PRÉ-TRATAMENTO À BASE DE SILANOS PARA SUBSTRATOS EM AÇO INOXIDÁVEL A UTILIZAR NA INDÚSTRIA AUTOMÓVEL

Sofia Nunes[(1)], Pedro Alves[(1) (*)] e Isabel Pereira[(2)]

Artigo submetido em Novembro de 2006 e aceite em Janeiro de 2008

RESUMO

A indústria automóvel está cada vez mais exigente, sendo portanto fundamental aprofundar e melhorar os seus processos de pintura. Com vista a garantir um melhor desempenho na protecção anticorrosiva, neste trabalho procurou utilizar-se alternativas aos substratos vulgarmente usados na pintura a pó (aço, alumínio e aço galvanizado), como é o caso do aço inoxidável.

Sabendo à partida que a vulgar fosfatação utilizada no pré-tratamento químico dos substratos de ferro, não é adequada para o aço inoxidável, uma vez que não permite obter um revestimento com boa aderência e boa protecção anticorrosiva a longo prazo, recorreu-se a um recente tipo de pré-tratamento químico na área da pintura automóvel à base de silanos.

Este trabalho teve como objectivo final a obtenção de um bom revestimento para peças de aço inoxidável, tanto em termos de aderência como em termos de uma boa protecção anticorrosiva. Para a avaliação do comportamento anticorrosivo, foram utilizados ensaios de envelhecimento artificial acelerado, como é o caso de exposição em câmara de nevoeiro salino e em câmara de humidade. A caracterização física do revestimento foi realizada avaliando a sua aderência ao substrato pelo método da quadrícula e a sua dureza pela resistência ao risco. Complementarmente, foram realizados outros ensaios, nomeadamente a resistência ao ensaio fervente, observação visual e microscópica.

Palavras Chave: *Protecção Anticorrosiva, Pré-tratamento, Silanos, Aço Inoxidável, Pintura, Indústria Automóvel*

SILANES BASED PRE-TREATMENT FOR STAINLESS STEEL SUBSTRATES TO BE USED IN AUTOMOBILE INDUSTRY

ABSTRACT

Automotive industry is nowadays more and more demanding, basically involving the deepening and technological of its painting processes. So that, to a better performance in the anticorrosive protection is achieved, in this work are considered alternatives to the substrates commonly used in the powder painting (steel, aluminium and galvanized steel), such as the case of stainless steel.

As common fosfatation process used in the chemical pre-treatment of iron substrates, is well known to be unsuitable for stainless steel because it does not lead to a coating with good adhesion and good anticorrosive protection properties, a recent chemical pre-treatment silane based, used in automotive painting, was applied.

Getting a good coating of stainless steel parts, is the aim of this work, ensuring a good adhesion a anticorrosive protection of the coating to the substrate. Accelerated weathering, like salt spray and high humidity tests, were used to evaluate the anticorrosive behaviour. Physical characterization of the coating was performed through the evaluation of both, its adhesion to the substrate by cross cut test method and its hardness by scratch resistance test. Other complementary tests were also used, such as the resistance to boiling water, together with visual and microscopic inspections.

Keywords: *Anticorrosive Protection, Pre-treatment, Silanes, Stainless Steel, Painting, Automobile Industry*

1. INTRODUÇÃO

Os aços inoxidáveis são aços que tem uma resistência à corrosão superior à dos aços comuns. A resistência à corrosão dos aços inoxidáveis depende basicamente da microestrutura e da composição química, principalmente devido à presença de crómio em particular (uma liga de aço inoxidável tem no mínimo uma quantidade de 10 % de crómio), mas também devido à presença de outros elementos [1]. Os elementos de liga presentes nos aços inoxidáveis, reagem com muita facilidade com o meio ambiente, principalmente o crómio, formando um filme fino e aderente que protege a superfície de posteriores ataques corrosivos. Este filme passivo resulta da reacção entre a superfície metálica e a água presente no meio ambiente. O produto desta reacção é um oxi-hidróxido de crómio e ferro (figura 1) [2].

