quais possa ocorrer esse fenômeno, a proteção de sacrifício pode ser garantida através da utilização de um ânodo de magnésio como "back-up" (apoio) para o revestimento de zinco.

IMERSO: ÁGUA DO MAR

A água do mar é mais agressiva do que a água doce devido à presença de sais dissolvidos (como sulfetos e cloretos, por exemplo), que aceleram o processo corrosivo. Em razão do elevado teor de cloretos presente na água do mar, uma taxa de corrosão muito alta deveria ser esperada. Entretanto, a presença de íons de cálcio e magnésio tem um forte efeito inibidor da corrosão do zinco nesse tipo de ambiente. Imersão pela maré, maresia regular ou imersão em água do mar tropical morna podem levar a uma taxa maior de corrosão.

SUBTERRÂNEO

A vida útil de um revestimento galvanizado enterrado pode variar, dependendo, por exemplo, do tipo de solo – sua acidez e se ele foi alterado. A variação do pH de 5.5 a 12.5, isto é, levemente ácido a alcalino,

é favorável. Os solos que contêm cinzas e detritos de carvão são especialmente nocivos. Em muitos casos, a aplicação de uma solução betuminosa sobre o revestimento de zinco é benéfica – principalmente onde o aço galvanizado estiver enterrado no solo ou no ponto onde surge do concreto. O aço galvanizado pode ser embutido com segurança no concreto. Para maior proteção em solos, revestimentos galvanizados mais espessos podem ser especificados.

EM CONTATO COM MADEIRA

Madeiras muito ácidas como carvalho, castanheira, cedro-vermelho e pinheiro podem ser utilizadas com o aço galvanizado, desde que elas sejam isoladas do contato direto. Alguns tipos de madeira, quando umedecidas, liberam uma substância que comumente é confundida com corrosão. Por mais que o aspecto técnico do aço galvanizado não se comprometa, a estética pode ser afetada.

EM CONTATO COM OUTROS METAIS

Existe somente uma pequena corrosão adicional do zinco como resultado do contato com a maioria dos metais, na maior parte das condições atmosféricas. A corrosão bimetálica pode ocorrer em condições de imersão ou em locais onde a água da chuva não pode ser drenada ou secada com facilidade nas superfícies de contato. Orientação é fornecida no PD6484 do BSI: "Comentários sobre a corrosão em contatos bimetálicos e sua mitigação" (Fig.4).

	Ambiente				
	Atmosférico			Imerso	
Metal em contato	Rural	Industrial urbano	Marinho	Água doce	Água do mar
Ligas de alumínio e alumínio	0	0 para 1	0 para 1	1	1 para 2
Bronze-alumínio e bronze-silício	0 para 1	1	1 para 2	1 para 2	2 para 3
Latão, incluindo latão de alta tensão (HT) (bronze-manganês)	0 para 1	1	0 para 2	1 para 2	2 para 3
Cádmio	0	0	0	0	0
Ferro fundido	0 para 1	1	1 para 2	1 para 2	2 para 3
Ferro fundido (austenítico)	0 para 1	1	1 para 2	1 para 2	1 para 3
Cromo	0 para 1	1 para 2	1 para 2	1 para 2	2 para 3
Cobre	0 para 1	1 para 2	1 para 2	1 para 2	2 para 3
Cupro-níquel	0 para 1	0 para 1	1 para 2	1 para 2	2 para 3
Ouro	(0 para 1)	(1 para 2)	(1 para 2)	(1 para 2)	(2 para 3)
Bronze de canhão, bronze de fósforo e bronze de estanho	0 para 1	1	1 para 2	1 para 2	2 para 3
Chumbo	0	0 para 1	0 para 1	0 para 2	(0 para 2)
Magnésio e ligas de magnésio	0	0	0	0	0
Níquel	0 para 1	1	1 para 2	1 para 2	2 para 3
Ligas de cobre-níquel	0 para 1	1	1 para 2	1 para 2	2 para 3
Ligas de níquel-cromo-ferro	(0 para 1)	(1)	(1 para 2)	(1 para 2)	(1 para 3)
Ligas de níquel-cromo-molibdenum	(0 para 1)	(1)	(1 para 2)	(1 para 2)	(1 para 3)
Prata-níquel	0 para 1	1	1 para 2	1 para 2	1 para 3
Platina	(0 para 1)	(1 para 2)	(1 para 2)	(1 para 2)	(2 para 3)
Ródio	(0 para 1)	(1 para 2)	(1 para 2)	(1 para 2)	(2 para 3)
Prata	(0 para 1)	(1 para 2)	(1 para 2)	(1 para 2)	(2 para 3)
Solda dura	0 para 1	1	1 para 2	1 para 2	2 para 3
Solda macia	0	0	0	0	0
Aço inox (austenítico e outros tipos que contêm aproximadamente 18% de cromo)	0 para 1	0 para 1	0 para 1	0 para 2	1 para 2
Aço inox (tipo martensítico que contém aproximadamente 13% de cromo)	0 para 1	0 para 1	0 para 1	0 para 2	1 para 2
Aços (carbono e baixa liga)	0 para 1	1	1 para 2	1 para 2	1 para 2
Estanho	0	0 para 1	1	1	1 para 2
Titânio e ligas de titânio	(0 para 1)	(1)	(1 para 2)	(0 para 2)	(1 para 3)

Legenda

0 - zinco e aço galvanizado não sofrerão corrosão adicional ou no máximo sofrerão uma pequena corrosão adicional, normalmente tolerável em serviço.
1 - zinco e aço galvanizado sofrerão corrosão adicional pequena ou moderada, que pode ser tolerada em algumas circunstâncias.
2 - zinco e aço galvanizado poderão sofrer corrosão adicional bastante severa e normalmente são necessárias medidas de segurança.
3 - zinco e aço galvanizado poderão sofrer corrosão adicional severa. Deve-se evitar o contato.

Observações gerais: as classificações em parênteses são baseadas em provas muito limitadas e sua exatidão é menor do que os outros valores apresentados. A tabela descreve corrosão adicional e o símbolo 0 não deve ser considerado uma indicação de que os metais em contato não precisam de proteção sob todas as condições de exposição.

Fonte: British Standards Institution PP. 6484-1979 tabela 23

Fig. 4: Corrosão do aço galvanizado resultante do contato com outros metais

ALTA TEMPERATURA

Os revestimentos galvanizados resistirão à exposição a temperaturas de aproximadamente 200°C e ocasionalmente de até 275°C, sem nenhum efeito sobre o revestimento. Acima dessas temperaturas, há uma tendência de que a camada externa de zinco se desprenda, mas a camada de liga ferro/zinco, que compreende a maioria do revestimento, permanece intacta. Assim, proteção adequada pode ser normalmente oferecida até o ponto de fusão da camada de liga (cerca de 530°C).

EM CONTATO COM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

O aço galvanizado pode ser utilizado em contato com argamassa, cimento, concreto e gesso úmido. Esses elementos possuem mínima ação corrosiva sobre os revestimentos, enquanto secam ou assentam. O produto de corrosão formado é extremamente aderente e menos volumoso que o aço, sendo assim evita o aparecimento de rachaduras e trincas em estruturas de concreto armado.

EM CONTATO COM PRODUTOS QUÍMICOS

O contato com produtos químicos exige consideração especial. Uma ampla gama de produtos químicos é compatível com o aço galvanizado. Contato prolongado ou frequente com ácidos e álcalis fortes não é aconselhável. A Fig. 5 ilustra alguns exemplos de produtos químicos que foram estocados em tanques galvanizados com êxito.

Hidrocarbonetos
Benzeno (benzol)
Tolueno (toluol)
Xileno (xilol)
Ciclo-hexeno
Éter de petróleo
Nafta pesada
Nafta solvente

Alcoóis
Metilparafinol (metilpentinol)
Morfolino-isopropanol
Glicerol (glicerina)

Haletos
Tetracloreto de carbono
Brometo de amil
Brometo de butil
Cloreto de butila
Brometo de ciclo-hexil
Brometo de etila
Brometo de propila
Cloreto de propila
Brometo de Trimetileno (1-3 Dibromopropano)
Bromobenzeno
Clorobenzeno
Rocloros e pirocloros (clorobifenil)

Nitrilos (cianidos)
Difenilacetonitrila
P-clorobenzileno-cianido

Éster

Alil	Butirato
	Caproato
	Formato
	Proprionato
Etil	Butirato
	Sobutirato
	Caproato
	Caprilato
	Proprionato
	Sucinato
Amil	Butirato
	Caproato
	Proprionato
	Sucinato
Benzil	Butirato
	Sobutirato
	Proprionato
	Sucinato
Octil	Butirato
	Caproato
Butil	Butirato
	Sobutirato
	Caproato
	Proprionato
	Sucinato
	Titanato
Propil	Butirato
	Isobutirato
	Caproato
	Formato
	Proprionato
Iso-butil	Benzonato
	Butirato
	Caproato
Iso-propil	Benzonato
	Caproato
	Formato
	Proprionato
Ciclo-hexil	Butirato

Fenóis
Fenol
Cresol (Metilfenol)
Xilenol (Dimetilfenol)
Bifenol (Di-hidroxi-bifenol)
2,4-diclorofenol
P-cloro-o-cresol
Cloroxilenol

Pridina
Pirolidina
Metilpiperazina
Di-carbetoxi-metilpiperazina
1-benzidril-4-metilpiperazina
2-4-diamina-5 (4-clorofenil-6)
Etilpirimidina
Hidroxi-etil-morfilina
(óxido hidroxietil-dietilamida)
P-amino-benzeno-sulfonil-guanidina
Butilamina oleato
Monoidrato de hidrocloreto de piperazina
Hidrocloreto de carbetoxi-piperazina
(seco)

Amida
Formamida
Dimetilformamida

Variados
Glicose (líquida) benzilidenoacetona
P-clorobenzofenona
Azo-benzeno-sulfonato de sódio
Soluções de resina de melamina
Extrato cru de cáscara
Creosoto
Clorofluorcarboneto

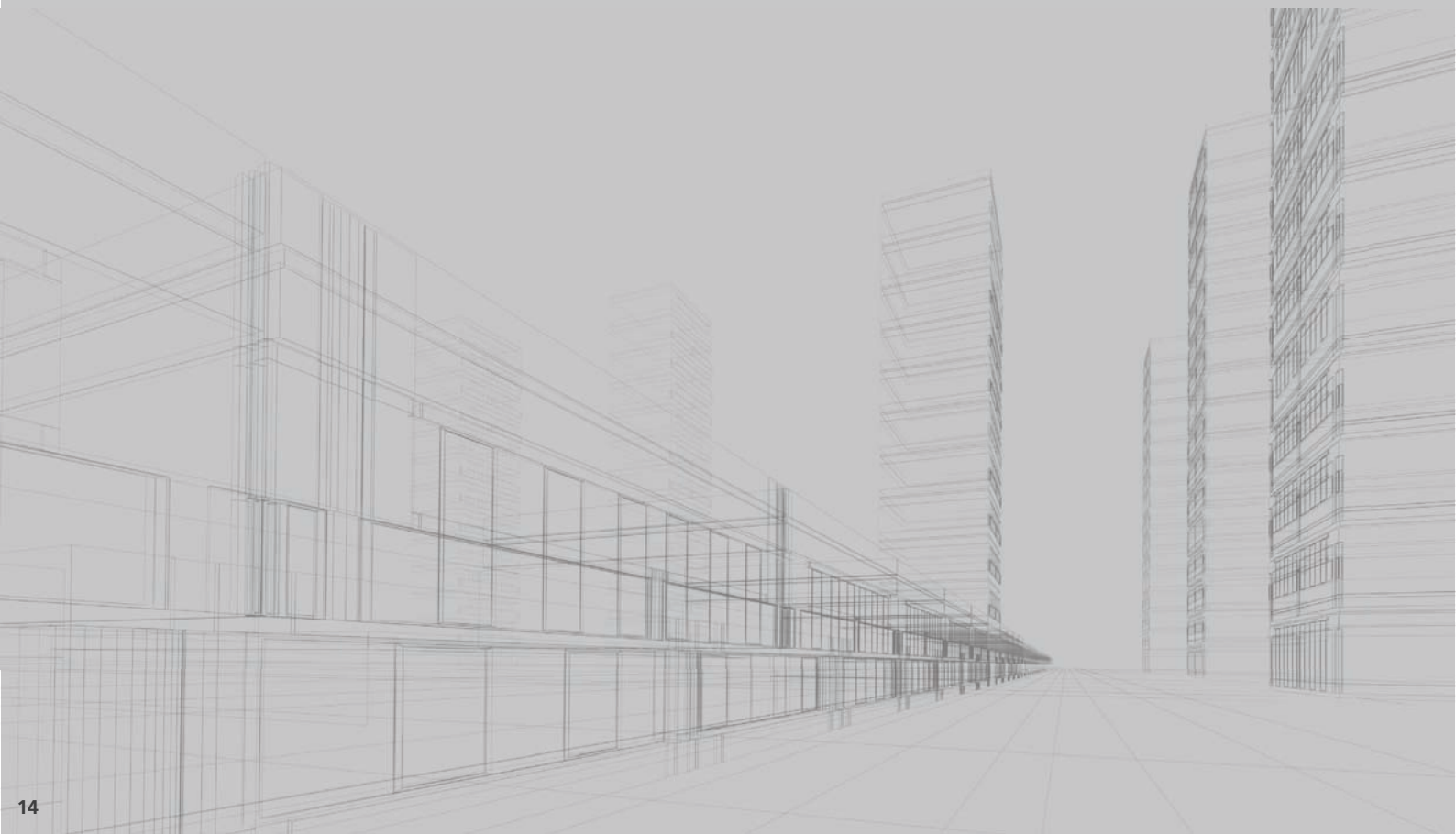
Fig. 5: Produtos químicos que foram estocados em tanques galvanizados com êxito. Fonte AGA (American Galvanizers Association)

Poste de iluminação galvanizado – Praia de Boa Viagem – Recife

CAPÍTULO 3

COMO A GALVANIZAÇÃO PROTEGE O AÇO

A GALVANIZAÇÃO É ÚNICA – RESISTENTE, DURADOURA, REGENERADORA E COBRE AS SUPERFÍCIES INTERNAS E EXTERNAS DA ESTRUTURA.



Casa de praia com estrutura em aço galvanizado

BARREIRA DE PROTEÇÃO

No processo de galvanização, é formada uma barreira que isola todas as superfícies internas e externas do aço do meio ambiente. Erroneamente o termo galvanização é utilizado para descrever revestimentos em zinco em geral. O diagrama ao lado (Fig. 6) ilustra como os diferentes tipos de revestimentos em zinco variam em termos de espessura. A expectativa de vida útil de um revestimento de zinco está diretamente relacionada com sua espessura: revestimentos mais espessos têm uma vida útil mais longa. A galvanização por imersão a quente oferece a produtos fabricados em ferro ou aço proteção máxima através de uma ligação intermetálica entre o zinco e o aço, resultando em um revestimento mais espesso, contínuo e resistente.

