Copyright 2008, ABRACO
Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2008, em Recife/PE, no mês de maio de 2008.
As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

Avaliação da Resistência à Corrosão de Aços IF, Revestidos com Zinco e Ligas de Zinco-ferro, Fosfatizados e Pintados na Indústria Automobilística

Rodrigo J. A. Marques[1], Evandro de Azevedo Alvarenga[2], José Geraldo Moreira[3], G. Cristina D. de Godoy[4], Mônica M. A. M. Schvartzman[5]

Abstract

The corrosion resistance of interstitial free steel (IF), electrogalvanized and hot-dip galvanized with zinc and zinc-iron alloy, phosphatized and painted in the automobile industry, was evaluated by means of corrosion tests. The corrosion tests consist an important part of the development, selection and qualification of materials for manufacture of automobiles. An adequate evaluation of the steel corrosion resistance should simulate as close as possible the actual environmental conditions to which the material will be exposed, in order to find out the mechanism which explain how the corrosive process initiates and develops. Three tests were carried out to evaluate the corrosion resistance, i.e. SAE J2334, GM 9540P and ISO 11474, all of which are standard tests used by the automotive sector. As result, it was observed that, for the same zinc mass, the steel coated with zinc-iron alloy had presented better corrosion resistance than that of the steels coated only with pure zinc. The better performance of the zinc-iron alloyed material was attributed to its morphological characteristics.

Resumo

A resistência à corrosão de aços ultrabaixo carbono livres de átomos intersticiais (UBC-IF), eletrogalvanizado e galvanizados a quente com zinco e ligas de zinco-ferro, fosfatizados e pintados na indústria automobilística, foi avaliada, neste trabalho, por intermédio de ensaios acelerados cíclicos de corrosão e de campo com aspersão de solução salina. Os ensaios de corrosão constituem-se em uma parte importante do desenvolvimento, da seleção e da qualificação de materiais para fabricação de automóveis. A adequada avaliação da resistência à corrosão dos aços deve simular o mais fielmente possível as condições ambientais reais a que o material ficará exposto, de modo a reproduzir o mecanismo pelo qual o processo corrosivo se inicia e se desenvolve. Para a avaliação da resistência à corrosão foram empregados três testes: o SAE J2334/Modo manual, o GM 9540P e o ISO 11474, todos muito utilizados pelo setor automotivo. Como resultado, observou-se que, para a mesma massa de zinco, o aço revestido com ligas de zinco-ferro apresentou melhor resistência à corrosão que os aços revestidos apenas com zinco puro. Atribuiu-se esse melhor desempenho às características morfológicas do revestimento do aço com ligas zinco-ferro.

Palavras-chaves: galvanizado a quente, galvannealed, ligas zinco-ferro, pintura, corrosão.

---

1 Mestrando em Engenharia, Engenheiro Metalurgista, CQE/ASQ, Superintendência de Metalurgia e Garantia da Qualidade da Usiminas, Ipatinga-MG.
2 Dr., Engenheiro Químico, CQE/ASQ, Superintendência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG.
3 Técnico Químico, Superintendência do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas, Ipatinga, MG.
4 Ph.D, Professora Associada, Curso de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG CPGEM/UFMG, Belo Horizonte, MG.
5 Dr.ª, Pesquisadora do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, MG.

1. INTRODUÇÃO

As seleções de aços e de esquemas de pintura são importantes para as indústrias em geral, principalmente, para a automobilística. A garantia de resistência à corrosão oferecida pelo setor automobilístico, atualmente no mínimo 12 anos[1,2], somente é alcançada empregando-se aços revestidos e esquemas de pintura de alto desempenho.

Historicamente, sobre a ótica dos proprietários de veículos, especificamente os de veículos particulares, o período compreendido entre os anos 60 e 80 representou a pior fase para a indústria automobilística da América do Norte. O mais importante fator que contribuiu para essa percepção foi a reduzida durabilidade dos componentes dos veículos em termos de corrosão, em particular, a carroceria. O rápido crescimento da indústria automobilística se traduziu em mudanças nos processos produtivos, bem como nos materiais e nas especificações de produtos, que contribuíram para o aumento da expectativa de durabilidade dos veículos.

Diversos materiais revestidos estão disponíveis no mercado. Os mais utilizados pelo setor automobilístico são os aços eletrogalvanizados e os galvanizados a quente; esses últimos com e sem tratamento térmico da camada de zinco. A escolha do melhor aço depende, em um primeiro momento, do tipo de revestimento metálico e de sua massa. Em seguida, avalia-se o aspecto final do produto após pintura. Aliado a esses três parâmetros, soma-se o esquema de pintura. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a resistência à corrosão de aços revestidos com zinco, nos quais se aplicou um sistema de pintura utilizado pela indústria automobilística. Para isso, foram utilizados três aços ultrabaixo carbono livre de átomos intersticiais (UBC-IF), revestidos com zinco: um eletrogalvanizado e dois galvanizados a quente, sendo um sem tratamento térmico da camada de zinco, conhecido como aço galvanizado a quente ou *hot-dip*, e o outro com tratamento térmico da camada de zinco, conhecido como *galvannealed*. Como ensaios de corrosão foram utilizados o SAE J2334/Modo manual, o GM 9540P e o ISO 11474 (campo com aspersão de solução salina). Para a validação dos ensaios de corrosão ensaiou-se, juntamente com os aços revestidos, um aço ultrabaixo carbono livre de átomos intersticiais, sem revestimento de zinco, mas no qual se aplicou o sistema de pintura acima referido.