(1) Salvador Caetano, Estrada Nacional N.º 3, Carregado, 2580 Alenquer, Portugal
(2) Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Campo Grande, 1749-016 Lisboa, Portugal
(*) A quem a correspondência deve ser dirigida, e-mail: pedro.alves@caetanocoatings.pt

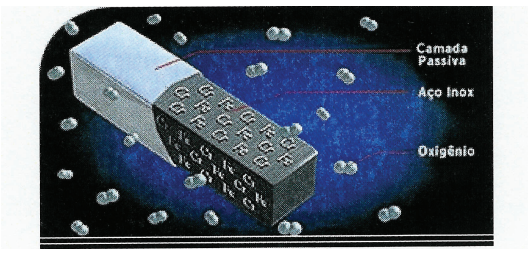

Fig. 1 – Filme passivo de aço inoxidável.

O mecanismo de protecção à corrosão do aço inoxidável, ou seja da formação do filme passivo, varia de liga para liga. E o grau de protecção é em função da espessura da camada de óxido. A passividade não é um estado constante. Quando as condições são favoráveis para manter a passividade, o aço inoxidável exibe pouca corrosão. Se a passividade é destruída sob condições que não permitem a restauração do filme passivo, então o aço inoxidável corrói-se, de modo semelhante a uma liga pobre de aço [1].

Antes de qualquer pintura, em qualquer tipo de peça é necessário proceder à protecção anticorrosiva, que normalmente consiste num pré-tratamento químico. O pré-tratamento assegura a qualidade do revestimento, promove uma boa aderência ao substrato e consequente a protecção anticorrosiva do mesmo. Para o pré-tratamento do aço inoxidável recorreu-se a um recente tipo de pré-tratamento químico na área da pintura automóvel e com base em silanos. Este pré-tratamento químico engloba os seguintes estágios: desengorduramento, lavagem, desoxidação, lavagem, lavagem com água desmineralizada, tratamento químico com silanos. Após a aplicação do pré-tratamento químico recorre-se à pintura das peças através de um processo de pintura a pó.

Os tratamentos de superfície à base de silanos têm vindo a ser desenvolvidos devido às suas características ecológicas, como alternativa aos tratamentos tóxicos e cancerígenos à base de crómio e outros metais pesados. Os estudos desenvolvidos a respeito da protecção anticorrosiva de metais que usam películas de silano, têm demonstrado que os silanos podem eficientemente proteger os metais de diferentes formas de corrosão [3-7]. Uma única película de silanos pode proteger metais da corrosão por 6 meses a 1 ano, sem recorrer a revestimentos. Os silanos para além de serem retardadores de corrosão são excelentes promotores de adesão de diferentes revestimentos por pintura, como poliuretanos, poliésteres e acrílicos [8-10].

Um outro interesse do uso dos silanos são as propriedades mecânicas, como a resistência ao risco, impacto e desgaste, das suas películas formadas à superfície do metal [11-12].

Os silanos são moléculas bifuncionais com a fórmula geral $Y\text{-}Si(OR)_3$. A principal vantagem decorrente da sua utilização é a promoção da aderência entre materiais orgânicos (exemplos, tintas) e inorgânicos (exemplos, metais). O grupo tri-alcóxi $Si(OR)_3$ corresponde à extremidade sílico-funcional que, em presença da água, é hidrolisada para formar grupos silanol Si-OH, originando moléculas de álcool. Os grupos silanol são consideravelmente reactivos e reagem entre eles por reacção de condensação (figura 2).

$$2OH - \underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{OH}{|}}{Si}} - Y \Rightarrow Y - \underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{OH}{|}}{Si}} - O - \underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{OH}{|}}{Si}} - Y + H_2O$$

Fig. 2 – Reacção de condensação das moléculas de silanol.

Os grupos silanol, para além das ligações entre si, permitem ligações com substratos inorgânicos, como metal e vidro. No caso do metal (aço inoxidável), que é o substrato em estudo, as moléculas silanol ligam-se aos óxidos presentes à superfície do metal através das ligações covalentes entre os grupos OH e o substrato (figura 3) constituindo assim, devido às consecutivas ligações, o filme de silano, uma camada uniforme que reveste o metal [11-12].

$$HO - \underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{OH}{|}}{Si}} - Y + M - OH \Rightarrow M - O - \underset{\underset{OH}{|}}{\overset{\overset{OH}{|}}{Si}} - Y + H_2O$$

Fig. 3 – Reacção entre as moléculas de silanol e a superfície do metal.