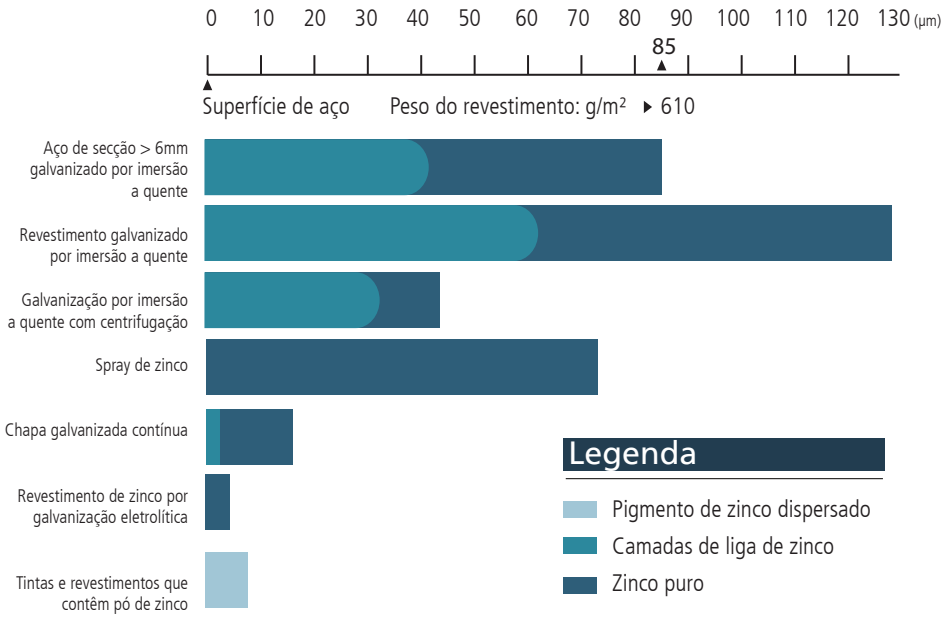


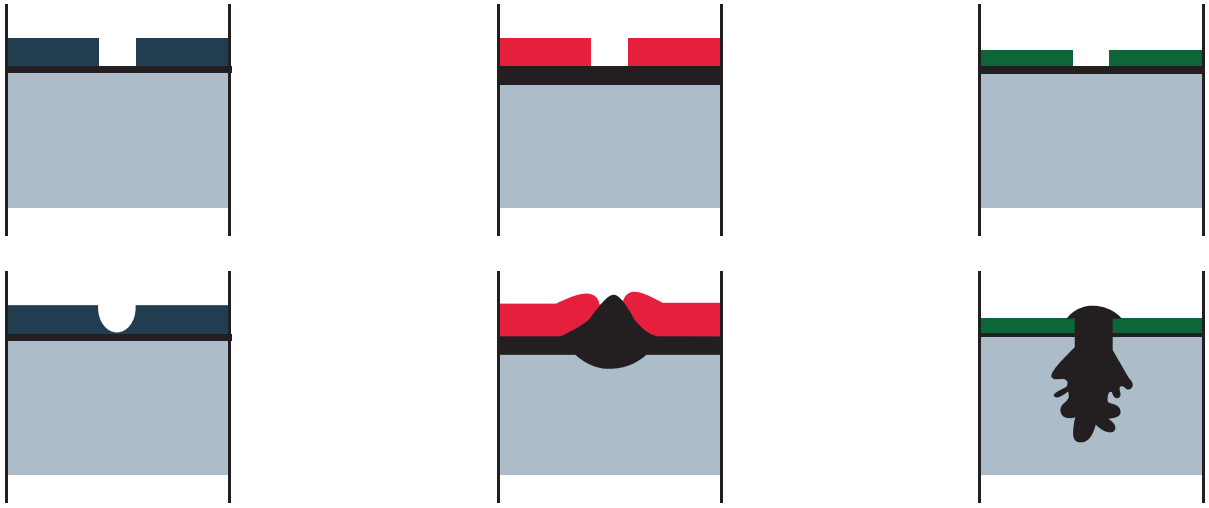
Fig. 6: Espessura do revestimento (µm) medida a partir da superfície de aço

PROTEÇÃO CATÓDICA

O zinco, por ser mais eletronegativo que o aço, sofre corrosão preferencial ao aço e sacrifica-se para protegê-lo. Por conseguinte, a galvanização por imersão a quente oferecerá essa proteção catódica. Os produtos de corrosão do zinco, por serem aderentes e insolúveis, se depositam sobre a superfície do aço, isolando-o da atmosfera, evitando assim sua corrosão. Esse processo é semelhante à cicatrização. No entanto, nos revestimentos com tinta, é necessário que haja a aplicação imediata de uma proteção adicional após a ocorrência do dano. Caso contrário, o aço pode ser corroído, com um eventual dano de todo o revestimento, pois a corrosão infiltrou-se no filme de tinta.

ESQUEMA PARA ILUSTRAR A CONSEQUÊNCIA DO DANO EM TIPOS DIFERENTES DE REVESTIMENTO QUE OFERECEM PROTEÇÃO CONTRA CORROSÃO

Fig. 7



REVESTIMENTO GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE

REVESTIMENTO DE TINTA

REVESTIMENTO COM METAIS MAIS ELETROPOSITIVOS DO QUE O AÇO

Uma célula galvânica é formada. O zinco em volta do ponto de danificação sofre corrosão. Produtos da corrosão precipitam-se na superfície de aço e ela fica protegida. O aço também é protegido, pois ele é catódico em relação ao revestimento de zinco.

O aço sofre corrosão na região onde o filme de tinta foi danificado. A corrosão se propaga entre o filme de tinta e a superfície do aço, ocasionando seu desprendimento. O processo corrosivo continua até que o dano seja reparado.

Níquel, cromo e cobre – por serem mais eletropositivos que o aço – conferem apenas proteção por barreira. Caso ocorra uma falha no revestimento, nessa região o aço sofre corrosão. A taxa de corrosão será ainda mais alta do que se o aço não estivesse revestido, pois ele funciona como metal de sacrifício. A corrosão normalmente é alveolar e pode até mesmo atravessar o aço.

Extremidade Anódica
(eletronegativo) – metais mais ativos

Magnésio
Zinco
Alumínio
Cádmio
Aço
Chumbo
Estanho
Níquel
Latão
Cobre

zinco protege o aço

Extremidade catódica – metais menos ativos

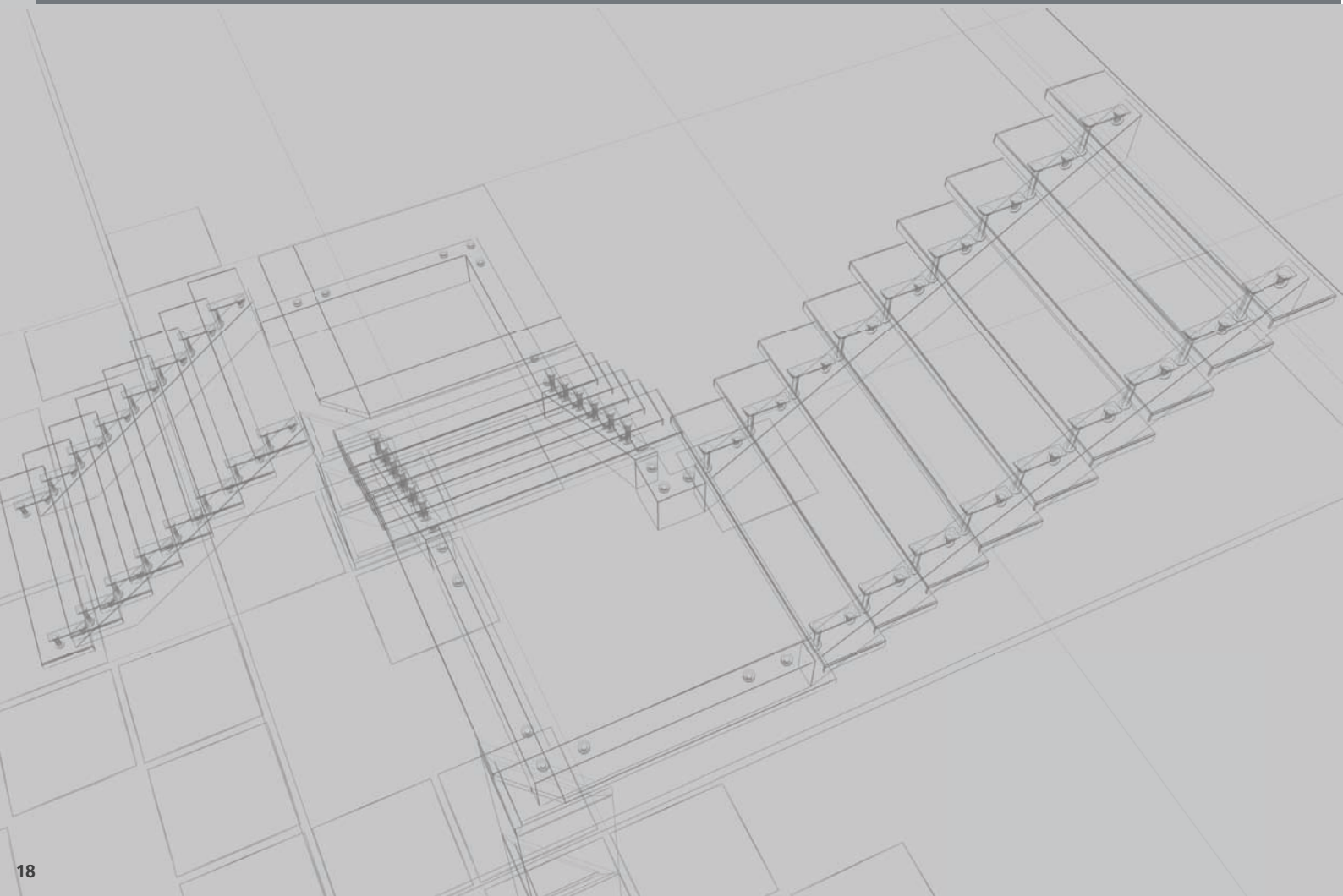
A posição do zinco na Série Galvânica

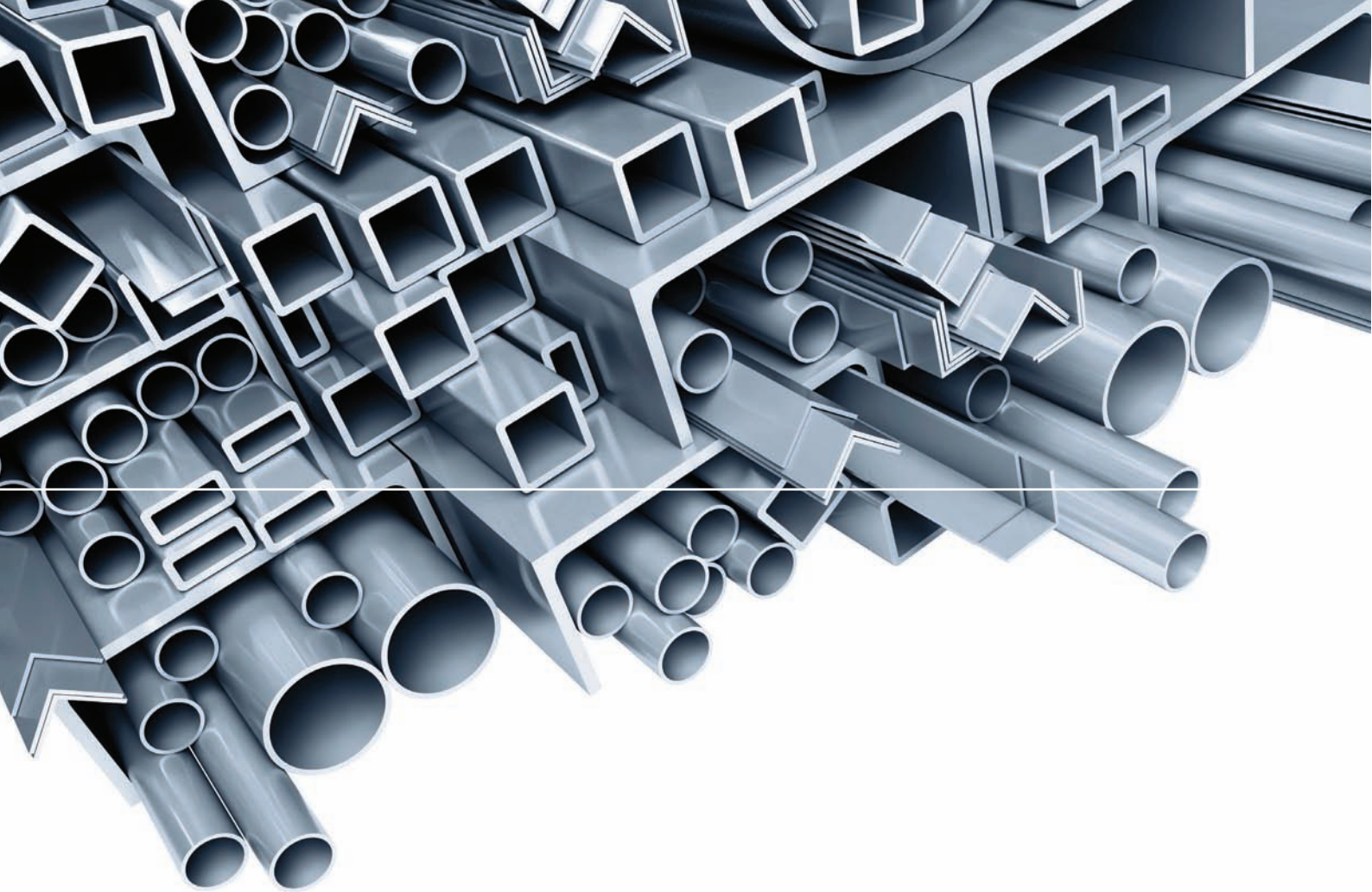
Estrutura de aeroporto em aço galvanizado e pintado

CAPÍTULO 4

INTRODUÇÃO À GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO À QUENTE

A GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE CRESCEU DE FORMA QUASE CONTÍNUA, DESDE QUE FOI UTILIZADA PELA PRIMEIRA VEZ PARA PROTEGER FOLHAS DE AÇO CORRUGADAS, HÁ 150 ANOS. SUA CAPACIDADE DE CRESCIMENTO, DIANTE DA CONCORRÊNCIA MAIS SOFISTICADA, É RESULTADO DA SIMPLICIDADE DO PROCESSO E DAS VANTAGENS ÚNICAS DO REVESTIMENTO.





PREPARAÇÃO DO AÇO GALVANIZADO

A galvanização só ocorrerá em uma superfície quimicamente limpa. Por isso, a maior parte do trabalho de preparação é feita tendo esse objetivo em mente. Em comum com a maioria dos processos de revestimento, o segredo em conseguir um resultado de boa qualidade está na preparação da superfície. É essencial que ela esteja livre de graxa, sujeira e incrustações antes da galvanização. Esses tipos de contaminação são removidos através de uma variedade de processos. A prática comum é retirar a graxa utilizando uma solução desengraxante alcalina ou ácida, na qual o material será mergulhado.

A peça é então lavada em água fria e imersa em ácido hidroclorídrico à temperatura ambiente (decapagem), para remover a oxidação e incrustações de usinagem. Resíduos de soldagem, tinta e graxa pesada não serão removidos nessas etapas de limpeza e devem ser retirados antes de o material ser enviado para o galvanizador. Após a etapa de enxágue, as peças passarão por imersão em uma solução de fluxo composta geralmente de 30% de cloreto de amônia e de zinco entre 65°C e 80°C. A etapa de fluxagem remove os últimos resquícios de óxido da superfície e permite uma melhor interação metalúrgica entre o zinco fundido e o aço.

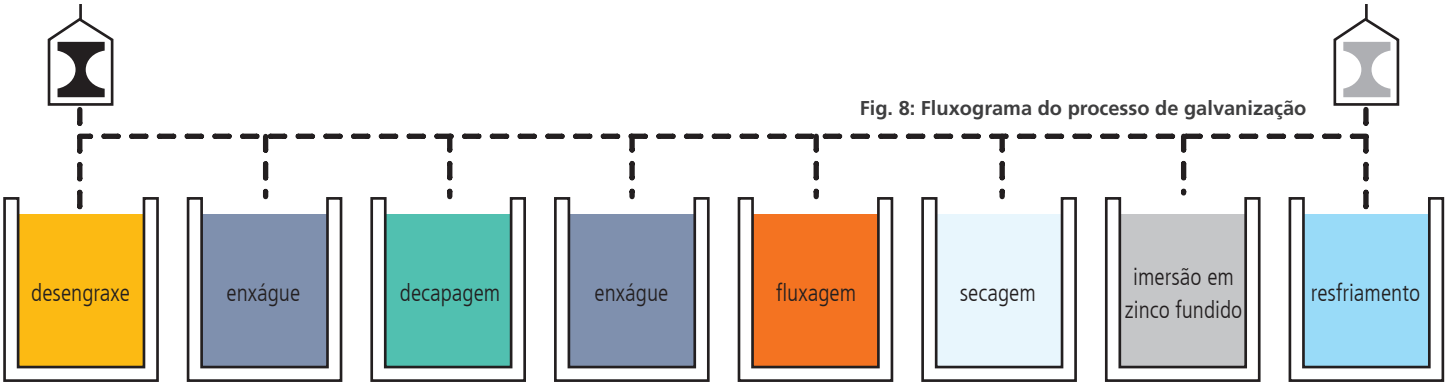


Fig. 8: Fluxograma do processo de galvanização

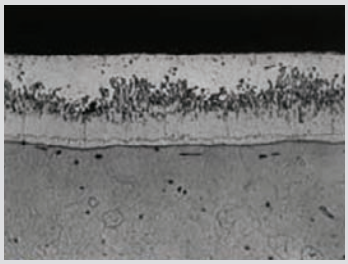


Fig. 9:

Microestrutura de um revestimento galvanizado por imersão a quente

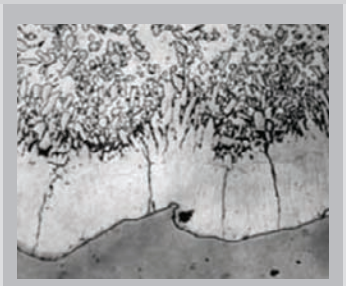


Fig. 10:

Microestrutura de um revestimento espesso obtido através de jateamento abrasivo de aço antes da galvanização

Fig. 11:

Microestrutura de revestimento espesso obtido utilizando-se um aço rico em silício

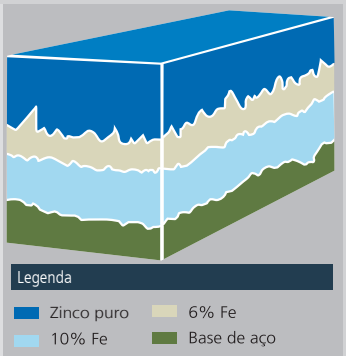


Fig. 12:

Esquema de um revestimento galvanizado por imersão a quente típico

O PROCESSO DE GALVANIZAÇÃO

Quando a peça de aço limpa é imersa no zinco fundido (que normalmente está a 450º C), uma série de camadas intermetálicas é formada através de uma reação metalúrgica entre o ferro e o zinco. A taxa de reação entre o aço e o zinco é normalmente parabólica com o tempo e por isso a taxa inicial da reação é muito rápida e pode-se observar uma considerável agitação no banho de zinco. A espessura principal do revestimento é formada durante esse período. Subsequentemente, a reação fica mais lenta e a espessura do revestimento não aumenta significativamente, mesmo se a peça ficar na cuba por um período maior de tempo. A duração típica de uma imersão é de cerca de quatro ou cinco minutos, mas pode ser mais longa para peças pesadas que possuem alta inércia térmica ou quando o zinco deve penetrar em espaços internos. Na extração da peça da cuba de galvanização, uma camada de zinco praticamente puro é formada por arraste do banho. Após o resfriamento, frequentemente pode-se observar a aparência brilhante associada aos produtos galvanizados.