2. METODOLOGIA

2.1. Substratos Metálicos

Corpos-de-prova de aços ultrabaixo carbono livres de átomos intersticiais (UBC-IF), eletrogalvanizado (Usigalve) e galvanizados a quente sem e com tratamento térmico da camada de zinco (Usigal-GI e Usigal-GA) cortados nas dimensões de 100 mm x 150 mm foram fosfatizados e pintados em uma indústria automobilística. O processo de fosfatização consistiu nas etapas de desengraxamento, enxágüe, ativação, fosfatização tricatiônica e, novamente, enxágüe. No processo de pintura aplicou-se inicialmente, pintura cataforética com resina epóxi modificada, seguida de tintas de fundo e de acabamento de resina poliéster e verniz acrílico alto sólido.

Para obter a composição química dos aços, o carbono e o enxofre foram determinados por combustão com detecção por infravermelho, utilizando-se o analisador LECO 444 LS da Leco Corporation; o alumínio por espectrometria de emissão ótica por plasma de acoplamento indutivo (ICPOES) com o auxílio do Spectroflame Modula da Spectro, e os demais elementos químicos por raios X utilizando-se o equipamento SRS 3000 Sequential X-Ray Spectrometer da Siemens.

As propriedades mecânicas dos aços foram determinadas segundo norma NBR 6673[3], em ensaios de tração, utilizando-se máquina de tração Instron robotizada modelo 4482, com capacidade de 100 kN e velocidade de 0,001 mm/min a 600 mm/min.

A massa da camada de zinco foi determinada pelo método de perda de massa. Cinco corpos-de-prova para cada aço em estudo devidamente desengraxados e limpos foram inicialmente pesados, depois imersos em uma solução própria para remoção da camada de zinco, constituída de HCl 1:1 v/v com adição de inibidor de corrosão hexametilenotetramina (3,5 g/L). Em seguida, os corpos-de-prova sem a camada de zinco foram lavados com água destilada, secados com nitrogênio e pesados novamente. A massa da camada de zinco (M_{Zn}) foi calculada pela diferença entre as massas inicial e final dividida pela área superficial total do corpo-de-prova [M_{Zn} = (massa inicial - massa final)/área total].

A morfologia dos cristais de zinco dos aços revestidos foi avaliada via microscopia eletrônica de varredura, valendo-se do microscópio eletrônico de varredura modelo EVO 50 da Zeiss, com tensão de aceleração de 20 kV acoplado a espectrômetro por dispersão de energia (EDS), modelo INCA 350 e espectrômetro por dispersão de comprimento de onda (WDS), modelo INCA 500i, ambos da Oxford. Para a análise das fases presentes na camada de zinco, por difratometria de raios X, utilizou-se o difratômetro Rigaku, série Geigerflex, com tubo de cobre, com tempo de contagem (*step time*) de 1 segundo e com espaçamento de aquisição de dados (*step size*) de 0,02^o.

A espessura e a aderência da película seca de tinta foram obtidas conforme descrito nas normas NBR 10443[4] e NBR 11003[5].

2.2. Ensaios de Corrosão

Os corpos-de-prova fosfatizados e pintados tiveram suas bordas protegidas com resina epóxi. Em seguida, foram riscados com ferramenta de usinagem de modo a atingir o metal base[6]. Foram realizados três ensaios acelerados de corrosão, dois em escala de laboratório — os cíclicos SAE J2334/ Modo manual[7] e o GM 9540P[8] — e um de campo com aspersão de solução salina, ISO 11474[9].

2.2.1. Ensaio acelerado cíclico de corrosão conforme norma SAE J2334/Modo manual

O ensaio SAE J2334/Modo manual completo tem duração de 1440 h, equivalendo a 60 ciclos de 24 h. O procedimento de execução deste teste de segunda-feira a sexta-feira é o seguinte: a) 6 horas de exposição em câmara úmida saturada à temperatura de 50°C ± 2°C; b) aplicação de névoa salina mista (0,5% p/v de NaCl, 0,1% p/v de $CaCl_2$ e 0,075% p/v de $NaHCO_3$) durante 15 minutos, à temperatura ambiente e c) 17 h e 45 minutos em câmara seca com umidade relativa de 50% ± 5% à temperatura de 60°C ± 2°C. Aos sábados e domingos os corpos-de-prova permanecem em câmara seca com umidade relativa de 50% ± 5% à temperatura de 60°C ± 2°C. Neste ensaio, empregaram-se três câmaras, sendo uma fabricada pela Erichsen (umidade saturada); outra pela Equilam (pulverização de solução salina) e a última pela Satake (umidade e temperatura controladas), figura 1. O período de superfície úmida[10] desse ensaio é de 18%. A taxa de corrosão de 3,0 kg Fe/m^2.ano foi medida durante o ensaio, mediante a utilização de cinco corpos-de-prova de aço-carbono não revestido e sem pintura.