As ligações covalentes representadas por MOSi e SiOSi são responsáveis pela excelente ligação do filme de silano à superfície do metal [11]. O grupo organo-funcional (Y) pode ser um grupo alquil, aril, vinil, amina, epóxi, metacrilato. No caso do grupo Y ser um grupo alquil a camada de silanos apresentaria uma estrutura que se encontra representada da figura 4 [13-14].

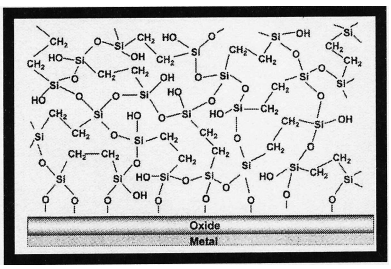

Fig. 4 – Estrutura modelo do filme/camada de silanos.

O estudo e desenvolvimento da aplicação dos silanos visa a substituição do crómio no tratamento de superfícies, mas os silanos também podem ser aplicados noutras superfícies metálicas, como no alumínio, zinco galvanizado, aço inoxidável, aço, etc [4, 15-16].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os tubos de aço inoxidável com forma cilíndrica (tubos ocos) com as seguintes dimensões: 200 mm de comprimento, 1 mm de espessura e 45 mm de diâmetro, foram fornecidos pela Empresa JAC Products Portugal, com o objectivo de testar um pré-tratamento químico para este tipo de material.

Os produtos utilizados no pré-tratamento das peças foram fornecidos pela Chemetall Lusitana, Lda, em que se utilizou um desengordurante alcalino no estado sólido, tensioactivo no estado líquido, desoxidante no estado líquido, aditivo ácido no estado líquido e o produto à base de silanos – *Oxsilan MM-0705* no estado líquido.

Para a realização do estudo deste novo pré-tratamento químico, realizaram-se 15 esquemas. De 1 ao 12, variaram-se vários parâmetros, como a concentração da desoxidação, a concentração do banho dos silanos e a temperatura de secagem, com o intuito de descobrir quais os parâmetros óptimos, a utilizar para o pré-tratamento químico de peças em aço inoxidável. Após esta série de esquemas, para uma melhor conclusão e com o objectivo de averiguar qual a gama de valores de concentração dos banhos dos silanos, realizaram-se os esquemas 13, 14 e 15.

Os esquemas em estudo apresentam-se na tabela 1. Cada estágio está representado por uma cor. No estágio da desoxidação, a tabela contém dois tipos de verde que corresponde às duas concentrações utilizadas, sendo o número 1 a concentração mais baixa e o número dois a concentração mais alta. No estágio dos silanos encontram-se 6 tons de rosa/roxo, estas representam as 6 concentrações utilizadas no decorrer deste estudo, sendo o número 1 a concentração mais baixa e o número 6 a concentração mais alta. Quanto à temperatura de secagem, utilizaram-se duas diferentes, representadas como 1 e 2 na tabela 1.

Tabela 1
Esquemas de pré-tratamento químico aplicados

Estágio	Esquemas																						
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Desengorduramento																							
Lavagem																							
Desoxidação			1		1	2			1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1
Lavagem																							
Silanos				3			3	3	1	1	1	1	3	3	3	3	6	6	6	6	2	4	5
T. Secagem		1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1

Legenda:

- Desoxidação: **1** – 100 g L^{-1} de desoxidante.
  2 – 200 g L^{-1} de desoxidante.
- Temperatura de Secagem: **1** – 100 ºC.
  2 – 140 ºC.
- Silanos: **1** – 20 g L^{-1} de produto com silanos.
  2 – 30 g L^{-1} de produto com silanos.
  3 – 50 g L^{-1} de produto com silanos.
  4 – 70 g L^{-1} de produto com silanos.
  5 – 100 g L^{-1} de produto com silanos.
  6 – 200 g L^{-1} de produto com silanos.

Após a respectiva secagem, aplicou-se em todas as peças um revestimento a pó utilizando uma resina epoxídica.