O tratamento pós-galvanização pode incluir o resfriamento em água ou ar.
As condições na planta de galvanização como temperatura, umidade e qualidade do ar não afetam a qualidade do revestimento galvanizado. Por outro lado, elas são extremamente importantes para a qualidade da pintura.

O REVESTIMENTO

Quando a reação entre o ferro e o zinco estiver praticamente encerrada e a peça for retirada da cuba de galvanização completa com seu revestimento externo de zinco puro, o processo estará finalizado. Uma microssecção do revestimento galvanizado tem a aparência da figura acima (Fig. 9). Na verdade, não existe demarcação entre o aço e o zinco, mas sim uma transição gradual através da série de camadas intermetálicas que oferece a liga metalúrgica.

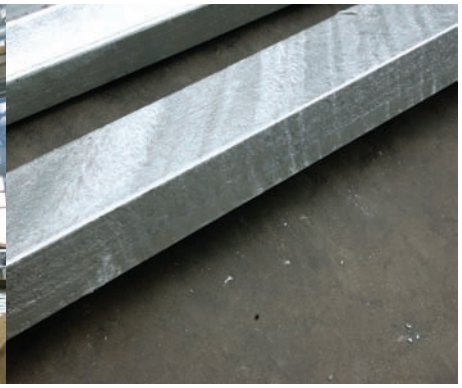
ESPESSURA DE REVESTIMENTO

As espessuras dos revestimentos são normalmente determinadas pela espessura do aço e estão definidas na ABNT NBR 6323 (ver capítulo 9).

REVESTIMENTOS GALVANIZADOS CENTRIFUGADOS

Este processo, incluído na ABNT NBR 6323, é utilizado para galvanização de componentes rosqueados e outras peças pequenas. As peças, após a preparação, são mergulhadas no zinco fundido em um cesto perfurado. Após a formação do revestimento, elas são centrifugadas ou rotacionadas em alta velocidade para eliminar o excesso de zinco, garantindo assim um perfil limpo. Os pesos mínimos e médios de revestimento para o trabalho de centrifugação estão identificados na ABNT NBR 6323.

Revestimentos mais espessos podem ser produzidos através dos seguintes métodos:



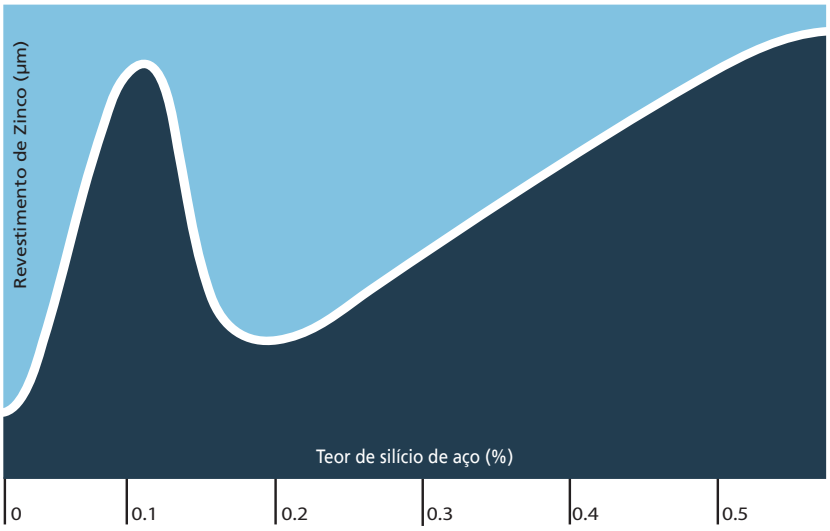


Fig. 13: Espessura aproximada do revestimento de zinco em relação ao conteúdo de silício (Si) do aço

REVESTIMENTOS MAIS ESPESSOS ATRAVÉS DE AUMENTO DA RUGOSIDADE DA SUPERFÍCIE

Este é o método mais comum para obter revestimentos mais espessos. Jateamento abrasivo da superfície do aço, antes da imersão, padrão Sa 2½ conforme ABNT NBR 7348, utilizando-se granalha de aço angular de tamanho G40, engrossa e aumenta a área da superfície do aço em contato com o zinco fundido. Isso geralmente eleva o peso da área por unidade de um revestimento galvanizado por imersão a quente em até 50% (Fig. 10). Qualquer peça de aço pode ser tratada dessa forma, desde que ela possua espessura suficiente para suportar o jateamento. Pode não ser possível fazer o jateamento abrasivo da superfície interna de secções e em peças com formas vazadas, mas normalmente essas áreas são menos suscetíveis à corrosão. Os revestimentos mais espessos do que aqueles exigidos pela ABNT NBR 6323 só devem ser especificados após consulta com o galvanizador ou com o Grupo de Galvanização do ICZ.

GALVANIZAÇÃO DE AÇOS REATIVOS

Um revestimento de zinco mais espesso será obtido se a peça a ser galvanizada for manufaturada a partir de um aço reativo. O constituinte do aço que possui maior influência sobre a reação do ferro/zinco é o silício, que frequentemente é acrescentado ao aço como desoxidante durante sua produção. O silício modifica a composição das camadas da liga de zinco/ferro, de modo que elas continuam a aumentar com o tempo, e a taxa de aumento não se reduz à medida que a camada fica mais espessa (Figs. 11 e 13).
Em um grau um pouco menor, o fósforo exerce a mesma influência na formação do revestimento. Quando uma peça fabricada com aço reativo é extraída do banho de zinco, uma camada de zinco adere à camada da liga, como faz com qualquer outra peça de aço. No entanto, a taxa de reação nesses aços pode ser tão alta que essa camada pura de zinco é transformada completamente em uma liga de zinco/ferro, antes que a peça tenha tempo para resfriar. O resultado é um revestimento de espessura igual ou maior que pode ter uma aparência muito mais escura. A mudança na aparência não altera a resistência à corrosão do revestimento.

PÓS-TRATAMENTOS PARA GALVANIZAÇÃO

Não é necessário pós-tratamento em peças galvanizadas. Tinta ou um revestimento em pó pode ser aplicado para incrementar a estética ou para proteção adicional onde o ambiente for extremamente agressivo. Tinta e revestimento em pó são discutidos no capítulo 7.

TAMANHO DE PEÇAS PARA GALVANIZAÇÃO

A galvanização é um processo versátil e pode ser aplicada em peças de diversos formatos e tamanhos, de porcas e parafusos a longas estruturas, permitindo também que estas possam ser parafusadas ou soldadas após o processo. Dessa forma, através

de módulos é possível a galvanização de projetos estruturais de grande porte. Formatos complexos, vasos abertos e a maioria das peças vazadas podem ser galvanizados, na parte interna e externa, em uma única operação. Certas formas vazadas podem ser galvanizadas somente na superfície externa, mas isso exige designs e técnicas de galvanização especiais.
A capacidade de cada planta de galvanização pode ser consultada com as próprias empresas galvanizadoras, disponíveis nos sites www.icz.org.br ou www.portaldagalvanizacao.com.br.

PERFORMANCE FÍSICA

O processo de galvanização tem como característica única um revestimento forte e resistente à abrasão, que representa uma maior proteção à superfície do aço.

COESÃO

Ao contrário da maioria dos revestimentos, que dependem unicamente da preparação do aço para que haja aderência, a galvanização por imersão a quente produz um revestimento que adere metalurgicamente ao aço. Em outras palavras, o ferro e o zinco reagem juntos para formar uma série de ligas que fazem com que o revestimento seja parte integral da superfície de aço com excelente coesão.

RIGIDEZ

Um revestimento resistente a danos mecânicos, durante o manuseio, armazenagem, transporte e montagem, é muito importante, principalmente se o custo do 'retoque' na obra deve ser evitado. A camada externa de zinco puro é relativamente macia e absorve grande parte do choque de um impacto inicial no manuseio e transporte. As camadas da liga mais próximas do aço são mais rígidas, às vezes até mais rígidas do que a própria base do aço. Essa combinação oferece um revestimento rígido e resistente à abrasão (Fig. 14).

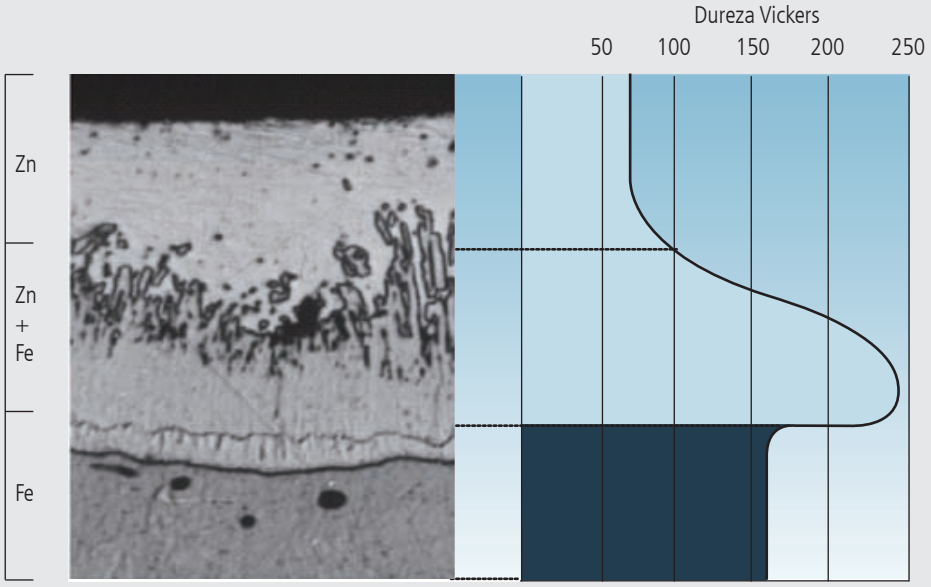


Fig. 14: Microssecção da camada galvanizada por imersão a quente, mostrando as variações da rigidez através do revestimento. As ligas de zinco-ferro são mais rígidas do que a base de aço.

Fachada de edifício em aço galvanizado

CAPÍTULO 5

CUSTOS E ECONOMIA

A GALVANIZAÇÃO OFERECE BENEFÍCIOS INCOMPARÁVEIS DE CUSTO DE VIDA ÚTIL A ESTRUTURAS E COMPONENTES DE AÇO E PODE TAMBÉM SER COMPETITIVA EM TERMOS DE CUSTO INICIAL.

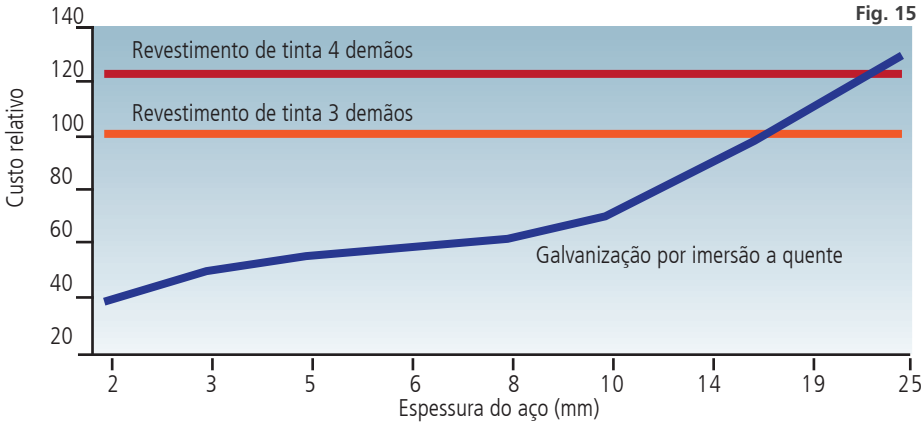
O CUSTO REAL DA PROTEÇÃO DA ESTRUTURA DE AÇO CONTRA A CORROSÃO DEVE CONSIDERAR DOIS ELEMENTOS IMPORTANTES:

- O CUSTO INICIAL DA PROTEÇÃO;
- O CUSTO NA VIDA ÚTIL, QUE INCLUI O CUSTO DE MANUTENÇÃO. ESSE É O CUSTO PARA GARANTIR QUE A ESTRUTURA DE AÇO ESTEJA PROTEGIDA CONTRA A CORROSÃO AO LONGO DE TODA A SUA VIDA DE SERVIÇO.

Estrutura do sistema de iluminação em aço galvanizado

CUSTO INICIAL

A galvanização por imersão a quente normalmente é considerada mais cara do que realmente é. Existem duas razões para isso: primeiro, que um revestimento de alto desempenho como esse é automaticamente considerado caro. Segundo, o custo inicial da galvanização em relação à pintura mudou significativamente nos últimos anos. O preço da pintura sofreu aumentos constantes, enquanto o da galvanização permaneceu estável. A Associação de Galvanizadores recentemente encomendou a consultores independentes, The Steel Protection Consultancy Ltd (SPC – Consultoria de Proteção de Aço), uma investigação da competitividade de custo da galvanização. A SPC, em conjunto com engenheiros de consultoria da WS Atkins, projetou uma construção típica com estrutura de aço de 240 toneladas para que fosse cotada. Dois sistemas de proteção contra corrosão foram especificados: (i) galvanização por imersão a quente e (ii) um jateamento abrasivo de boa qualidade e um esquema de pintura com 3 demãos formando um filme seco de 250µm de espessura. As cotações de oito fabricantes diferentes do Reino Unido foram obtidas e ponderadas. O sistema de pintura foi considerado 35% mais caro do que a galvanização por imersão a quente. A Fig. 15 ilustra que para muitas aplicações o custo da galvanização por imersão a quente é menor do que o da aplicação de revestimentos alternativos. A razão para isso é simples: alternativas como pinturas exigem muita mão de obra, se comparadas à galvanização, que é um processo de fábrica altamente mecanizado e rigidamente controlado.



CUSTO COMPLETO DE VIDA ÚTIL

O custo completo de vida útil de um prédio pode ser definido como:

"O custo de aquisição, operações e manutenção de um prédio ao longo de toda a sua vida útil."

O custo completo de vida útil pode ser caracterizado como um sistema que quantifica valores financeiros para prédios, desde sua concepção até o fim de sua vida útil. Ele é uma abordagem que equilibra o capital com custos de receita, para chegar a uma solução otimizada ao longo da vida completa de um prédio. Essa técnica, embora não seja nova, nos últimos anos foi aceita como a melhor prática na compra de uma construção. O custo completo de vida útil pode ser utilizado em qualquer etapa dos processos de aquisição e usado também para instalações, funções, sistemas e componentes. Ele contempla do projeto inicial ao final da vida.

Estima-se que até 80% do custo completo de vida útil de um prédio pode ser atribuído a custos de administração, manutenção e reformas. Consequentemente, existem picos de despesas nos primeiros dez anos e a cada cinco anos depois destes (ver Fig. 17).

A escolha inicial dos materiais e da forma como eles são protegidos obviamente tem um papel nos custos de manutenção e reformas ao longo da vida útil de um prédio. Por isso, exerce uma grande influência no perfil do custo completo de vida útil do projeto.