a) Câmara Erichsen b) Câmara Equilam c) Câmara Satake

Figura 1 - Câmaras utilizadas no ensaio de corrosão SAE J2334/Modo manual.

2.2.2. Ensaio acelerado cíclico de corrosão conforme norma GM 9540P

A câmara utilizada no ensaio GM 9540P foi a Q-Fog da Q-Panel Company com volume de 1100 L, figura 2. Esse ensaio completo tem a duração de 1920 h, correspondendo a 80 ciclos de 24 h. Cada ciclo consiste nas etapas: a) aplicação de névoa salina mista (0,9% p/v de NaCl, 0,1% p/v de $CaCl_2$ e 0,25% p/v de $NaHCO_3$) durante 15 minutos, seguida de intervalo de 75 minutos em câmara com umidade relativa entre 40% e 50%, à 25°C ± 2°C. Essa etapa deve ser repetida quatro vezes antes de passar para a seguinte; b) 2 h em câmara com umidade relativa entre 40% e 50%, à 25°C ± 2°C; c) 8 h em câmara úmida com umidade relativa entre 95% e 100%, à 49°C ± 2°C; d) 8 h de câmara seca com umidade relativa menor que 30%, à 60°C ± 2°C. O período de superfície úmida[10] desse ensaio é de 37%. A taxa de corrosão de 12 kg Fe/m^2.ano foi medida durante o ensaio, mediante a utilização de cinco corpos-de-prova de aço-carbono não revestido e sem pintura.

Figura 2 - Câmara Q-Fog da Q-Panel Company com volume de 1100 L para ensaios acelerados cíclicos de corrosão.

2.2.3. Ensaio de campo com aspersão de solução salina conforme norma ISO 11474

O ensaio de acordo com a norma ISO 11474 trata-se de um ensaio de corrosão com exposição ao intemperismo natural, no qual os corpos-de-prova recebem semanalmente aspersão de solução salina. Neste estudo, foram feitas aspersões duas vezes por semana (terça e sexta) com solução 3% de cloreto de sódio (NaCl). O local de exposição utilizado foi o da Mini-

estação de Corrosão da Usiminas, figura 3. Essa Mini-estação está localizada dentro e no mesmo nível da planta industrial da Usiminas, na altitude 247 m, na latitude 19°29'09"S e longitude 42°32'01"O, em Ipatinga-MG.

Figura 3 – Mini-estação de Corrosão da Usiminas para realização de ensaios de campo com aspersão de solução salina, segundo norma ISO 11474[9].

A Mini-estação de Corrosão da Usiminas é considerada como sendo de baixa a média agressividade (C2 a C3)[10]; mas em virtude da aspersão de solução salina sua corrosividade foi em média de 2,6 kg Fe/m^2.ano, acima daquela em ambiente marinho (~0,6 kg Fe/m^2.ano[12]). O período de superfície úmida do presente ensaio é em torno de 50%[10].

2.3. Avaliação dos Corpos-de-prova após os Ensaios de Corrosão

Os corpos-de-prova foram avaliados após um e três ensaios SAE J2334/Modo manual (1440 h e 4320 h), após um e dois testes GM 9540P (1920 h e 3840 h) e após oito meses de ensaio ISO 11474. O parâmetro utilizado para avaliar a resistência à corrosão foi o avanço médio de corrosão, medido por técnica de análise de imagem[12] ao longo da danificação mecânica feita na película seca de tinta de cada corpo-de-prova.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização dos Aços

A tabela I mostra a composição química típica dos substratos dos aços em estudo. A principal diferença, no que tange a composição química, está no agente estabilizador utilizado no processo de fabricação do aço Usigal-GA, que é estabilizado ao titânio e nióbio. A tabela II mostra a massa de camada de zinco dos aços Usigalve e Usigal-GI e a massa da camada de ligas de zinco-ferro do aço Usigal-GA acompanhadas de suas respectivas propriedades mecânicas em tração. Verifica-se, ao nível de confiança de 95%[15], que as massas da camada e as propriedades mecânicas são semelhantes.

Tabela I - Composição química típica dos aços.