A caracterização efectuada ao revestimento das peças foi realizada, efectuando vários testes, como: observação visual e microscópica, para a análise de defeitos na pintura, espessura (norma GME 00 202 [17]), aderência pelo método da quadrícula (norma GME 60 401 [18]), resistência ao risco (norma GME 60 402 [19]), resistência à condensação e humidade constante (norma GME 60 202 [20]), resistência ao nevoeiro salino (norma GME 60 206 [21]) e resistência ao ensaio fervente (especificações da QUALICOAT [22]), para a avaliação quanto à corrosão da base e aderência do revestimento.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Identificação dos defeitos através da observação visual e microscópica

➢ Inclusão

Entre duas inclusões é difícil distinguir se os defeitos são defeitos de metal ou de pintura, para tal é necessário remover a tinta com a ajuda de uma lixa. Este defeito resulta de um deficiente desengorduramento ou de uma má concepção do metal.

➢ Pontos pretos / Lixo

Asperezas na película de tinta ou verniz, originadas pela presença de impurezas provenientes quer da própria tinta, quer do ambiente, da mudança de cor da tinta efectuada na cabina ou do suporte de aplicação.

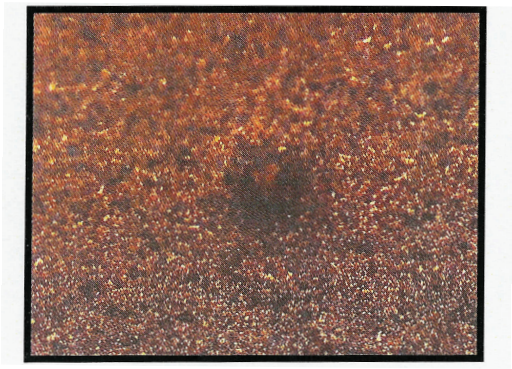

Fig. 5 – Fotografia microscópica de uma inclusão.

➢ Cratera

Pequenas áreas aproximadamente circulares em que se verificam depressões da película e que podem ou não descobrir a base de aplicação [23]. Este tipo de defeito pode resultar devido a um deficiente acondicionamento ou transporte, a impurezas no metal, contaminação do ar de pulverização ou a uma regulação incorrecta das proporções da mistura ar/pó fluidizado.

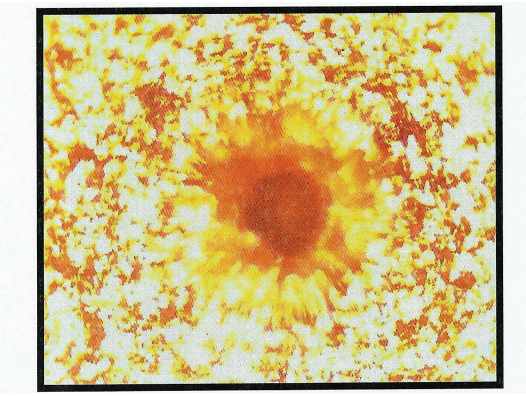

Fig. 6 – Fotografia microscópica de uma cratera.

➢ **Gordura / Sujidade**

Aparecimento de manchas originadas por um desengorduramento deficiente, ou então devido a impurezas provenientes do meio ambiente ou do suporte de aplicação.

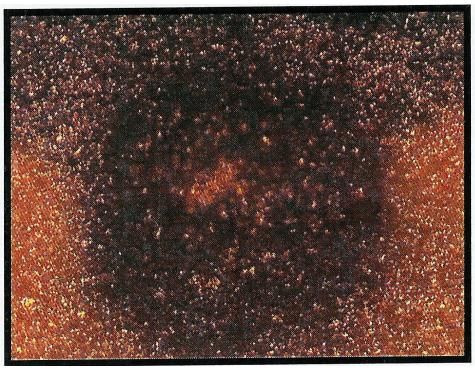

Fig. 7 – Fotografia microscópica de uma gordura.

3.2 Caracterização do revestimento quanto à corrosão e aderência

3.2.1 Espessura

Como já foi referido anteriormente, a espessura seca do revestimento deveria encontrar-se entre 40 μm e 100 μm, segundo a norma GME 00 202 [17]. No entanto como se pode verificar na tabela 2, as espessuras em algumas peças excederam esse valor. Tal pode ficar a dever-se ao facto de a pintura dos provetes ter sido realizada na linha de pintura em serviço e não sob as condições optimizadas especificamente para as peças em questão.