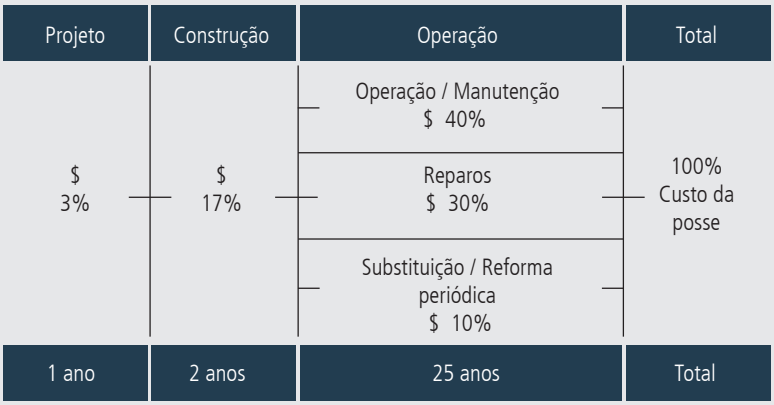
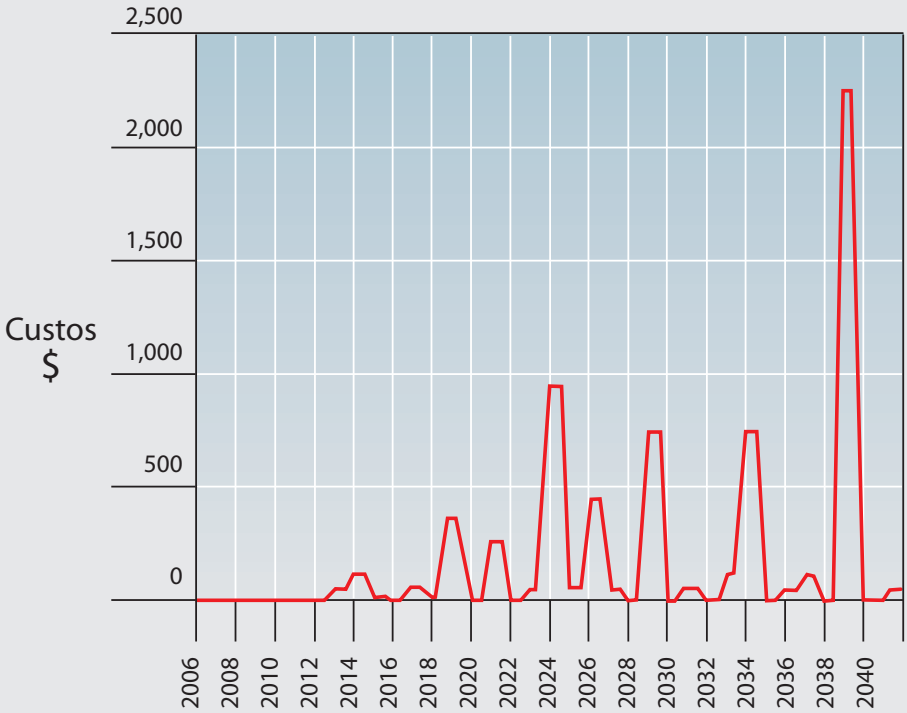


Fig. 16: Detalhamento do custo de vida útil

Fig. 17: Reduzindo Despesas
As despesas ao longo do ciclo de vida tendem a inerentemente produzir "picos", os maiores com 10, 15, 20, 25 anos



CUSTO DE VIDA ÚTIL

O custo geral da proteção de uma fabricação de aço ao longo de sua vida depende do valor e da durabilidade do revestimento inicial no ambiente específico, além dos custos e da frequência de qualquer tratamento subsequente, em que a vida útil exigida ultrapassa aquela do revestimento inicial.

Na maioria das aplicações, a galvanização por imersão a quente oferecerá uma vida útil duradoura e livre de reparos, sem nenhuma exigência de pintura de manutenção.

Existem formas de calcular os benefícios ou desvantagens de diferentes métodos de proteção contra a corrosão. O método mais comum é calcular o Valor Presente Líquido (Fig.18) de cada método e comparar os resultados. Esse cálculo leva em consideração o custo do empréstimo de dinheiro, o custo inicial da proteção, os custos de manutenção subsequentes e a vida útil do projeto. Ele é frequentemente utilizado por empresas para mensurar o possível resultado de um projeto de investimento de capital.

$$VPL = I + \frac{M_1}{(1+r)P_1} + \frac{M_2}{(1+r)P_2} + etc$$

Onde I = custo inicial do sistema de proteção
M1 = custo de manutenção no ano P1
M2 = custo de manutenção no ano P2
r = taxa de retorno

Fig. 18: Cálculo do VPL

EXEMPLO

Considere o caso de uma estrutura de aço que possui uma vida útil projetada de 25 anos e cuja taxa de retorno do investimento é de 5%.

Galvanização: sistema 1

Galvanização por imersão a quente para um revestimento médio de 85µm no aço de 6mm ou mais espesso. Como a galvanização com esse padrão possui uma expectativa média de vida de mais de 50 anos, é muito conservador projetar uma vida útil de 25 anos sem maior manutenção. O custo da galvanização deve ser um valor-base de 100 unidades. Não existem outros custos de manutenção. (VPL = 100)

Tinta: sistema 2

Um sistema de pintura que consiste de limpeza seguida por um revestimento interno e duas camadas externas de tinta. Esse sistema possui uma expectativa de vida útil de oito anos e por isso precisará de nova pintura por três vezes em 25 anos. O custo inicial é um pouco mais baixo do que a galvanização por imersão a quente (90 unidades). O valor da repintura para as duas primeiras ocasiões é de 45 unidades, mas chega a 90 unidades para a terceira pintura, quando a tinta original deve ser removida. (VPL = 169)

Tinta: sistema 3

Um sistema superior de pintura que consiste de limpeza abrasiva seguida por três demãos de tinta de melhor qualidade. Esse sistema possui uma expectativa de vida útil de 11 anos e precisará ser repintado duas vezes em 25 anos. O custo inicial é maior do que o do outro sistema de pintura (135 unidades). O custo da repintura é metade desse valor a 67,5 unidades. (VPL = 197,5)

Conclusão

Ao longo do projeto de 25 anos, o custo de um sistema de pintura "mais barato" é cerca de 70% maior do que o custo da galvanização. Da mesma forma, o valor de um sistema de pintura mais "caro" é quase o dobro da galvanização. Em termos de custo, a galvanização por imersão a quente é comparável com o sistema com tinta de boa qualidade. No entanto, ao examinarmos o custo da vida útil, a galvanização por imersão a quente é consideravelmente mais barata do que a maioria dos sistemas.

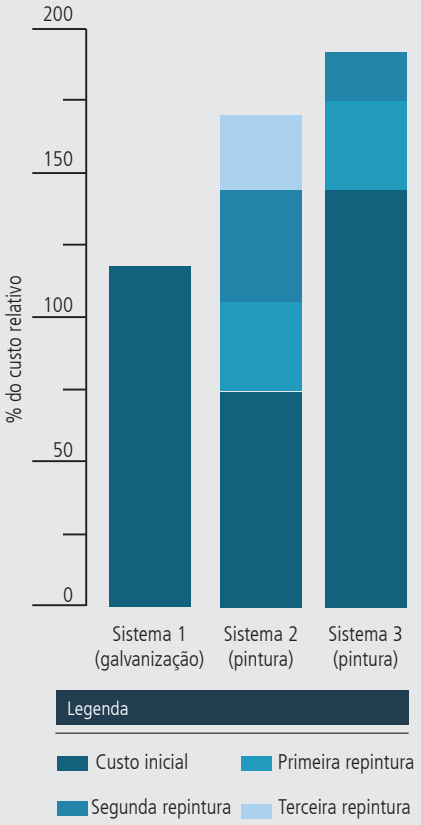


Fig. 19: Valor Presente Líquido comparado

Metrô SP - Estruturas metálicas em aço galvanizado

CAPÍTULO 6

ESPECIFICANDO A GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE

A GALVANIZAÇÃO É UM PROCESSO EXTREMAMENTE VERSÁTIL QUE POSSIBILITA SUA APLICAÇÃO EM ESTRUTURAS COMPLEXAS, POIS ESTAS PODEM SER SOLDADAS OU UNIDAS ATRAVÉS DE ELEMENTOS DE FIXAÇÃO TAMBÉM GALVANIZADOS. ALGUNS FATORES, SE LEVADOS EM CONSIDERAÇÃO NO INÍCIO DO PROJETO, PODEM MELHORAR A QUALIDADE E A APARÊNCIA DO REVESTIMENTO.

Passarela em aço galvanizado

PADRÕES

A especificação básica para revestimentos galvanizados por imersão a quente em artigos de ferro e aço foi definida através da norma ABNT NBR 6323 "Galvanização de Produtos de Aço ou Ferro Fundido – Especificação".

Quando a galvanização por imersão a quente é especificada, a superfície do aço é completamente coberta com um revestimento uniforme, cuja espessura é determinada principalmente pela espessura do aço a ser galvanizado (Fig. 20).

Material	Massa Mínima por unidade de área (g/m^2)		Espessura mínima equivalente do revestimento (µm)	
	Amostra individual	Média das amostras	Amostra individual	Média das amostras
Fundidos	450	4500	63	70
Conformados mecanicamente				
Espessuras (e):				
e < 2,0mm	300	350	42	49
2,0mm e < 4,0mm	350	400	49	56
4,0mm e < 6,0mm	450	500	63	70
e 6,0mm	530	600	74	84
Roscados:				
9,5mm	305	380	43	53
< 9,5mm	260	305	37	42

NOTA 1 A espessura do revestimento de zinco é determinada através da equação e = mA / 7,14,
onde e é a espessura do revestimento de zinco, expressa em micrômetros (µm);
mA é a massa do revestimento de zinco por unidade de área, expressa em gramas por metro quadrado (g/m^2);
7,14 é a massa específica do zinco expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3).
NOTA 2 Quando houver espessuras e tipos de aço diferentes em uma única peça, devem-se considerar os pontos de maior espessura de camada de zinco para a determinação da massa mínima por unidade de área.

Fig. 20: Massa de zinco por unidade de área de materiais galvanizados

Esta é uma vantagem importante do processo de galvanização: uma espessura-padrão de revestimento é aplicada quase que automaticamente.

A espessura real alcançada do revestimento galvanizado varia com o tamanho da secção de aço, do perfil da superfície e da composição da superfície. Pesos reais de revestimentos normalmente são muito maiores do que o mínimo especificado no padrão. Como as expectativas de tempo de vida de revestimento são baseadas em sua espessura mínima, elas são normalmente conservadoras.

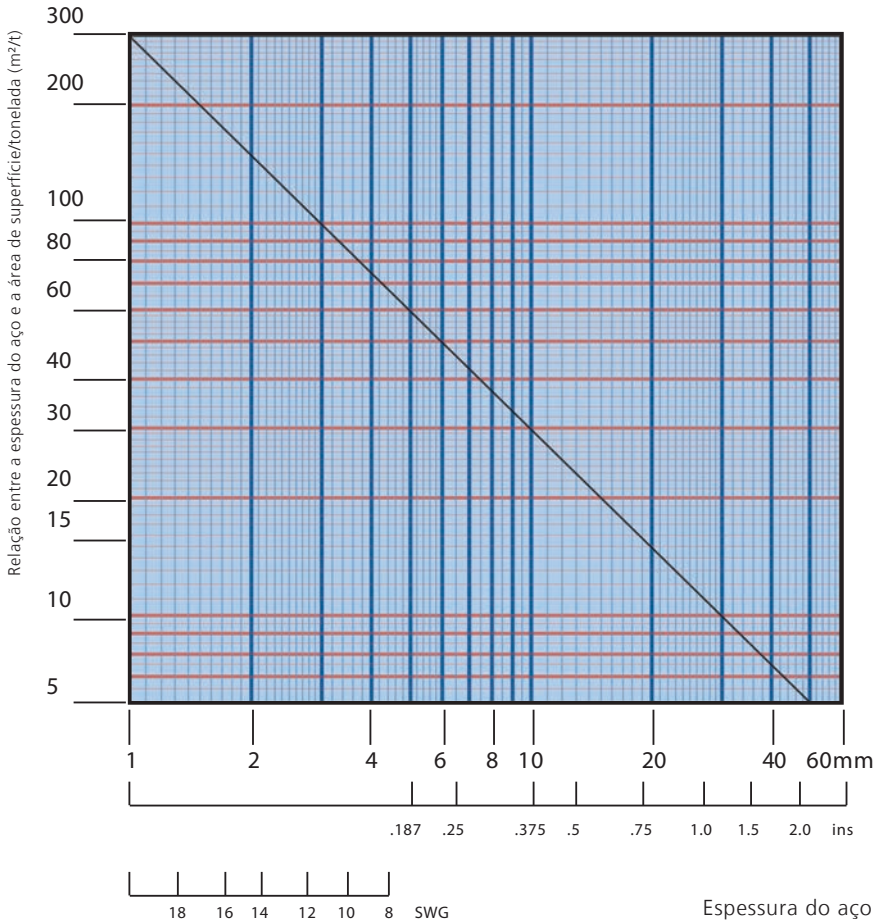


Fig. 21: Relação entre a espessura do aço e a área superficial/tonelada

REVESTIMENTOS MAIS ESPESSOS

Revestimentos mais espessos do que aqueles definidos na ABNT NBR 6323 podem oferecer proteção adicional para uso em ambientes especialmente agressivos. No entanto, é importante enfatizar que, para a maioria das aplicações, os revestimentos mais espessos são raramente necessários.

Os meios para conseguir revestimentos mais espessos estão descritos no capítulo 2.

O jateamento abrasivo antes da galvanização normalmente é o método mais adequado. Uma exigência para uma espessura de revestimento nominal de 714 g/m² (100µm) foi especificada com sucesso para a secção de aço de 6mm de espessura. Para projetos de aço estrutural, é aconselhável verificar se revestimentos mais espessos podem ser obtidos através de uma espessura de secção maior e sem jateamento abrasivo.

Obter revestimentos mais espessos através da especificação de um aço reativo normalmente só é adequado a aplicações específicas.

A especificação de revestimentos mais espessos deve ser feita somente após consulta com o galvanizador, em relação à viabilidade e ao meio através do qual ela será obtida.

FIXADORES

As especificações para os fixadores precisam deixar claro "que o revestimento do fixador deve estar de acordo com a ABNT NBR 6323". Simplesmente especificar 'galvanizado' pode resultar em interpretação equivocada e aplicação de zinco através de outros métodos como, por exemplo, eletrolítico, que resultam em menores camadas depositadas e consequentemente em uma menor vida útil.

PRAZOS

Desde que a notificação seja feita em tempo hábil, a maioria das peças pode ser galvanizada e devolvida ao fabricante em uma semana. Um tempo de execução típico, dependendo do tamanho do pedido, é de três dias. O estoque de porcas e parafusos é extenso atualmente, mas é aconselhável que os pedidos para fixadores galvanizados sejam feitos com antecedência.

APARÊNCIA

A galvanização é utilizada principalmente para proteger a estrutura de aço contra a corrosão. Aparências aceitáveis de acordo com a ABNT NBR 6323 são discutidas no capítulo 8.

Nos casos em que a aparência e a suavidade são especialmente importantes, o galvanizador deve ser consultado no estágio inicial.

REVESTIMENTO DUPLEX

A utilização de revestimentos em pó ou tinta sobre um revestimento galvanizado pode ocorrer por razões estéticas ou para maior proteção. Mais informações são fornecidas no capítulo 7.

PROJETOS DE PEÇAS PARA GALVANIZAÇÃO

A consulta entre galvanizador, fabricantes e projetistas deve ser feita no início do projeto e é muito importante para obter melhores resultados no revestimento. As características do projeto, que auxiliam no acesso e na drenagem de zinco fundido, melhoram a qualidade e a aparência do revestimento.

Escada em aço galvanizado

ENCHIMENTO, VENTILAÇÃO E DRENAGEM

Um bom projeto exige:
- Meios de acesso e drenagem do zinco fundido;
- Meios de escape para gases de compartimentos internos (ventilação).

É importante lembrar que a estrutura de aço é imersa e retirada do banho de zinco fundido a cerca de 450ºC. Assim, qualquer característica que auxilie no acesso e na drenagem do zinco fundido aperfeiçoará a qualidade do revestimento e reduzirá custos. Com certas fabricações, os orifícios presentes para outros fins podem atender a essas exigências de ventilação e drenagem; em outros casos, pode ser necessário fazer orifícios extras para esse fim. Para uma proteção completa, o zinco fundido deve poder fluir com liberdade para todas as superfícies de uma estrutura. A galvanização das superfícies internas de estruturas com seções vazadas ou com compartimentos internos elimina qualquer perigo de corrosão oculta durante o serviço.

PRINCÍPIOS GERAIS

1. Orifícios para ventilação e drenagem devem ter o maior tamanho possível. Os diâmetros mínimos dos orifícios são fornecidos na Fig. 22.

2. Orifícios para ventilação e drenagem devem estar em posições diagonalmente opostas em um ponto superior e inferior na fabricação, pois ela será suspensa para galvanização. Seções vazadas muito longas podem exigir mais orifícios de ventilação para auxiliar na drenagem e na produção de uma superfície de acabamento melhor.

3. Com seções vazadas seladas nas extremidades, os orifícios devem também estar em posições diagonalmente opostas, o mais próximo possível das extremidades. Em alguns casos, pode ser mais econômico fazer cortes na forma de V ou U nas extremidades ou esmerilhar as extremidades de seções vazadas retangulares – esses procedimentos oferecem entradas ideais para ventilação e drenagem.

4. Onde os orifícios estão localizados em placas de extremidade ou peças de cobertura, eles devem estar em posições diagonalmente opostas, fora do centro e o mais próximo possível da parede à qual a placa de extremidade está ligada.