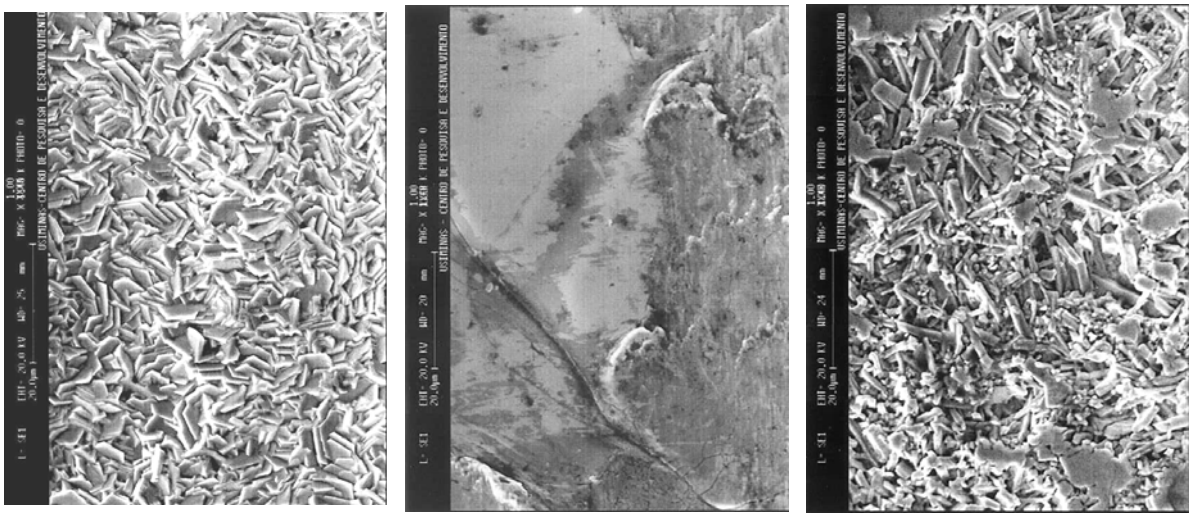
Tipo de aço	Elemento estabilizador	Composição química do aço (%p/p)				
		C	Mn	P	S	Al
UBC-IF	Ti	0,0012	0,12	0,010	0,007	0,040
Usigalve	Ti	0,0017	0,13	0,010	0,007	0,038
Usigal-GI	Ti	0,0013	0,13	0,011	0,010	0,050
Usigal-GA	Ti + Nb	0,0019	0,12	0,013	0,009	0,034

Tabela II - Massa da camada de zinco e propriedades mecânicas em tração dos aços utilizados no estudo.

Tipos de aço	Massa da camada de zinco por face (g/m^2)	Limite de Escoamento (N/mm^2)	Limite de Resistência (N/mm^2)	Alongamento (BM=50 mm) (%)
UBC-IF	não tem	167	313	46
Usigalve	59,8 ± 1,7	152	300	52
Usigal-GI	60,7 ± 1,3	166	292	48
Usigal-GA	61,4 ± 1,0	171	313	48

3.2. Morfologia da Camada de Zinco dos Aços Revestidos

Conforme apresentado na figura 4a, o revestimento do aço Usigalve é formado por cristais de zinco relativamente pequenos, hexagonais e orientados aleatoriamente. As análises de difração de raios X realizadas nesse revestimento identificaram a fase η-eta (zinco puro) como a única fase cristalina presente e cristais de zinco com textura cristalográfica preferencial segundo os planos piramidais de baixo ângulo. Essa característica é peculiar ao processo Gravitel[13] empregado na produção do aço Usigalve.



a) Aço Usigalve 1000x b) Aço Usigal-GI 1000x c) aço Usigal-GA 1000x

Figura 4 - Morfologia da camada de zinco do aços revestidos utilizados no estudo.

Por meio da figura 4b, observa-se que os cristais da camada de zinco do aço Usigal-GI são do tipo minimizado. As análises por difratometria de raios X identificaram a fase η-eta como a única fase presente na camada de zinco e seus cristais apresentam textura cristalográfica exclusiva dos planos basais. Essas características resultam do processo de galvanização a quente utilizado na produção desse aço[14].

O aço Usigal-GA, galvanizado a quente com tratamento térmico da camada de zinco, apresentou superfície irregular, figura 4c. Pelos resultados de difratometria de raios X, a camada de revestimento é constituída das fases ζ ($FeZn_{13}$), δ ($FeZn_7$) e Γ (Fe_3Zn_{10}). As presenças de bastonetes típicos da fase zeta (ζ) e de cristais colunares da fase delta (δ) foram confirmadas pela análise por microscopia eletrônica de varredura, figura 4c. As irregularidades na camada de revestimento do aço Usigal-GA, juntamente com as fases citadas, criam uma boa superfície de ancoragem para esquemas de pintura.

3.3. Espessura e Aderência da Película Seca de Tinta

Os resultados das determinações da espessura e da aderência da película seca de tinta são apresentados na tabela III. Segundo esses dados os corpos-de-prova apresentaram estatisticamente, ao nível de confiança de 95%[15], espessura de película seca de tinta semelhantes. Não foi observado destacamento de tinta em nenhum dos aços estudos.