Apesar da espessura de algumas peças estarem fora de especificação, os resultados dos ensaios de laboratório não foram afectados por esta, pois os valores de espessura não estão muito afastados dos estipulados e os revestimentos apresentaram uma boa qualidade, com poucos defeitos e os defeitos existentes são de ordem estética, não interferindo nos resultados dos ensaios de laboratório efectuados.

Tabela 2

Resumo dos resultados aos testes realizados aos troços de peças pintadas

Esquemas	Testes								
	Obs. Visual e Microscópica	Espessura média (μm)	Aderência por quadrícula		Resistência ao risco	Resistência à condensação e humidade	Resistência ao N.S.		Resistência ao ensaio fervente
			Antes 144h N.S	Após 144h N.S.			Após 240h	Após 480h	
1	Boa qualidade de revestimento	103,3	√	√	√	√	√	√	X
2	Boa qualidade de revestimento	119,0	X	X	√	X	X	X	X
3	Boa qualidade de revestimento	102,8	√	√	√	√	√	X	√
4	Boa qualidade de revestimento	94,0	√	√	√	√	√	√	√
5	Boa qualidade de revestimento	88,0	√	√	√	√	√	√	√
6	Boa qualidade de revestimento	90,2	√	√	√	√	√	X	√
7	Boa qualidade de revestimento	86,6	√	√	√	√	√	X	√
8	Boa qualidade de revestimento	104,7	√	√	√	√	√	X	√
9	Boa qualidade de revestimento	114,6	√	√	√	X	√	X	√
10	Boa qualidade de revestimento	104,1	√	√	√	X	X	X	√
11	Boa qualidade de revestimento	101,9	√	√	√	X	√	X	√
12	Boa qualidade de revestimento	97,1	√	√	√	X	√	X	√
13	Boa qualidade de revestimento	110,3	√	√	√	√	√	√	√
14	Boa qualidade de revestimento	86,0	√	√	√	√	√	X	√
15	Boa qualidade de revestimento	95,7	√	√	√	√	X	X	√
16	Boa qualidade de revestimento	104,7	√	√	√	√	√	X	√
17	Boa qualidade de revestimento	114,6	√	√	√	X	√	X	√
18	Boa qualidade de revestimento	104,1	√	√	√	X	X	X	√
19	Boa qualidade de revestimento	101,9	√	√	√	X	X	X	√
20	Boa qualidade de revestimento	97,1	√	√	√	X	X	X	√
21	Boa qualidade de revestimento	110,7	√	√	√	√	√	√	√
22	Boa qualidade de revestimento	86,0	√	√	√	√	√	√	√
23	Boa qualidade de revestimento	95,7	√	√	√	√	√	X	√

Nota: A marca (√) identifica os resultados obtidos dentro das especificações das respectivas normas, a marca (X) identifica os resultados obtidos fora das especificações das respectivas normas. Para uma melhor percepção dos esquemas que estão dentro das especificações (Esquema 4, 5, e 13, 21 e 22), preencheu-se a cor as linhas referentes.

3.2.2 Aderência pelo método da quadrícula

A aderência pelo método da quadrícula permite avaliar qualitativamente o grau de aderência entre o substrato metálico e o revestimento.

Analisando a tabela 2 verifica-se que as peças que não estiveram sujeitas aos ensaios de envelhecimento acelerado, tiveram um excelente grau de aderência, com excepção das peças correspondentes ao esquema 2, que mantiveram o resultado grau máximo após exposição na câmara de nevoeiro salino. Este resultado era de prever, visto o pré-tratamento aplicado efectuar uma limpeza às peças sem prepará-las devidamente para a pintura, não existindo nenhum estágio que crie rugosidade (desoxidação), factor importantíssimo para uma boa aderência da tinta, ou que se comporte como promotor de aderência (silanos).

Nos resultados relativos ao ensaio fervente verifica-se que os esquemas 1 e 2 apresentam grau máximo. Este facto era também o esperado, visto não apresentar nenhum pré-tratamento

às peças, apenas limpeza. É importante referir que o pré-tratamento é o primeiro passo e de grande importância para obter um bom revestimento, de qualidade e de grande duração.