5. Reforçadores, defletores, diafragmas, cantoneiras, etc., internos e externos, devem ter as extremidades aparadas para auxiliar no fluxo do zinco fundido.

Tamanho da seção vazada (mm)	Diâmetro mínimo do orifício (mm)
< 25	10
≤ 25 - 50	12
> 50 - 100	16
> 100 - 150	20
> 150	Consultar o galvanizador

Fig. 22: Tamanhos adequados a orifícios de ventilação em estruturas tubulares

Para uma seção maior (ex. > 3m), pode ser necessário fazer orifícios de ventilação adicionais e maiores, para ajudar a alcançar o melhor acabamento de superfície possível. Deve-se consultar o galvanizador. Orifícios que foram feitos para ventilação podem ser cobertos, principalmente por razões estéticas, pois o recobrimento estará exercendo proteção em ambas as superfícies (interna e externa).

Parada de ônibus galvanizada e pintada

METAL BASE E COMBINAÇÕES

O aço carbono, alguns aços de baixa liga e ferro fundido podem ser galvanizados.

Uma estrutura ou peça que contém uma variedade de materiais com condições de superfície diferentes deve ser evitada, pois poderá afetar a uniformidade e a aparência do revestimento. Onde forem utilizados materiais diferentes, o jateamento abrasivo de toda a estrutura ou peça poderá minimizar quaisquer problemas que possam surgir em virtude de diferentes efeitos de pré-tratamento. De preferência, na fabricação deve-se utilizar um mesmo tipo de aço.

TAMANHO E FORMATO

Atualmente, o tamanho e a capacidade das plantas de galvanização aumentaram significativamente. Deve-se consultar o Grupo de Galvanização do ICZ para a indicação dos tamanhos de cubas disponíveis. Quando o comprimento ou a profundidade do item exceder o tamanho da cuba, técnicas especiais podem ser empregadas para facilitar a imersão e nesse caso deve-se consultar o galvanizador.

FIXADORES

Para acomodar a espessura do zinco ao galvanizar componentes rosqueados, as roscas devem ser sob medida.

SUPERFÍCIES SOBREPOSTAS

Superfícies sobrepostas devem ser evitadas ao máximo. É importante ter cuidado para não especificar artigos selados para galvanização. Se as sobreposições forem completamente seladas através da soldagem, há o risco de explosão durante a imersão, em virtude de maior pressão do ar comprimido. Se as sobreposições não forem completamente seladas, existe o perigo de o fluido de limpeza entrar na cavidade, deixando o local úmido e provocando manchas.

Cada secção selada de uma fabricação deve ser ventilada, por razões de segurança e para permitir o acesso e a drenagem do zinco fundido. Orifícios diagonalmente opostos precisam estar o mais próximo possível da extremidade selada.

Superfícies de sobreposição ou contato são potencialmente perigosas, pois as soluções de pré-tratamento presas entre as superfícies são convertidas em vapor superaquecido na cuba de galvanização e podem resultar em explosão.

Se as superfícies de contato não puderem ser evitadas, assim como esses canais, então as bordas das áreas de contato devem ser soldadas de forma contínua. Um orifício deve ser feito em ambos os membros para cada 100cm² de sobreposição, o diâmetro mínimo do orifício deve ser de 10mm ou a espessura da secção, o que for maior, a fim de eliminar o perigo de uma explosão na cuba de galvanização.

Se isso não for possível, então a soldagem deve ser intermitente: em serviço pode haver vazamento de soluções de pré-tratamento presas entre as placas, causando uma mancha marrom, o que não será prejudicial para a proteção em virtude do revestimento. Normalmente, não é necessário tomar nenhuma providência, se a área fechada tiver menos de 100cm² (ex. 10cm x 10cm).

Quando o projeto não puder evitar grandes áreas de superfícies sobrepostas (ex. borda com borda e placa sobre a borda), deve-se obter orientação de especialista com o galvanizador ou o Grupo de Galvanização do ICZ.

PEÇAS MÓVEIS

Deve-se permitir um espaço adequado em superfícies de contato, como dobradiças, se for necessário que elas se movimentem com liberdade após a galvanização. Recomenda-se que peças móveis ou basculantes sejam desmontadas antes do tratamento.

DISTORÇÃO (empenamento)

As estruturas ou peças de aço podem sofrer distorção durante o processo de galvanização. Isso normalmente ocorre em virtude do alívio de tensão acumulada, quando elas são expostas à temperatura de galvanização. O acúmulo de tensão pode ser inerente ao aço, mas também introduzido na soldagem, forjamento a frio e perfurações.

A tensão residual pode ser minimizada na etapa de projeto e em outros estágios, como por exemplo:

1. Procedimentos de controle de soldagem durante a usinagem.

2. Organização simétrica da linha de soldagem. O tamanho da linha de soldagem deve ser mantido em um mínimo.

3. Evitar grandes mudanças na seção transversal estrutural, o que poderia aumentar a distorção e o acúmulo de tensão gerado no banho de galvanização.

Onde houver uma tendência inerente à distorção, por exemplo, nas fabricações com formas assimétricas, o efeito pode ser minimizado ou possivelmente eliminado através da restrição da estrutura ou peça a um tamanho e projeto que possa ser rapidamente imerso em uma única vez. O galvanizador deve ser consultado em um estágio inicial se esse for caso a ser considerado. O tamanho e a posição dos furos de preenchimento ou drenagem em tubos usinados podem ter um grande efeito sobre a distorção, assim como o tamanho e a disposição de furos para içamento ou alças, principalmente em fabricações vazadas.

RIGIDEZ

As propriedades de tensão dos aços estruturais não são afetadas pela galvanização, conforme demonstrado na Fig. 23

				aço laminado a frio 10%		aço laminado a frio 40%		aço soldado	
		conforme recebido	galvanizado	não galvanizado	galvanizado	não galvanizado	galvanizado	não galvanizado	não galvanizado
EN 10025-2 S275	Resistência à tração (Pa)	453	461	563	560	741	706		
	0.5% Limite de proporcionalidade (Pa)	294	281	550	502	732	659		
	Alongamento (%)	45	46	18	22	8	15	28	38
EN 10025-2 S355	Resistência à tração (Pa)	531	522	644	635	811	784		
	0.5% Limite de proporcionalidade (Pa)	367	362	634	587	807	746		
	Alongamento (%)	41	43	16	20	8	15	25	33
EN 10028-3 P450	Resistência à tração (Pa)	585	597	714	734	905	860		
	0.5% Limite de proporcionalidade (Pa)	451	446	692	683	896	842		
	Alongamento (%)	36	34	21	21	10	13	29	30

Fig. 23: Propriedades de tensão do aço estrutural, testes em placas de 12,7mm de espessura Fonte: ILZRO, 2006

Ponte com estrutura em aço galvanizado

SOLDAGEM

Cascas ou escórias de solda não são removidas nos banhos de decapagem e podem resultar em áreas com falhas de zinco. Para evitar esse problema, deve-se usar uma solda que não produza escórias ou carepas (tipo MIG, TIG). Caso ocorram, é possível removê-las mecanicamente.

Para bom acabamento, recomenda-se que os cordões de solda sejam executados de maneira contínua e sem porosidade.

Se a união de peças foi feita com solda, é aconselhável seguir algumas recomendações: os cordões de solda têm de ser contínuos, para evitar a retenção de produtos de pré-tratamento. Se houver necessidade de a solda ser descontínua, deve-se observar um espaçamento de no mínimo 1mm, para promover o perfeito escoamento do zinco.

Em geral, as superfícies sobrepostas exigem solda contínua e um orifício para aliviar a pressão e evitar riscos de explosão.

Como norma de segurança, a superfície selada com solda não deve ultrapassar 300mm² da área para cada milímetro de espessura do material-base.

ROTULAGEM E SINALIZAÇÃO

Tintas solúveis em água ou rótulos destacáveis de metal podem ser utilizados para sinais temporários de identificação das fabricações. Tintas esmalte ou marcadores com base a óleo não devem ser utilizados. Para que a identificação permanente fique legível após a galvanização, são necessários sinais feitos através de perfuração ou gravação.

COBERTURA

Se certas áreas da estrutura de aço precisam permanecer sem o revestimento, isso pode ser feito através de uma cobertura, utilizando-se fita de alta temperatura ou tinta. Mais uma vez, o galvanizador deve ser consultado sobre as áreas que precisam ser cobertas.

CONEXÕES

Artigos galvanizados podem ser unidos através de fixação com parafusos (incluindo a aderência por conexões de fricção), soldagem, rebitagem e junção adesiva. Para peças parafusadas, o ideal é que elas sejam montadas após a galvanização.

MANUSEIO DE PEÇAS

Dependendo do tamanho e do formato, as peças para galvanização podem exigir a colocação de orifícios de suspensão ou alças de içamento. Alternativamente, elas podem ser manuseadas através de correntes, para peças menores, em racks ou cestas. No caso de tanques (em especial, tanques abertos), apoios transversais podem ser necessários para garantir que o formato do tanque seja mantido durante o manuseio.

CONTAMINAÇÃO DE SUPERFÍCIE

Superfícies de aço limpas são uma exigência essencial para a boa galvanização por imersão a quente.

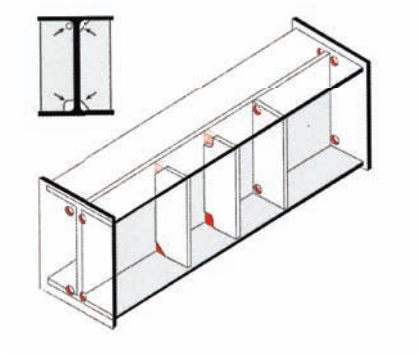
A contaminação com graxa, piche ou resíduo de soldagem não pode ser removida através de limpeza química e pode resultar em manchas pretas após a galvanização por imersão a quente. Especificadores devem garantir que o fabricante se responsabilize pela entrega de peças livres de contaminação.

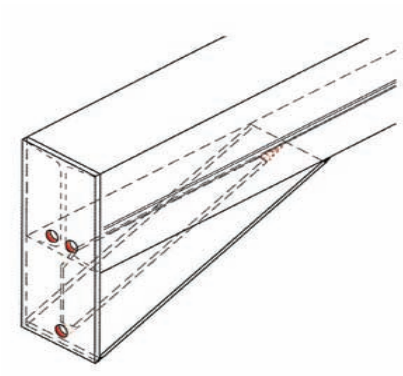
Secções de aço que foram cortadas ou perfuradas utilizando-se óleos de espuma podem causar problemas similares a sprays antiqueimaduras ou antirrespingos. O fluido de corte, que foi queimado ou aquecido no aço, deve ser removido antes que a estrutura de aço seja enviada para galvanização. O processo mais adequado de limpeza, para esse caso, é o jateamento.

A contaminação às vezes é difícil de ser detectada na superfície do aço e só aparecerá após o tratamento de galvanização. A peça poderá então ser regalvanizada, a um custo adicional

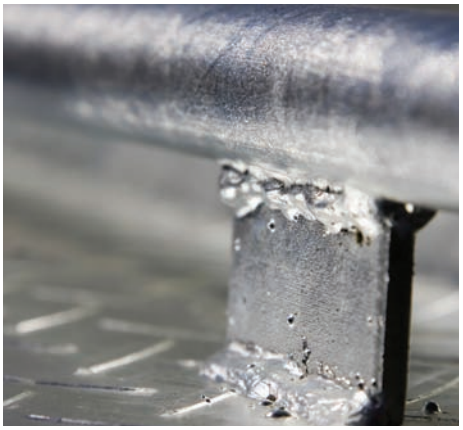
PONTOS A SEREM CONSIDERADOS AO PROJETAR FABRICAÇÕES PARA GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE:

Para maior orientação sobre o design para a galvanização por imersão a quente, entre em contato com o Grupo de Galvanizadores.

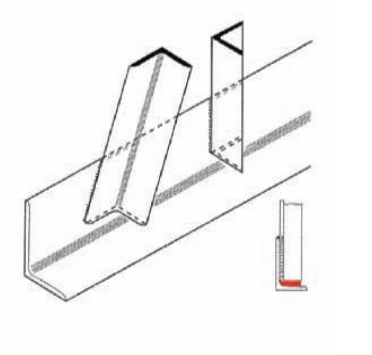




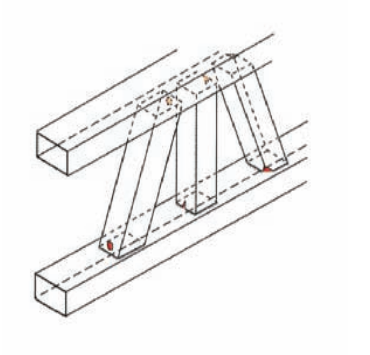
Reforçadores externos, cantoneiras soldadas, elementos de ligação entre colunas e vigas e cantoneiras em secções de canal devem ter suas extremidades vazadas.



As extremidades vazadas desses suportes ajudarão no acesso e na drenagem do zinco fundido e o revestimento obtido será mais limpo.

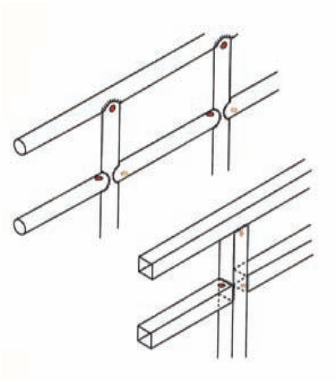


Se possível, os suportes angulares não devem tocar a borda da barra principal. Isso permitirá o fluxo livre do zinco fundido por toda a superfície da barra, melhorando a drenagem da estrutura, e ajudará na obtenção de um revestimento galvanizado mais uniforme, reduzindo o potencial de retenção de cinzas na superfície da barra e evitando a formação de bolhas de ar, o que poderia resultar em áreas não revestidas.

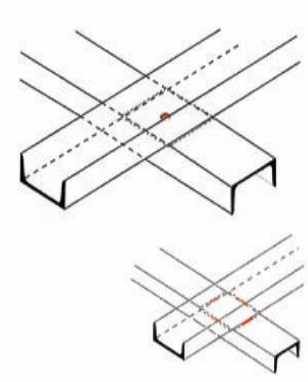


Em secções estruturais vazadas, deve-se fazer uma previsão para ventilação e drenagem. Com partes verticais, orifícios perfurados ou cortes em V, os suportes devem ser fornecidos em posições diagonalmente opostas na parte inferior e superior.

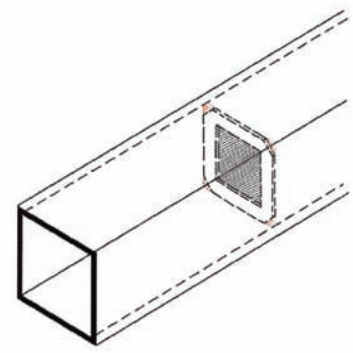
A boa ventilação dessas secções auxiliará no acesso e na drenagem de zinco fundido e na obtenção de um revestimento mais uniforme.



Diafragmas internos em grandes secções de caixas devem ter as extremidades cortadas e um 'orifício de inspeção'. Os diafragmas internos nas secções de caixas pequenas devem ter extremidades vazadas. Quando uma secção vazada for ventilada internamente, por razões de segurança, é essencial que o galvanizador possa visualizar essa ventilação.



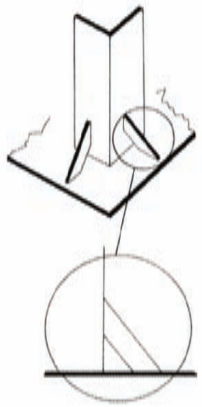
Superfícies sobrepostas são potencialmente perigosas, pois as soluções de pré-tratamento presas entre as superfícies são convertidas em vapor superaquecido na cuba de galvanização e podem resultar em explosão.
Se as superfícies de contato não puderem ser evitadas, assim como esses canais, então as bordas das áreas de contato devem ser soldadas de forma contínua. Um orifício deve ser feito em ambos os membros para cada 100cm² de sobreposição, o diâmetro mínimo do orifício deve ser de 10mm, ou a espessura da secção, o que for maior, a fim de eliminar o perigo de uma explosão na cuba de galvanização.



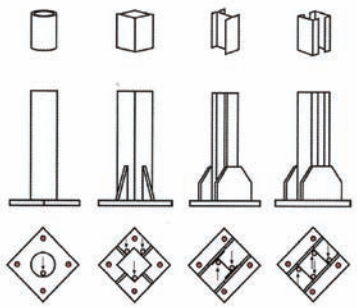
Se isso não for possível, então a soldagem deve ser intermitente: em serviço pode haver vazamento de soluções de pré-tratamento presas entre as placas, causando uma mancha marrom. Mas isso não será prejudicial para a proteção em virtude do revestimento. Normalmente não é necessário fazer nenhuma provisão, se a área fechada tiver menos de 100cm² (ex.10cm x 10cm).

Quando o design não puder evitar grandes áreas de superfícies sobrepostas (ex. borda com borda e placa sobre a borda), deve-se obter orientação de especialista com o galvanizador ou a Associação de Galvanizadores.