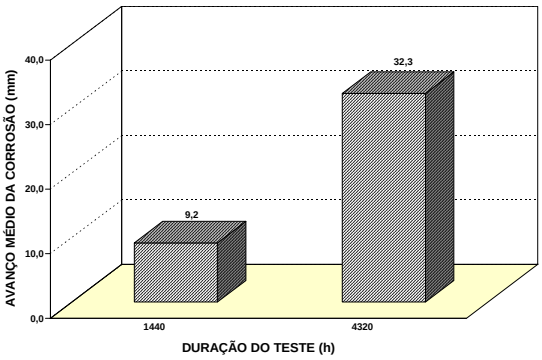
Tabela III - Espessura e aderência da película seca de tinta dos corpos-de-prova utilizados no estudo.

Tipos de Aço	Película Seca de Tinta	
	Espessura[4] (μm)	Aderência[a]
UBC-IF	118,5 ± 12,0	grau 0
Usigalve	118,5 ± 11,6	grau 0
Usigal-GI	121,9 ± 10,2	grau 0
Usigal-GA	119,9 ± 10,7	grau 0

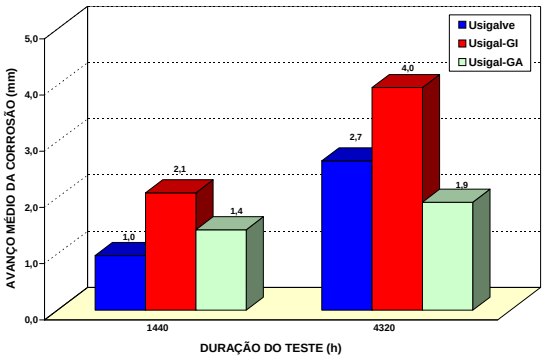
OBS.: a) grau 0 - nenhuma área da película destacada, grau 4 - área da película destacada cerca de 65% da área quadriculada[5].

3.4. Ensaio Acelerado Cíclico de Corrosão SAE J2334/Modo Manual

De acordo com os dados apresentados na figura 5, após 4320 h de ensaio acelerado cíclico de corrosão SAE J2334 o melhor resultado de resistência à corrosão foi obtido pelo aço Usigal-GA, seguidos dos aços Usigalve e Usigal-GI. O aço ultrabaixo carbono IF utilizado como controle do ensaio apresentou desempenho inferior ao dos demais aços, como já era esperado. O aspecto dos aços após o ensaio pode ser visto na figura 6.

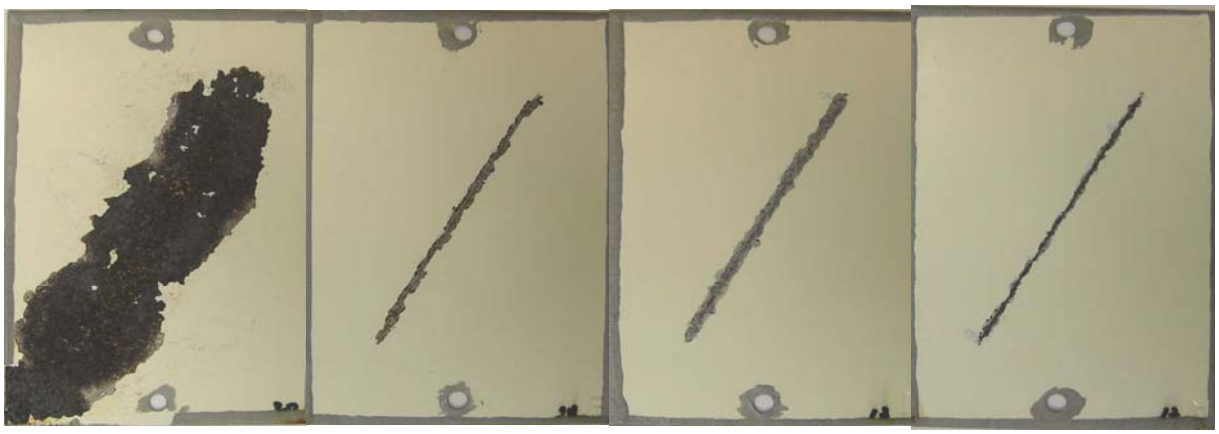


a) Aço ultrabaixo carbono IF sem revestimento de zinco



b) Aços ultrabaixo carbono IF revestidos com zinco

Figura 5 - Resultados de avanço médio da corrosão do ensaio acelerado cíclico de corrosão SAE J2334.



a) Aço ultrabaixo carbono IF b) Aço Usigalve c) Aço Usigal-GI d)Aço Usigal-GA

Figura 6 - Aspecto dos corpos-de-prova após 4320 h (180 ciclos) de ensaio acelerado cíclico de corrosão SAE J2334.

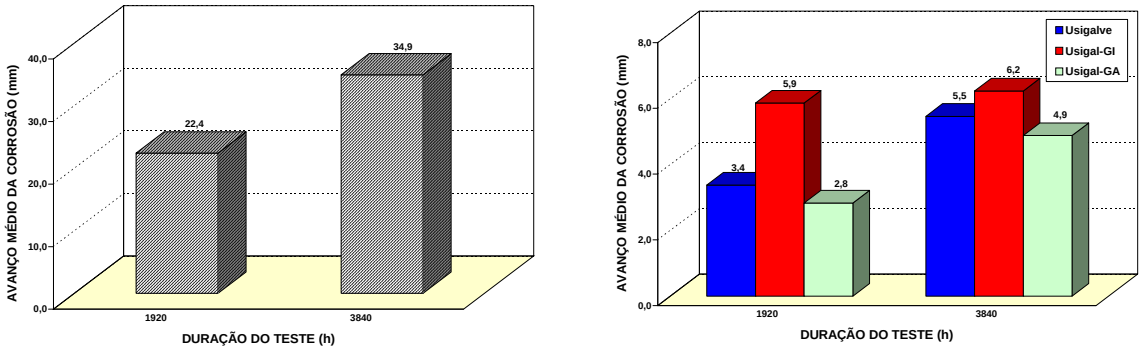
Observa-se, ainda, na figura 5, que com um ensaio completo, ou seja 1440 h, o aço eletrogalvanizado apresentou melhor desempenho que o aço galvanizado a quente com tratamento térmico da camada de zinco (Usigal-GA), o que não se confirmou nos ensaios GM 9540P e ISO 11474 mostrados a seguir. A inversão dos resultados desses dois aços com o tempo de ensaio SAE J2334 pode ter sido ocasionada pela baixa agressividade desse ensaio. No modo manual, os corpos-de-prova passam 48 horas (finais de semana) praticamente secos, permitindo que a camada de fosfato e a película seca de tinta recuperem, grosso modo, suas condições físico-químicas iniciais. Com o decorrer do tempo de ensaio essa recuperação já não é tão eficiente, devido à formação de óxidos e ao seu efeito cunha[16]. Além disso, como as condições superficiais dos aços Usigalve e Usigal-GA são diferentes, zinco puro e ligas de zinco-ferro respectivamente, as fases presentes na camada de fosfato também são diferentes. Sobre o zinco puro formou-se apenas a hopeíta [$Zn_3(PO_4)_2.4H_2O$] e sobre a liga zinco-ferro formaram-se tanto a hopeíta como a fosfofilita [$Zn_2Fe(PO_4)_2.4H_2O$], confirmados por análises químicas e por difratometria de raios X. A fosfofilita é mais resistente à desidratação e a meios alcalinos do que a hopeíta, destacando-se, a longo prazo, sua melhor condição como superfície de ancoragem para esquemas de pintura, o que viria a favorecer o aço Usigal-GA.

Neste ensaio o processo corrosivo desenvolveu-se apenas na região de danificação mecânica da película seca de tinta, figura 6. Apenas o corpo-de-prova de aço ultrabaixo carbono IF

apresentou perfuração, mostrando a importância do revestimento de zinco na proteção contra corrosão dos materiais.

3.5. Ensaio Acelerado Cíclico de Corrosão GM 9540P

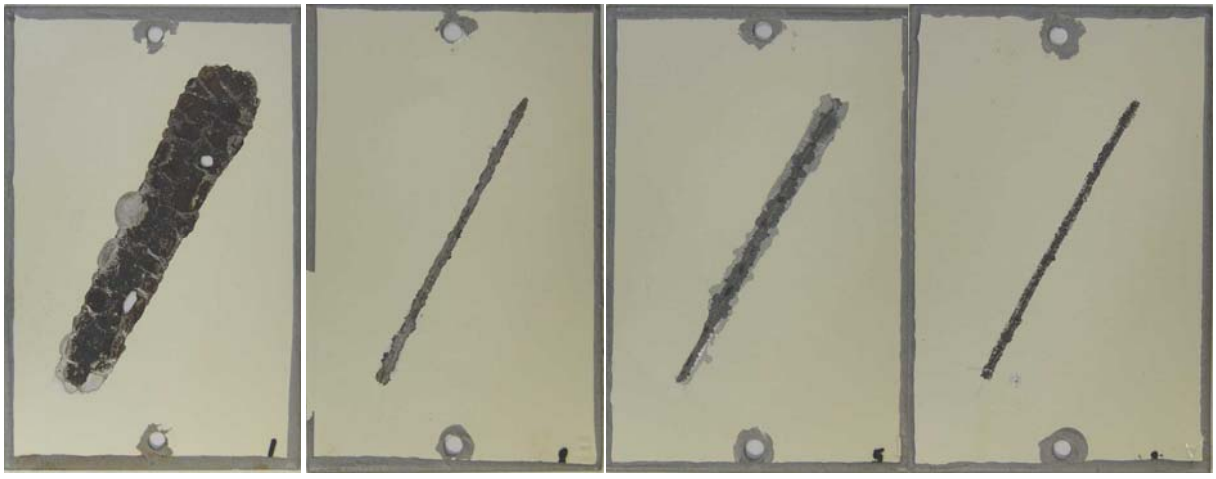
Os resultados do ensaio acelerado cíclico de corrosão GM 9540P foram semelhantes ao do ensaio SAE J2334 com 4320 h de duração, figura 7. Por essa figura, o melhor desempenho de resistência à corrosão também foi obtido pelo aço Usigal-GA, seguido da mesma forma pelos aços Usigalve, Usigal-GI. Novamente, o aço ultrabaixo carbono IF utilizado como controle do ensaio apresentou desempenho inferior ao demais aços. Destaca-se que com apenas um ensaio completo (1920 h) já foi possível classificar os aços quanto a resistência à corrosão. Na figura 8 mostra-se o aspecto dos aços após o presente ensaio.