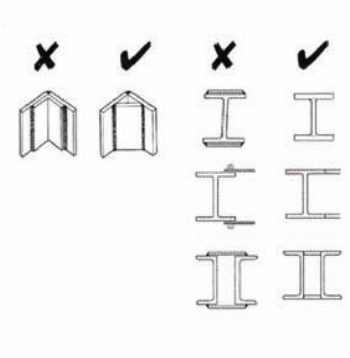
Diafragmas internos em grandes secções de caixas devem ter as extremidades cortadas e um 'orifício de inspeção'. Os diafragmas internos nas secções de caixas pequenas devem ter extremidades aparadas. Quando uma seção vazada for ventilada internamente, por razões de segurança, é essencial que o galvanizador possa visualizar essa ventilação.



Reforçadores externos para vigas ou sapatas devem ter as extremidades vazadas.

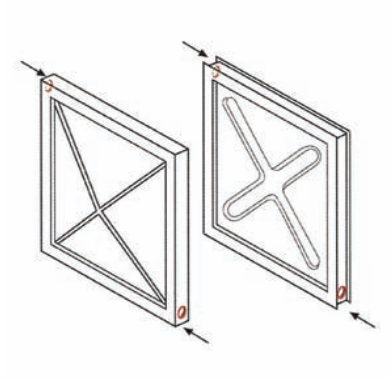


Designs alternativos para secções de ventilação fixas nas placas de base.

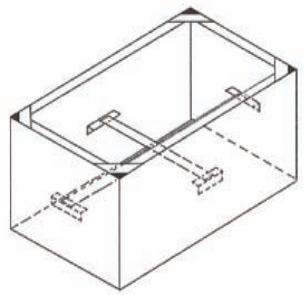


Exemplos de como encaixes soldados devem ser projetados para evitar que ácidos fiquem presos (fendas estreitas).

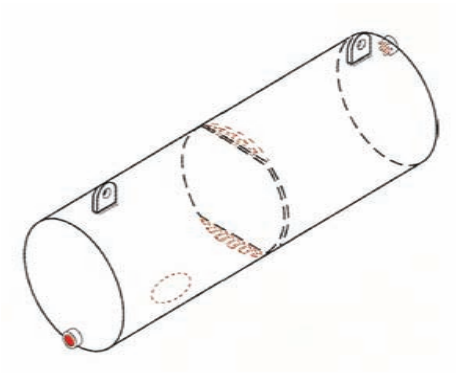
Juntas soldadas devem ser contínuas, se elas não fecharem uma superfície não ventilada. Obtém-se melhor resultado em juntas parafusadas após a galvanização.



Para minimizar o risco de distorção, painéis planos devem ser presos, por exemplo, em curvatura ou com nervuras. As aberturas devem ser feitas nas extremidades.



Tanques com volumes grandes devem ser reforçados para minimizar a distorção. Os reforços devem ter a mesma espessura da estrutura principal.



As saídas devem ser diametralmente opostas e ter pelo menos 50mm de diâmetro. Defletores internos devem ser vazados na parte superior e inferior. Alças de içamento são necessárias, conforme indicação. Deve ser possível visualizar os defletores através dos orifícios de ventilação ou de um orifício de inspeção – a posição do orifício de inspeção deve ser analisada com o galvanizador.

Passarela em aço galvanizado e pintado

UNINDO AÇO GALVANIZADO

Estruturas não devem ter sua expectativa de vida reduzida pela vida útil de fixadores rosqueados utilizados na montagem, pois eles também podem ser galvanizados por imersão a quente.

FIXADORES ROSQUEADOS GALVANIZADOS POR IMERSÃO A QUENTE

TAMANHOS

Normalmente, a rosca fêmea é usinada com uma medida maior do que os padrões usuais e essa rosca é repassada após a galvanização, a fim de evitar excessos de material. A rosca macho é usinada nos padrões normais e após a galvanização passa a ter uma sobremedida devido à camada de zinco, a qual é absorvida na usinagem de repasse da rosca fêmea. Pode ocorrer no repasse do filete da rosca fêmea que esta fique total ou parcialmente sem a camada de zinco. Esse fato em nada prejudica a proteção, pois após o rosqueamento o filete não protegido da fêmea fica protegido pelo zinco em contato direto com o filete do macho.

Na prática, isso é observado em parafusos e porcas galvanizadas que permanecem roscados por longo período sem demonstrar nenhum sinal de corrosão nessas regiões.

As indicações de passos mínimos recomendados conforme ABNT NBR 14267 para usinagem de roscas fêmeas são descritas na Fig. 24.

UNIFORMIDADE DO REVESTIMENTO

Apesar de existir certa tendência de a galvanização por imersão a quente ser mais espessa nos filetes das roscas, um revestimento quase uniforme pode ser obtido com equipamentos modernos no processo de centrífuga.

Rosca normal	Passo da rosca P mm	Afastamento de referência para a classe de tolerância[1] es_{az} µm	Espessura mínima do ponto de medição µm
M10	1,5	330	40
M12	1,75	335	
M14; M16	2	340	
M18; M20; M22	2,5	350	
M24; M27	3	360	
M30; M33	3,5	370	
M36	4	380	

[1] Definida pela equação $es_{az} = 300 + 20\ P$

Fig. 24: Afastamento de referência para rosca externa e espessura de camada

ACABAMENTO E APARÊNCIA DA SUPERFÍCIE

Os fixadores galvanizados normalmente têm uma cor cinza-claro brilhante, mas, em certas classes de parafusos de alta resistência, o revestimento pode ser cinza-fosco por causa do maior conteúdo de silício do aço, o que faz com que eles sejam mais reagentes ao zinco fundido.
Fixadores galvanizados por imersão a quente à alta temperatura (cerca de 550ºC) tendem a ter cor cinza-fosco, em virtude da estrutura do revestimento formada quando o componente é resfriado.

ARMAZENAMENTO

Fixadores galvanizados devem ser armazenados sob condições bem ventiladas e secas, para minimizar a ocorrência de manchas pelo armazenamento úmido (ver capítulo 8).

Fig. 25: Massa de zinco por unidade de área de materiais galvanizados roscados

Material	Massa mínima por unidade de área (g/m²)		Espessura mínima equivalente do revestimento (µm)	
	Amostra individual	Média das amostras	Amostra individual	Média das amostras
Roscados:				
9,5mm	305	380	43	53
< 9,5mm	260	305	37	42

NOTA 1 - A espessura do revestimento de zinco é determinada através da equação e = mA / 7,14
onde e é a espessura do revestimento de zinco, expressa em micrômetros (µm);
mA é a massa do revestimento de zinco por unidade de área, expressa em gramas por metro quadrado (g/m²);
7,14 é a massa específica do zinco expressa em gramas por centímetro cúbico (g/cm³).
NOTA 2 - Quando houver espessuras e tipos de aço diferentes em uma única peça, devem-se considerar os pontos de maior espessura de camada de zinco para a determinação da massa mínima por unidade de área.

ESPECIFICAÇÃO PARA FIXADORES GALVANIZADOS POR IMERSÃO A QUENTE

Se a exigência for de uma vida útil longa, é importante especificar galvanização por imersão a quente. Especificar simplesmente galvanização pode causar confusão com outros processos de deposição de zinco que não conferem com a mesma especificação.

PARAFUSOS DE ALTA RESISTÊNCIA

Parafusos de alta resistência de classe geral (até classe 8.8) para ABNT NBR 8855 podem ser galvanizados sem dificuldades. Parafusos classe 10.9 são galvanizados, mas podem exigir limpeza por jateamento como um tratamento alternativo, antes da galvanização por imersão a quente. Para parafusos de grade 12.9 e fixadores com maior resistência, deve ser evitada a galvanização devido ao risco de fragilização por hidrogênio.

SOLDAGEM DE AÇO GALVANIZADO

Testes no Instituto de Soldagem, patrocinados pela Organização Internacional de Pesquisa do Zinco (International Lead Zinc Research Organization - ILZRO) estabeleceram que soldagens de alta qualidade satisfatória podem ser feitas em aço galvanizado por imersão a quente e que as propriedades de tensão, curvatura e fadiga dessas soldagens podem ser praticamente idênticas àquelas de soldagens similares feitas no aço não revestido. A velocidade da soldagem é reduzida e existem mais respingos, principalmente na soldagem com CO_2.

Todos os processos de soldagem de fusão podem ser prontamente utilizados no aço galvanizado, mas pequenas variações podem ser necessárias, dependendo dos processos de soldagem utilizados, do tipo de junta e da posição da soldagem. Por exemplo, com soldagem manual a arco de metal:

- Uma leve ação de 'chicote' para movimentar o eletrodo para a frente e para trás, na linha da junta, estimula a volatilização do zinco diante da piscina de solda;

- Intervalos um pouco maiores são recomendados em junções de topos para que exista penetração completa;

- Uma largura de arco menor oferece melhor controle da piscina de solda e ajuda a evitar penetração em excesso intermitente ou reduzida;

- Eletrodos revestidos básicos ou rutílicos podem ser utilizados, mas testes simples de procedimento devem ser feitos antes da realização da soldagem da produção.

Cuidados especiais de segurança devem ser observados na soldagem de materiais galvanizados.

PREVENÇÃO DE FERRUGEM EM SOLDAGENS

Todas as soldagens feitas em peças galvanizadas devem ser protegidas contra a corrosão, assim que a soldagem for finalizada, pois a superfície superior está sem proteção e é fácil de ser tratada.

Pivô de irrigação em aço galvanizado

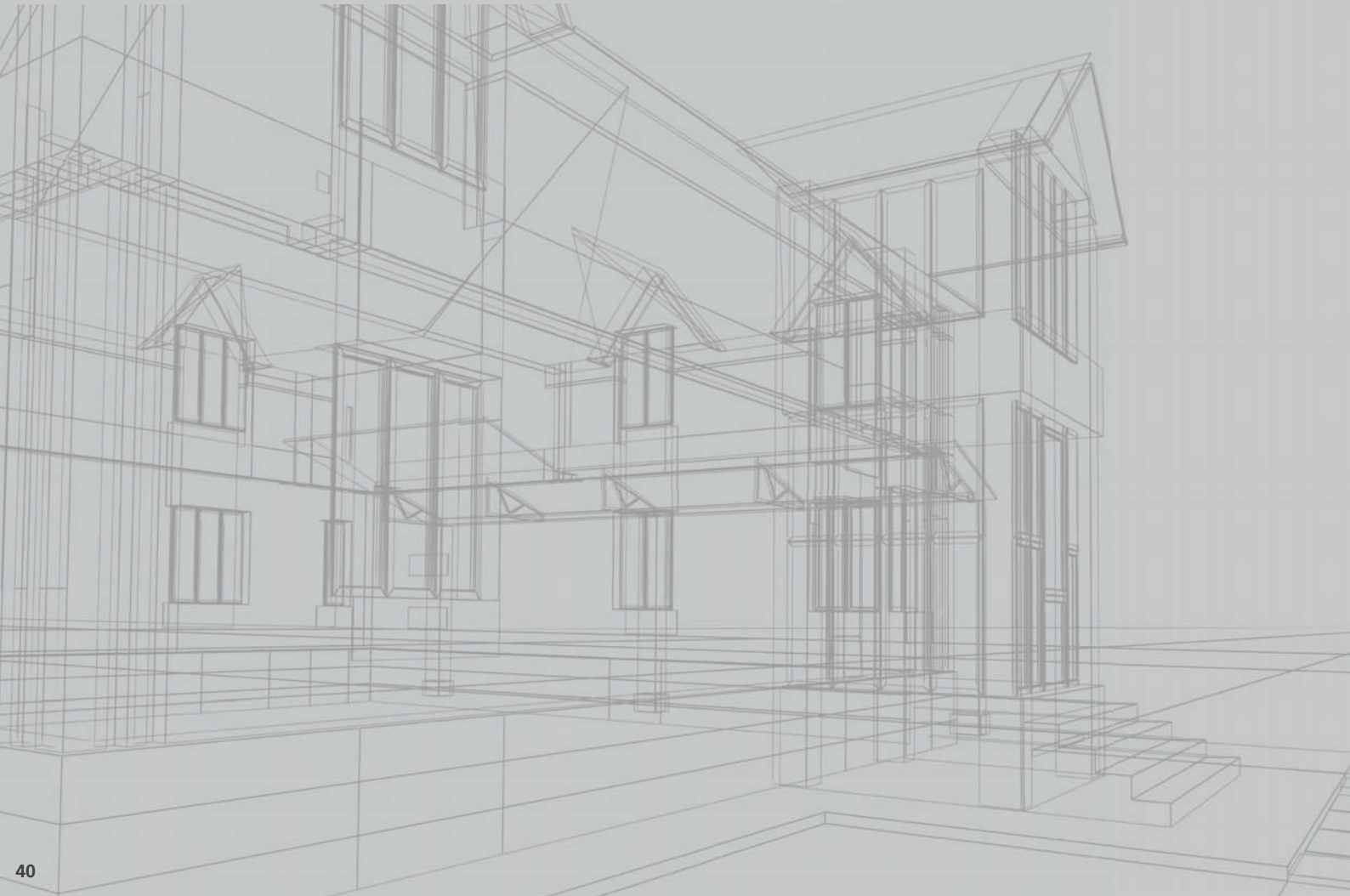
CAPÍTULO 7

REVESTIMENTO DO AÇO GALVANIZADO, PINTURA OU REVESTIMENTO EM PÓ

A GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE POR SI SÓ É UM MEIO DURADOURO E COM EXCELENTE CUSTO-BENEFÍCIO DE PROTEÇÃO DO AÇO CONTRA A CORROSÃO. QUANDO REVESTIMENTOS ORGÂNICOS COMO A PINTURA OU REVESTIMENTOS EM PÓ SÃO APLICADOS SOBRE O AÇO GALVANIZADO POR IMERSÃO A QUENTE, A COMBINAÇÃO RESULTANTE É CONHECIDA COMO SISTEMA DE REVESTIMENTO DUPLEX. ESSES REVESTIMENTOS SÃO UTILIZADOS PARA:

- APLICAR COR AO MATERIAL POR ESTÉTICA, SINALIZAÇÃO OU SEGURANÇA;
- AUMENTAR A VIDA ÚTIL DE UMA ESTRUTURA;
- OFERECER PROTEÇÃO EXTRA EM AMBIENTES AGRESSIVOS.

A PINTURA PODE SER APLICADA LOGO APÓS A GALVANIZAÇÃO OU AO LONGO DA VIDA DA ESTRUTURA, QUANDO A GALVANIZAÇÃO JÁ SOFREU AÇÃO DO TEMPO, OU AINDA QUANDO UMA MAIOR PROTEÇÃO FOR NECESSÁRIA PARA A MANUTENÇÃO DOS MATERIAIS.



Alambrado com tubos e arames galvanizados e pintados (sistema duplex)

PREPARAÇÃO DO AÇO GALVANIZADO

Como em todos os tratamentos de proteção de estruturas em aço, é extremamente importante que a preparação da superfície do material seja realizada corretamente. Particularmente, não desengraxar a superfície do aço apropriadamente é a causa mais comum de falhas nos revestimentos duplex.

Como muitos outros substratos, os revestimentos orgânicos normalmente não podem ser diretamente aplicados no aço galvanizado.

No entanto, um sistema simples e direto de aplicação de tinta, criado especialmente para aderir a metais não ferrosos como o zinco, torna-se cada vez mais popular e disponível em uma linha completa de cores.

As razões para a necessidade de uma preparação efetiva da superfície do aço, em muitos casos, são bem simples. Quando o aço é retirado da cuba de galvanização, ele possui uma superfície limpa, brilhante e reluzente. Com o tempo, ela passa a ficar cinza-fosco, quando o zinco reage com o oxigênio, a água e o dióxido de carbono contidos na atmosfera, para formar uma camada complexa, porém estável, rígida e protetora, que permanece totalmente aderida ao zinco.

A oxidação demora a desenvolver-se e o tempo exato depende do clima a que esse material está exposto. Normalmente, o tempo pode variar entre seis meses e dois anos ou mais. Durante a transição da camada externa do zinco até seu aspecto final, formam-se óxidos e carbonatos que não aderem bem à superfície. Como a maioria dos revestimentos duplex é aplicada enquanto a galvanização está nessa fase, a camada da superfície deve ser modificada através de meios químicos ou mecânicos, para receber a tinta.

Os revestimentos podem ser aplicados diretamente na superfície recém-galvanizada ou na superfície já galvanizada há algum tempo, mas nesse caso os resultados nem sempre são consistentes e não se recomenda o risco.

Onde as exigências estéticas para um sistema duplex forem especialmente altas, um acabamento da superfície do aço galvanizado pode ser necessário, pois irregularidades pequenas nas superfícies podem ficar mais visíveis após a aplicação de um revestimento orgânico. Isso se dá especialmente nos sistemas de revestimento em pó. Deve-se tomar cuidado no acabamento de um revestimento galvanizado, pois o revestimento de zinco pode ser danificado por polimento pesado ou excessivo.