a) Aço ultrabaixo carbono IF sem revestimento de zinco

b) Aços ultrabaixo carbono IF revestidos com zinco

Figura 7 - Resultados de avanço médio da corrosão do ensaio acelerado cíclico de corrosão GM 9540P.



a) Aço ultrabaixo carbono IF b) Aço Usigalve c) Aço Usigal-GI d) Aço Usigal-GA

Figura 8 - Aspecto dos corpos-de-prova após 3840 h (160 ciclos) de ensaio acelerado cíclico de corrosão GM 9540P.

Conforme apresentado na figura 8, semelhantemente ao teste SAE J2334/Modo manual, o processo corrosivo ocorreu apenas na região de danificação mecânica da tinta e só o corpo-de-prova de aço ultrabaixo carbono IF apresentou perfuração.

3.6. Ensaio de Campo com Aspersão de Solução Salina - ISO 11474

Segundo os dados apresentados na figura 9, o aço Usigal-GA obteve o melhor resultado de resistência à corrosão dentre os aços avaliados. Em seguida vieram os aços Usigalve, Usigal-GI e ultrabaixo carbono IF, sendo esse último utilizado como controle do ensaio. Essa seqüência de classificação confirma os resultados mencionados anteriormente nos ensaios acelerados cíclicos realizados em laboratório.

Os resultados do ensaio de campo com aspersão de solução salina tendem a ser mais confiáveis do que aqueles dos ensaios realizados em laboratório, pois trata-se de ensaio de exposição ao intemperismo natural, muito mais próximo das condições nas quais os materiais ficam sujeitos. Portanto, acredita-se que as classificações de resistência à corrosão obtidas com o ensaio de campo com aspersão de solução salina são as que mais se aproximam daquelas dos materiais em serviço. Os aspectos dos corpos-de-prova após oito meses de exposição confirmam essa classificação e podem ser vistos na figura 10.

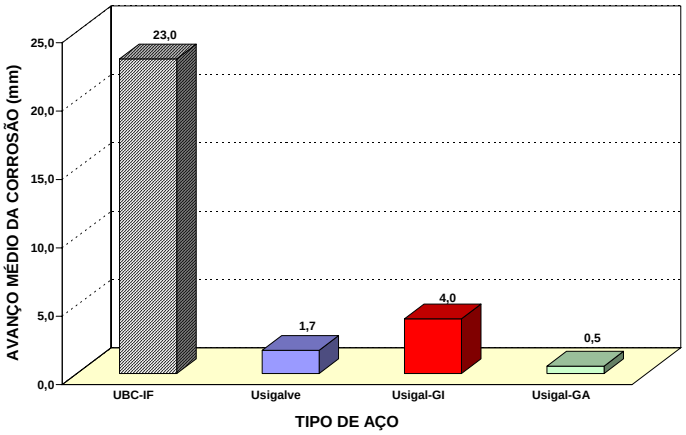


Figura 9 - Resultados de avanço médio da corrosão após 8 meses de ensaio de campo com aspersão de solução salina (ISO 11474).

a) Aço ultrabaixo carbono IF b) Aço Usigalve c) Aço Usigal-GI d) Aço Usigal-GA

Figura 10 - Aspecto dos corpos-de-prova após 8 meses de teste ensaio de campo com aspersão de solução salina.

Conforme apresentado na figura 10, o processo corrosivo também ocorreu somente na região de danificação mecânica da película seca de tinta e, neste caso, não houve perfuração de nenhum dos aços.

O melhor desempenho do aço Usigal-GA, para o sistema de pintura adotado neste trabalho, pode ser atribuído às características do revestimento metálico. Como mostrado na figura 4c, a formação de compostos intermetálicos de zinco-ferro devido ao tratamento térmico aplicado na camada de zinco do aço Usigal-GA, proporciona à superfície desse revestimento irregularidades que auxiliam na ancoragem do esquema de pintura. Além disso, a presença do elemento químico ferro no revestimento metálico permite a formação de fosfofilita durante o processo de fosfatização, contribuindo para que a camada de fosfato apresente melhor resistência a meios alcalinos e a processos de desidratação/hidratação, promovendo maior resistência à corrosão do sistema de pintura.

Entre os aços revestidos com zinco sem tratamento térmico dessa camada, atribui-se o melhor desempenho do aço Usigalve comparativamente ao aço Usigal-GI à morfologia de seus cristais de zinco, que ajudam na ancoragem da película de tinta.

4. CONCLUSÕES

Verificou-se neste estudo que para o esquema de pintura automobilístico adotado o aço galvanizado a quente com tratamento térmico da camada de zinco, para a formação de ligas intermetálicas de zinco-ferro, apresentou melhor resistência à corrosão do que os aços revestidos com zinco puro e sem esse tratamento. Atribuiu-se esse melhor desempenho às características físico-químicas da camada de zinco-ferro do aço Usigal-GA. A presença de ferro na forma de compostos intermetálicos de zinco-ferro e desses compostos intermetálicos na superfície do revestimento contribuem para a melhor aderência da película seca de tinta. O primeiro permite a formação de camadas de fosfato com fases cristalinas (fosfofilita) mais resistentes a meios alcalinos e a processos de desidratação/hidratação e o segundo a formação de irregularidades que atuam como superfície de ancoragem, complementando a função da camada de fosfato.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. FUJITA, S.; KAJIYAMA, H. - Perforation of Coated Steel Panels on Automobiles and Its Corrosion Mechanism. CORROSION ENGINEERING, n. 50, pp. 177-194, 2001.
2. DAVIES, G. - Materials for Automobile Bodies. Elsevier Editor, 277 p. Oxford, 2003.
3. NORMA NBR 6673 - Produtos Planos de Aço – Determinação das Propriedades Mecânicas a Tração. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, julho/1981.
4. NORMA NBR 10443 - Tintas - Determinação da Espessura da Película Seca. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, agosto/1988.
5. NORMA NBR 11003 - Tintas - Determinação da Aderência. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Rio de Janeiro, abril/1990.
6. NORMA NBR 8754 - Corpos-de-prova Revestidos e Expostos a Ambientes Corrosivos. Método de Avaliação. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, fevereiro/1985.
7. STANDARD SAE J2334 - Laboratory Cyclic Corrosion Test. SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS, Dec./2003.
8. STANDARD GM 9540P - Accelerated Corrosion Test. GENERAL MOTORS

ENGINEERING STANDARDS, Dec./1997.

9. STANDARD ISO 11474 - Corrosion of metals and Alloys - Corrosion Tests in Artificial Atmosphere - Accelerated Outdoor Test by Intermittent Spraying of Salt Solution. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1993.
10. ALVARENGA, E. A.; CARNEIRO, R. A.; MIRANDA, F. J. F. - Ensaios de Corrosão para a Indústria Automobilística. IN: CONGRESSO 2001 SAE BRASIL SAE, nov./2001.
11. STANDARD ISO 9923 - Corrosion of Metals and Alloys - Corrosivity of Atmospheres - Classification. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1992.
12. ALVARENGA, E. A., MOREIRA, J. G.; BUONO, V. T. L. - Influência da Massa da Camada de Zinco na Resistência à Corrosão de Aços Eletrogalvanizados Fosfatizados e Pintados. IN: 61° CONGRESSO ANUAL DA ABM. Rio de Janeiro, RJ, 24 a 27 de Julho de 2006.
13. ALVARENGA, E. A.; SOUSA, J. G.; OLIVEIRA, G. A.; MACHADO, G. O. - Implantação da Linha de Galvanização Eletrolítica da Usiminas. CONTRIBUIÇÃO TÉCNICA N. 2359 ESPECIAL PARA A REVISTA METALURGIA & MATERIAIS. São Paulo, jan./1994.
14. FERNANDES, J. N.; KOBAYASHI, M.; REIS, D. T. - Linha de Galvanização por Imersão a Quente da Unigal. IN: CONGRESSO ANUAL DA ABM, Rio de Janeiro, RJ, 24 a 26 de julho de, 2000.
15. COSTA NETO, P. L. O - Estatística. EDITORA EDGARD BLÜCHER LTDA. São Paulo, 1992.
16. ALVARENGA, E. A.; CARNEIRO, R. A.; LOPES, P.; PARANHOS, R. M. V.; LINS, V. F. C. - Mecanismo do Processo Corrosivo em Aços com Revestimentos Metálico e por Pintura Submetidos a Testes de Corrosão. 7ª COTEQ - Conferencia sobre Tecnologia de Equipamentos/XXIIII CONGRESSO BRASILEIRO DE CORROSÃO - CONBRASCORR. FLORIANÓPOLIS, set./2003.