ORIENTAÇÕES: PRÉ-TRATAMENTO PARA PINTURA

As orientações para o pré-tratamento de superfícies foram preparadas como resultado de um estudo realizado por um centro independente de pesquisa e um importante fabricante de tintas sobre a performance de sistemas de pré-tratamento e pintura comercialmente disponíveis. Foram determinados os parâmetros que afetam sua performance no aço galvanizado por imersão a quente após muitos anos de experiência com revestimentos duplex.

Embora o pré-tratamento em materiais galvanizados seja melhor se realizado imediatamente após a galvanização, antes de a superfície ser contaminada de alguma forma, isso nem sempre acontece na prática. O pré-tratamento pode ser realizado mais tarde, mas é vital que a superfície seja adequadamente limpa, removendo toda a possível contaminação, como óleo, graxa e sujeira. A operação de limpeza não deve deixar resíduos sobre a superfície limpa e qualquer mancha pelo armazenamento com umidade deve ser removida, usando-se uma escova. A lavagem com água ajudará a remover sais solúveis.
Existem quatro métodos reconhecidos de pré-tratamento de superfície que produzem um substrato confiável para o revestimento de pintura.

FOSFATIZAÇÃO

A fosfatização ainda é considerada o melhor método de pré-tratamento para pintura do aço galvanizado. Utiliza-se uma solução de fosfato de zinco contendo uma pequena quantidade de sais de cobre. Quando aplicada, o resultado é uma coloração preta ou cinza-escura da superfície de zinco. Essa solução não deve se acumular em superfícies horizontais, pois isso pode evitar a máxima aderência da tinta. Qualquer excesso deve ser retirado com água. A fosfatização é mais adequada para aplicação à galvanização nova e não deve ser utilizada na galvanização que já sofreu ação do tempo.

A solução deve reagir durante tempo suficiente para que seque completamente, antes de a primeira demão de tinta ser aplicada. Enquanto pesquisas mostraram que as superfícies fosfatizadas podem ficar até 30 dias sem pintura e mesmo assim haverá boa aderência da tinta, é aconselhável minimizar o tempo entre o pré-tratamento e a aplicação da tinta. Qualquer sal branco formado pela exposição da superfície com a solução à umidade deve ser removido antes da pintura, utilizando-se uma escova. Se houver contaminação dessa superfície, ela deve ser limpa conforme as recomendações dos fabricantes.

JATEAMENTO ABRASIVO

Um método mecânico de pré-tratamento é o jateamento abrasivo utilizando-se uma fina escória de cobre ou pó de carborundum com uma pressão de no máximo 40psi (2.7 bar). Isso garantirá que somente uma quantidade mínima de óxido seja removida e que a superfície do zinco permaneça levemente áspera. Deve-se ter maior cuidado quando o jateamento for realizado em materiais com uma camada de zinco muito espessa, a fim de evitarem-se danos à galvanização. A distância entre o bico de jato e a peça a ser trabalhada e o ângulo utilizado no jateamento precisam ser identificados para cada superfície do material galvanizado, para que melhores resultados sejam alcançados. Esse método é normalmente utilizado, complementando o estágio da preparação química.

ENVELHECIMENTO

Esse processo só se torna totalmente efetivo após a exposição do material galvanizado à atmosfera por um período de no mínimo seis meses. A superfície é preparada utilizando-se esponjas abrasivas ou uma escova dura, para remover todos os materiais soltos aderentes e certificar-se de que a superfície brilhante de zinco não seja restaurada.

Isso é seguido por uma lavagem a quente com detergente e enxágue com água limpa. A superfície deve estar totalmente seca antes da aplicação da tinta. O envelhecimento não deve ser utilizado como um método de preparação da superfície em ambientes marítimos com altos níveis de cloro.

ORIENTAÇÕES: PINTURA

Todos os sistemas de pintura utilizados devem ser especificamente formulados para uso em aço galvanizado e aplicados de acordo com as recomendações do fabricante da tinta.

A escolha do sistema de pintura dependerá da aplicação e do ambiente onde ficará o material. Com a diminuição do uso de tintas látex à base de cloro e com base alquídica, produtos acrílicos com base epóxi de alta densidade ou polivinílica são cada vez mais utilizados, sendo o epóxi reforçado uma opção para ambientes mais severos. Em sistemas de múltiplos revestimentos, o uso de base de óxido de ferro micáceo (MIO) demonstrou oferecer melhor aderência.

Poliuretano bicomponente e acrílico-uretanos são comumente utilizados como revestimento de qualidade superior e oferecem boa durabilidade e manutenção da cor. As alternativas incluem epóxis acrílicos e polisiloxanos, este último oferecendo maior resistência à abrasão, além de boa retenção de cor e brilho.

Atualmente, os epóxis de alta densidade são amplamente utilizados, embora os produtos à base de água, incluindo os poliuretanos, estejam sendo especificados. Eles são menos tolerantes a pré-tratamentos ruins, mas seu uso pode aumentar, à medida que o controle à utilização de solventes se torne cada vez mais rígido.

ORIENTAÇÕES: REVESTIMENTO EM PÓ

A utilização do revestimento em pó está em rápido crescimento como método de adição de cor a superfícies metálicas. Como a galvanização, ele é realizado sob condições cuidadosamente controladas, em fábricas. Por essa razão, o tamanho máximo do material em aço a ser revestido a pó será limitado, mas esses revestimentos podem ser aplicados com sucesso em superfícies galvanizadas por imersão a quente.

As características térmicas do aço galvanizado são quase idênticas às do aço não galvanizado para fins de revestimento em pó e existem muitos exemplos disso. No entanto, o pré-tratamento da superfície galvanizada dependerá dos vários tipos de pó que podem ser utilizados, como o poliéster, epóxi ou híbrido. Isso geralmente inclui uma forma de pré-tratamento químico como cromatização ou fosfatização, tratamento térmico suave, seguido pela aplicação do pó. A aplicação bem-sucedida de um revestimento em pó a qualquer superfície metálica exige que as instruções fornecidas pelo fabricante do pó sejam respeitadas em cada detalhe. Por isso, o ideal é que o trabalho seja feito por um aplicador aprovado ou experiente. Assim como a pintura líquida, uma ampla gama de cores está disponível.

É muito importante que o galvanizador seja informado de que o material será posteriormente revestido a pó e o tratamento de pós-galvanização deve ser feito de acordo com o tipo de revestimento escolhido.

Um número limitado de produtos de aplicação direta está disponível no momento para uso no aço galvanizado. Havendo um trabalho de preparação adequado, o uso de tinta de aplicação direta não necessita de nenhum pré-tratamento químico ou mecânico. Esses produtos são conhecidos por ser utilizados em diversas aplicações.

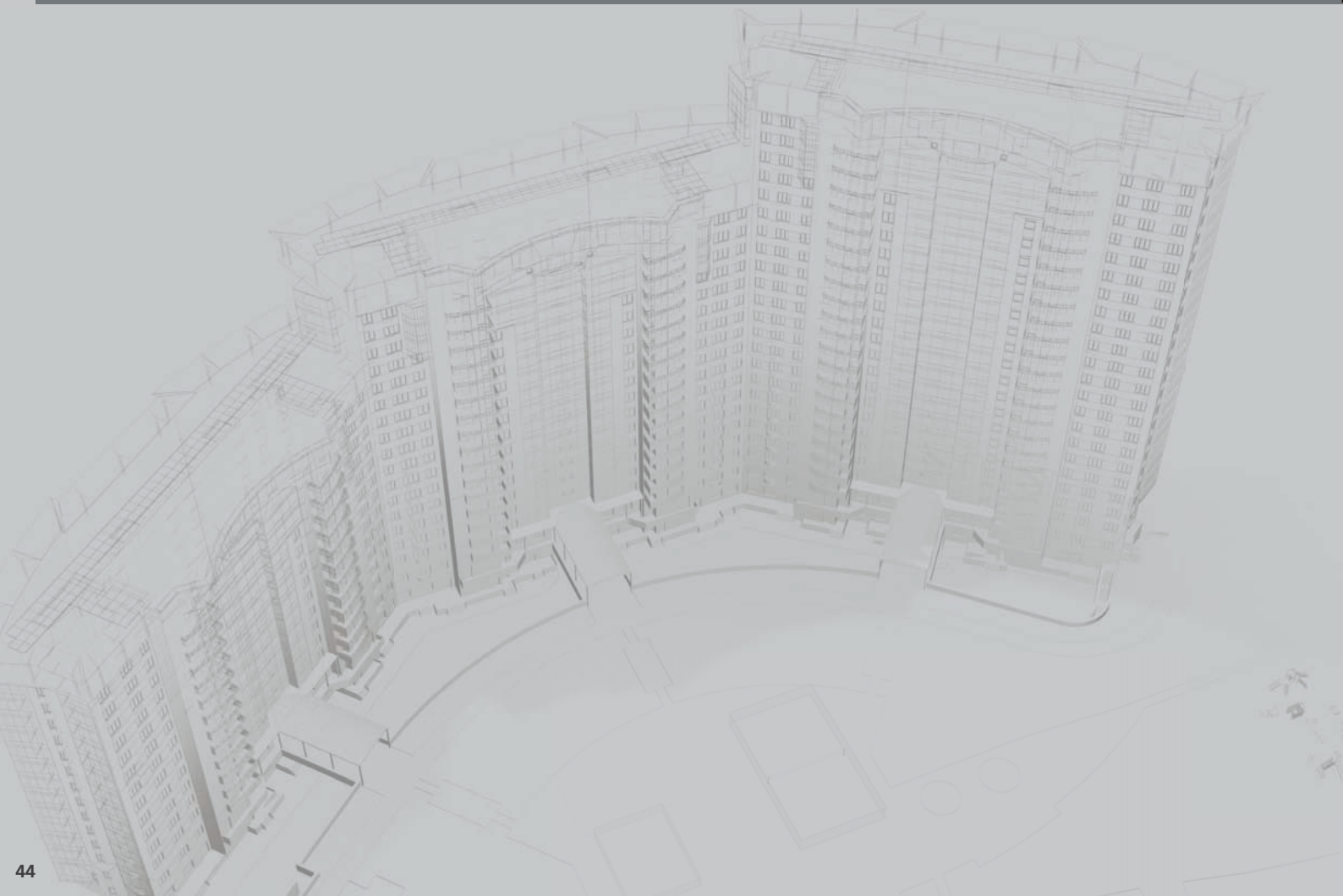
Silos em aço galvanizado

CAPÍTULO 8

QUALIDADE E INSPEÇÃO

PEQUENAS VARIAÇÕES NO ACABAMENTO DO AÇO GALVANIZADO PODEM SER OBSERVADAS SEM AFETAR AS CARACTERÍSTICAS DE PROTEÇÃO DO REVESTIMENTO.

O GRUPO DE GALVANIZADORES DO ICZ INSISTE QUE SUAS EMPRESAS MEMBROS MANTENHAM OS MAIS ALTOS PADRÕES DE QUALIDADE, ATRAVÉS DO CUMPRIMENTO DA NORMA ABNT NBR 6323. AS EXIGÊNCIAS DESSA NORMA GARANTEM QUE O REVESTIMENTO DE ZINCO SEJA CONTÍNUO NA ESPESSURA EXIGIDA.



Tubos galvanizados

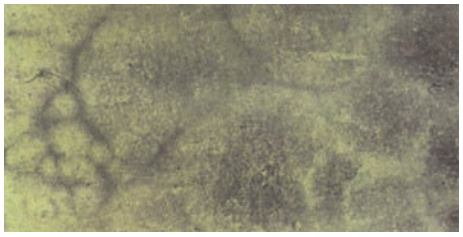
ACABAMENTO DE REVESTIMENTO

A Fig. 26 resume as condições no acabamento que podem ser observadas. As variações normalmente são causadas por características do próprio aço, e a aceitabilidade de um revestimento deve ser considerada, principalmente no seu desempenho em longo prazo e na resistência à corrosão.

Aparência	Aceitabilidade da proteção (não necessariamente da aparência)
Revestimento em cinza-fosco (não contém zinco livre, apenas liga ferro/zinco)	aceitável
Excesso de zinco acumulado	aceitável, desde que não comprometa a funcionalidade da peça
Manchas de ferrugem	aceitável (facilmente removidas com escova dura)
Aspereza geral	aceitável, desde que acordado
Desuniformidade e escorrimentos (drenagem desigual)	aceitável, desde que acordado
Grumos (areião)	aceitável, desde que a contaminação com borras não seja excessiva
Corrosão branca	aceitável, desde que não comprometa a espessura do revestimento ABNT NBR 6323
Mancha de fluxo	aceitável, desde que seja removida e o zinco permaneça intacto
Pontos nus	não aceitáveis, áreas danificadas podem ser retocadas conforme ABNT NBR 6323

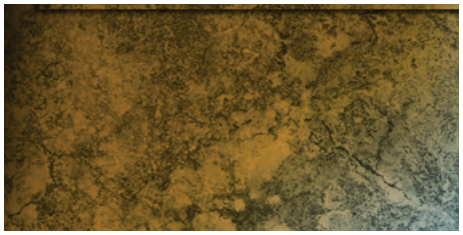
Fig. 26: Resumo das variações no acabamento de material galvanizado

REVESTIMENTO EM CINZA-FOSCO



A causa dessa aparência é a difusão do ferro para formar as fases de ligas Fe-Zn na superfície do revestimento. Desenvolve-se sobre áreas localizadas, mas pode estender-se por toda a superfície da peça. Ocorre principalmente em aços com teor relativamente alto de silício ou fósforo, substâncias mais reativas com o zinco fundido. Como esses revestimentos são, em muitos casos, mais espessos do que os normais, apresentam vida útil maior. Raramente é possível ao galvanizador minimizar esse efeito, que é resultado da composição química do aço.

MANCHAS DE FERRUGEM



Aço galvanizado às vezes apresenta manchas de ferrugem. Isso pode dar a impressão errada de que há falhas no revestimento e ocasionalmente ser visualmente inaceitável. Esse efeito pode ser resultado de um ou mais dos seguintes fatores:

- Contato direto das peças galvanizadas com aço sem proteção ou com proteção inadequada (ex.: secções de aço galvanizado presos com parafusos de aço sem proteção, laminados ou pintados);

- Depósitos de pó de ferro e aço de outras operações ou fontes sobre a superfície galvanizada;

- Drenagem de água de uma estrutura de aço sem proteção ou insuficientemente protegida (ex.: áreas danificadas sobre estruturas de aço pintadas);

- Resíduos de limpeza em soldagens ou chapas sobrepostas. Durante a limpeza, o ácido pode penetrar na área soldada, através de orifícios para pinos ou outros espaços na soldagem (choro ácido);

- Ferrugem de áreas soldadas após a galvanização e deixadas sem proteção ou com proteção inadequada;

- Água corrente de outros materiais, materiais conhecidos como cobre e certos tipos de madeira nobre (ex.: carvalho). Esse efeito pode ocorrer sempre que a água dissolver materiais de uma superfície e depositá-los no aço galvanizado.

Para evitar manchas de ferrugem, todas as peças da estrutura devem receber proteção contra a corrosão efetiva, onde for possível. Porcas e parafusos e outros fixadores também devem ser galvanizados por imersão a quente (ver capítulo 4). As soldagens devem ser contínuas, sempre que possível, para minimizar a retenção de resíduos de limpeza e também ser livres de resíduos. As estruturas devem ser projetadas para evitar o escoamento de água de outros metais sobre o aço galvanizado. Onde for necessária a soldagem após a galvanização, as áreas soldadas devem ser totalmente limpas e o revestimento de zinco restaurado.

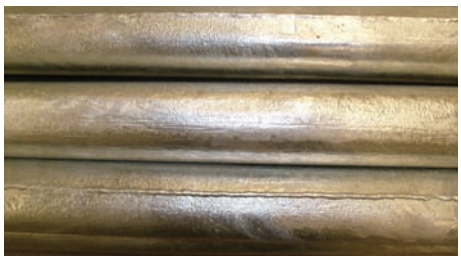
As manchas da maioria das fontes externas não têm nenhum efeito sobre a vida útil do revestimento. No entanto, as áreas afetadas podem ser limpas para melhorar a aparência da estrutura. Normalmente, uma escova dura ou o uso de pó abrasivo removerá a mancha e deixará o revestimento galvanizado intacto.

ASPEREZA GERAL

O revestimento áspero ocorre devido à formação irregular das camadas de Fe-Zn e Zn puro, em virtude da composição química do aço ou do estado superficial da peça. Esses fatores escapam ao controle do galvanizador. Por ter baixo poder de cobertura, o zinco não corrige imperfeições da superfície do material. As asperezas originadas no processo da galvanização são decorrentes de excesso de decapagem, imersão por tempo prolongado da cuba de galvanização ou temperatura demasiadamente alta do zinco fundido.

O revestimento áspero é quase sempre mais espesso do que o revestimento convencional. Nas aplicações em que o acabamento áspero é esteticamente inaceitável ou prejudica o desempenho do produto, raramente é possível para o galvanizador conseguir alguma melhoria; a composição química e a superfície do material devem ser especificadas com cuidado.

DESUNIFORMIDADE E ESCORRIMENTOS



A desuniformidade de camada pode ocorrer em função da complexidade e composição química do material que está sendo processado. Não é possível exigir o mesmo acabamento para galvanização de peças executadas por processo descontínuo e processo contínuo.

Dependendo da geometria das peças, algumas variáveis do processo devem ser levadas em consideração, como temperatura do zinco fundido, velocidade da imersão e saída da peça do banho de zinco, velocidade de resfriamento e tempo de permanência da peça no banho de zinco.

Excessos causados pelo escorrimento desigual de zinco de uma peça, quando ela é removida da cuba, podem acontecer em virtude do formato do componente e não danificam a vida do revestimento. Pontas afiadas de excesso de zinco solidificado não são aceitáveis, pois elas podem apresentar riscos durante o manuseio. Fabricações com áreas em que as pontas foram retiradas, expondo o aço, exigem conserto do revestimento conforme explicação no verso.

GRUMOS (areião)

São depósitos de diferentes tipos, formas e dimensões que fazem parte do revestimento de zinco. Os grumos se formam quando impurezas do banho de zinco (borra, óxidos, chumbo) se fixam na superfície da peça zincada no momento da sua retirada do banho. A presença de quantidade excessiva de grumos é normalmente motivo de rejeição porque eles tendem a fragilizar o revestimento.

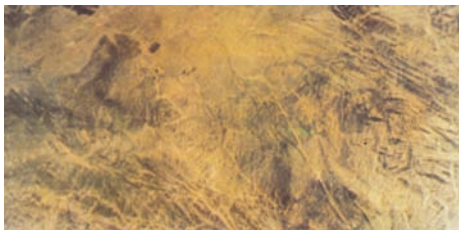
CORROSÃO BRANCA

É o nome dado aos depósitos brancos que se formam na superfície das peças zincadas, devido ao armazenamento ou transporte sob condições de má ventilação e umidade. Apesar da aparência, a corrosão branca não compromete o revestimento original do zinco. Em caso de dúvida, deve-se proceder à limpeza da região afetada e verificar a espessura da camada.
Para evitar corrosão branca no armazenamento,

peças revestidas com zinco devem ser transportadas e armazenadas em locais secos e bem ventilados. Se armazenadas em áreas externas, as superfícies não devem estar em contato próximo: a circulação livre de ar é necessária para evitar a condensação e a retenção da umidade. O agrupamento ou embalagem fechada deve ser evitado, pois a ação capilar pode atrair água para superfícies em contato próximo. As peças não devem ser armazenadas em contato direto com o solo.

Para prevenir a ocorrência da corrosão branca, os galvanizadores utilizam um processo de passivação, que consiste na aplicação de uma solução que inibe a corrosão branca. Entretanto, essas medidas não dispensam os cuidados no armazenamento do aço galvanizado.

MANCHAS DE FLUXO



Quando se emprega fluxo durante o processo de imersão da peça no banho de zinco, ele pode aderir à superfície da peça e provocar o aparecimento de manchas negras no revestimento. Tais elementos tendem a absorver umidade, formando um composto de caráter ácido.

Os depósitos de fluxo, removidos da superfície da peça no momento da retirada do banho, não justificam a rejeição, desde que, ao se remover o depósito, o revestimento de zinco permaneça intacto.

PONTOS NUS

Devido à ação de sacrifício do zinco, pequenas falhas, de 8mm² no máximo, são protegidas e pouco efeito exercem sobre a vida do revestimento. Grandes áreas descobertas são geralmente resultado de processo falho e devem ser rejeitadas.

As causas do problema só serão de responsabilidade do galvanizador se houver pré-tratamento deficiente, excesso de temperatura de secagem antes da galvanização ou peças encostadas umas às outras durante a imersão no banho.
Os pontos nus podem ter origem também nos defeitos de laminação do aço. Pequenas áreas do revestimento às vezes causam defeitos às operações de corte ou solda após a galvanização. Os ferros fundidos cinzentos na decapagem química apresentam nódulos de grafita que afloram à superfície e provocam falhas de galvanização. Por isso, recomenda-se o jateamento desses materiais antes da galvanização.

Apesar da excelente resistência do revestimento de zinco, pequenas áreas podem ser danificadas durante o transporte, manuseio e montagem. A reparação dessas áreas deve ser realizada de acordo com a norma ABNT NBR 6323.

RETOQUE DE REVESTIMENTOS DANIFICADOS

Pequenas áreas do revestimento podem ser danificadas através de operações como corte ou soldagem após a galvanização e, embora um revestimento galvanizado tenha excelente resistência a tratamentos agressivos, pequenas áreas de dano podem ocorrer ocasionalmente, no transporte e na edificação. Em virtude da proteção de sacrifício do zinco, pequenas falhas localizadas não reduzem a proteção. Todavia, normalmente para fins estéticos, o revestimento é renovado mesmo que seja em pequenas áreas.

De acordo com a norma ABNT NBR 6323, defeitos que não ultrapassem 0,5% da área podem ser retocados por metalização (aspersão térmica) ou através da aplicação de tintas ricas em zinco. Esses reparos devem ser feitos na superfície devidamente limpa. A tinta rica em zinco é mais simples de ser aplicada, principalmente no campo.

MEDIDA DE PESO OU DA ESPESSURA DO REVESTIMENTO

- O processo garante, na maioria dos casos, revestimento com peso e espessura da camada suficientes para atender às exigências da norma ABNT e outras normas internacionais. São os ensaios para determinar o êxito do processo;

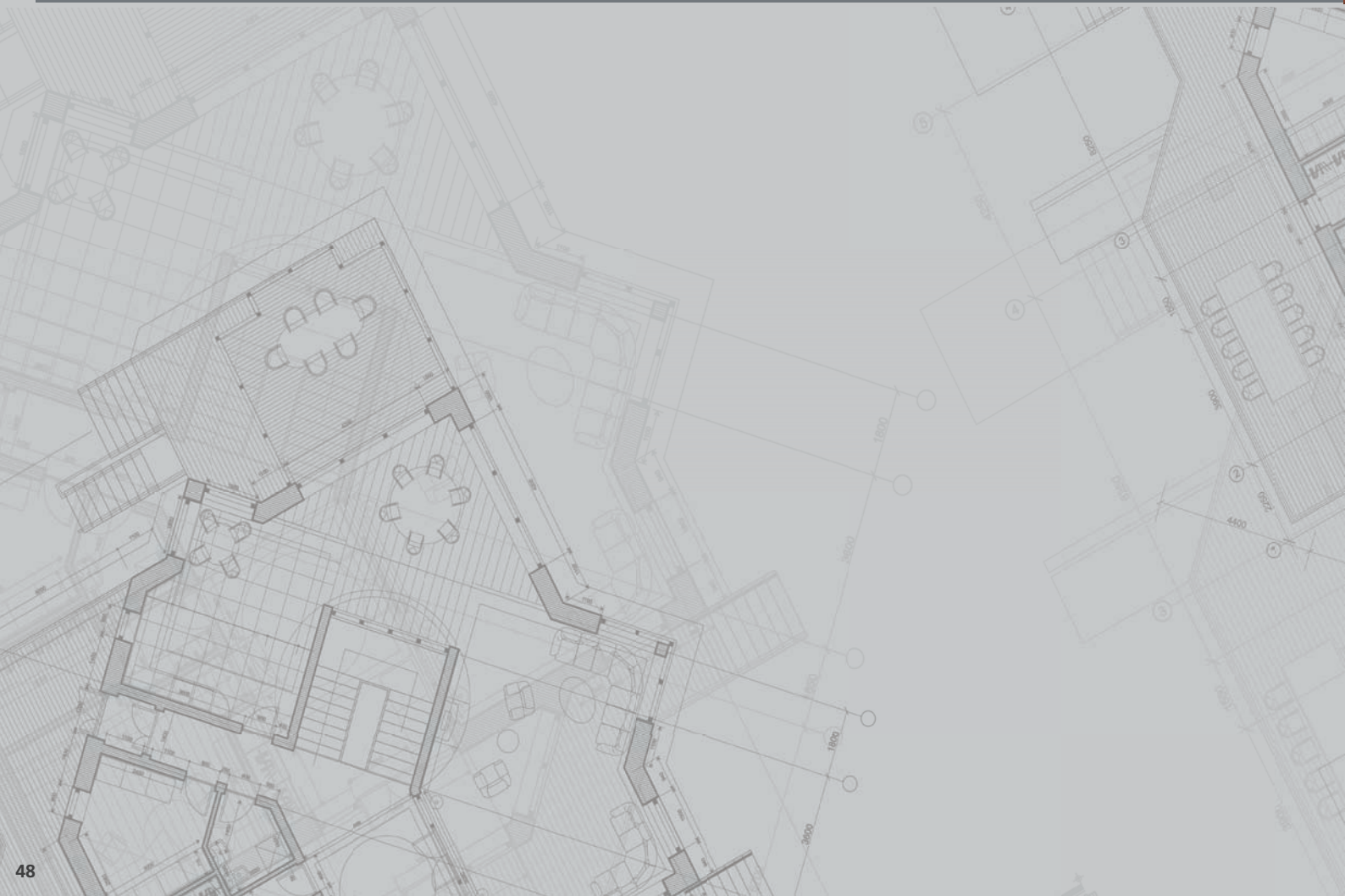
- Peso da camada: ABNT NBR 7397, ensaio destrutivo que deve ser aplicado em corpo de prova que consiste em verificar o peso (g/m²) do zinco na peça. Esse é um teste que deve ser efetuado no início da zincagem do lote;

- Espessura da camada ABNT NBR 7399, ensaio não destrutivo que permite, com precisão, conhecer a espessura de camada aplicada na peça. Existem aparelhos, atração magnética e com princípio da indução magnética. Esses testes não destrutivos podem ser efetuados em qualquer etapa da vida de uma peça galvanizada, a fim de estabelecer a espessura do revestimento de zinco restante.

CAPÍTULO 9

NORMAS RELEVANTES

NESTE CAPÍTULO, ESTÃO RELACIONADAS DIVERSAS NORMAS NACIONAIS E INTERNACIONAIS SOBRE GALVANIZAÇÃO POR IMERSÃO A QUENTE E OUTROS TIPOS DE REVESTIMENTOS DE ZINCO.



Estufas de plantas com estrutura em aço galvanizado

NORMAS BRASILEIRAS

NBR6323
Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido – Especificação

NBR7397
Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente – Determinação da massa do revestimento por unidade de área – Método de ensaio

NBR7398
Produto de aço ou ferro fundido revestido de zinco por imersão a quente – Verificação da aderência do revestimento

NBR7399
Produto de aço ou ferro fundido galvanizado por imersão a quente – Verificação da espessura do revestimento por processo não destrutivo – Método de ensaio

NBR7400
Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido por imersão a quente – Verificação da uniformidade do revestimento – Método de ensaio

NBR7414
Galvanização de produtos de aço ou ferro fundido por imersão a quente – Terminologia

NBR14267
Elementos de fixação – Peças roscadas com revestimentos de zinco por imersão a quente – Especificação

NBR14643
Corrosão atmosférica – Classificação da corrosividade de atmosferas

NORMAS BRITÂNICAS E EUROPEIAS

BS EN ISO 1461: 1999
Especificações e métodos de teste para revestimentos galvanizados por imersão a quente sobre artigos de aço e ferro fabricados

BS EN ISO 14713: 1999
Proteção contra corrosão do ferro e aço em estruturas – revestimentos de zinco e alumínio – diretrizes

BS 7371: Parte 6: 1998
Revestimentos em fixadores de metal – especificação para revestimentos galvanizados por imersão a quente

BS EN 10244: Parte 2: 2001
Produtos de cabo de aço e cabos – revestimentos metálicos não ferrosos em cabo de aço

BS EN 10326/10327: 2004
Revestimentos de zinco por imersão a quente sobre folha de aço

BS 3083: 1988
Folha revestida e corrugada por imersão a quente para fins gerais

OUTRAS NORMAS PARA REVESTIMENTO DE ZINCO

BS EN 12329: 2000
Proteção contra corrosão de metais. Revestimentos eletrodepositados de zinco com tratamento suplementar em ferro e aço

BS EN ISO 2063: 2005
Revestimentos de alumínio e zinco por spray

BS 3382: Parte 2: 1961
Zinco laminado sobre componentes rosqueados

BS 4921: 1988
Revestimentos sheradizados sobre artigos de aço e ferro

OUTRAS NORMAS BRITÂNICAS ÚTEIS

BS 7361: Parte 1: 1991
Proteção catódica

BS EN 13636: 2004
Propriedades catódicas de tanques metálicos enterrados e tubulação correspondente

BS 7173: 1995
Limpeza e preparação de superfícies de metal

BS 6484: 1979
Corrosão em contato bimetálico

BS 7079: 1994
Preparação de superfície de substratos de aço antes da aplicação de revestimentos

BS EN ISO 2178: 1995
Mensuração de espessura de revestimento: método magnético

BS EN ISO 9001: 2000
Sistema de gestão de qualidade

BS EN ISO 11124: Partes 3 e 4
Jato de ferro resfriado e brita para jateamento abrasivo

BS EN 971:1: 1996
Termos e definições de tintas e vernizes para materiais de revestimento. Termos gerais

BS EN 23270: 1991
Especificação para temperatura e umidade para testes e tratamentos de tintas, vernizes e suas matérias-primas
BS 4395: Partes 1 e 2: 1969
Parafusos de alta força de fricção

BS EN 14399: Partes 1-6: 2005
Montagens estruturais de alta força parafusadas para pré-carregamento

BS EN ISO 1460: 1995
Determinação de massa de revestimento de galvanização por imersão a quente: método gravimétrico

BS EN ISO 1463: 2004
Método microscópico de mensuração de espessura de revestimento

BS EN ISO 2064: 2000
Definição e convenção relacionadas com mensuração de espessura de revestimento

BS EN ISO 12944: 1998
Tintas e vernizes – proteção contra corrosão de estruturas de aço através de sistemas de pintura protetora

NORMAS ASTM

A 123/A123M - 02
Revestimentos galvanizados por imersão a quente sobre produtos fabricados

A90/A 90M - 01
Método de teste para peso do revestimento de zinco sobre artigos de aço e ferro

A143 - 03
Proteção contra fragilização

A1531A 153M - 05
Revestimento galvanizado por imersão a quente sobre ferramentas de aço e ferro

A325 - 06
Parafuso de aço carbono de alta força

A384-02
Proteção contra distorção

A385 - 05
Prática para oferecer revestimento galvanizado de alta qualidade

A6531A 653M - 06
Folha de aço galvanizada por imersão a quente

A767/A 767M - 05
Vergalhão galvanizado por imersão a quente

A780 - 01
Conserto de galvanização por imersão a quente danificada

NORMAS DIN

DIN 267
Fixadores galvanizados por imersão a quente

DIN EN ISO 1461
Revestimentos galvanizados por imersão a quente sobre artigos fabricados de ferro e aço – Especificações e métodos de teste

DIN 50978
Teste de aderência de revestimentos galvanizados por imersão a quente

DIN 50933
Mensuração de espessura de revestimento utilizando um estilete

DIN 51213
Teste de revestimentos de zinco e cabos

DIN 59231
Folha galvanizada corrugada

DIN 50961
Zinco laminado

DIN EN ISO 2063
Revestimentos de alumínio e zinco por spray

NORMAS SUECAS

SS 3192
Componentes rosqueados galvanizados por imersão a quente

SS 055900
Aço de limpeza por jateamento

SS 3683
Princípios e exigências para galvanização por imersão a quente

SS EN ISO 1461
Revestimentos galvanizados por imersão a quente em ferro e aço fabricado. Especificações e métodos de teste

NORMAS ISO

ISO 1459
Proteção por galvanização por imersão a quente: princípios de orientação

ISO 2063
Spray de metal de zinco e alumínio

ISO 2081
Revestimentos de zinco laminados

ISO 3575
Jatos contínuos galvanizados por imersão a quente

NORMAS AUSTRALIANAS

AS/NZS 4680
Revestimentos galvanizados por imersão a quente (zinco) sobre artigos ferrosos fabricados

AS/NZS 4534
Revestimentos de liga de zinco/alumínio em cabos

AS/NZS 4791
Revestimentos galvanizados por imersão a quente (zinco) sobre secções ferrosas abertas, aplicados por um processo em linha

AS/NZS 4792
Revestimentos galvanizados por imersão a quente (zinco), sobre secções vazadas ferrosas, aplicadas através de um processo contínuo ou especializadas

Estrutura tubular em aço galvanizado

ICZ
Instituto de Metais
Não Ferrosos

Com os sinceros agradecimentos à UK Galvanizers Association e ao Grupo de Galvanizadores do ICZ

ICZ
Instituto de Metais
Não Ferrosos

Tel.: (11) 3214-1311 | E-mail: contato@icz.org.br
www.icz.org.br
www.portaldagalvanizacao.com.br