Era de esperar que outros esquemas que sofreram lacunas propositadamente tivessem alguma falta de aderência nos ensaios de envelhecimento, de nevoeiro salino ou ensaio fervente.

Por exemplo no esquema 3, onde não houve desengorduramento, esperava-se que em algum dos ensaios as peças apresentassem alguma falta de aderência devido à presença de sujidades e óleo, visto este estágio ser muito importante no pré-tratamento químico de qualquer tipo de peças, para que haja uma boa aderência do revestimento. Uma possível explicação do resultado talvez se encontre no facto, das peças apresentarem pouca sujidade e pouca quantidade de óleo, sendo removido nos estágios restantes.

3.2.3 Resistência ao risco

Pela análise da tabela 2 verifica-se que o resultado do ensaio de resistência ao risco (dureza) foi idêntico em todas as peças de todos os esquemas. Todas as peças manifestaram conter um revestimento com boas características de dureza, tendo todos conseguido uma classificação aceitável segundo a norma GME 60 402 [19].

Estes resultados eram esperados uma vez que a dureza é uma propriedade do revestimento e como tal não sofre grande influência do pré-tratamento, sendo essa influência mínima ou mesmo nula.

3.2.4 Resistência à condensação e humidade constante

Os resultados obtidos neste ensaio foram mais esclarecedores em relação à eficácia de cada etapa do pré-tratamento químico.

Relativamente ao esquema 1, era de esperar que as peças apresentassem alterações na superfície, visto ser o esquema que não levou nenhum tipo de tratamento.

Nas peças do esquema 2 verificou-se alterações na superfície, pelo que a sua explicação se encontra já referida na explicação dos ensaios de aderência.

Todas as peças que foram tratadas com a concentração mais baixa e a concentração mais alta de silanos, apresentaram empolamentos no revestimento após o ensaio de resistência à condensação e humidade constante. Para este facto existem duas possíveis explicações, uma delas será o estágio da lavagem, que poderia estar contaminando com sais minerais, provocando após a exposição na câmara de condensação e humidade constante o aparecimento de empolamentos, o que é pouco provável visto ter-se procedido à mudança de água regularmente de esquema para esquema. A outra explicação será o próprio tratamento aplicado às peças, não reunir as condições ideais. Analisando os resultados dos oito esquemas em que se variou a concentração da desoxidação e a temperatura de secagem, mantendo-se em quatro a concentração mais baixa de silanos e nos outros quatros a concentração mais alta de silanos, pode-se concluir que o problema desta falta de aderência reside na concentração aplicada de silanos, concluindo-se também, que concentração a menos ou a mais causa falta de aderência.

Os ensaios de envelhecimento acelerado demonstram que os revestimentos não são totalmente impermeáveis, e este ensaio é prova disso. O revestimento deixou passar água, ficando esta em contacto com o metal, o factor que deve ter influenciado esta permeabilidade foi um pré-tratamento não adequado, que não permitiu em certos locais do revestimento uma boa ligação do metal ao revestimento.

3.2.5 Resistência ao nevoeiro salino

Fazendo a análise dos resultados obtidos da exposição ao nevoeiro salino durante 240 horas e 480 horas, é possível verificar que o esquema 2 continua a não passar nas especificações dos ensaios de envelhecimento acelerado. Enquanto que o esquema 1 continua a passar nessas mesmas especificações, o que não era esperado, visto este esquema não conter qualquer tipo de tratamento da superfície, apenas se procedeu à aplicação do revestimento sobre o metal.

Quanto ao esquema 3 e 6 verifica-se que só após as 480 horas é que as peças manifestam alguma falta de aderência. Pode concluir-se com estes resultados que apesar da desoxidação provocar rugosidade na superfície metálica, esta não é suficiente para garantir a adesão do revestimento ao metal. Verifica-se que o banho dos silanos e o desengorduramento são estágios necessários para garantir uma boa aderência do revestimento.

No esquema 4 era de esperar uma fraca aderência, visto que não houve o primeiro estágio do pré-tratamento químico, o desengorduramento, que é dos passos mais importantes do pré-tratamento químico para que haja uma boa adesão do revestimento a pó, como já foi referido.

No esquema 5, era de esperar o mesmo resultado do esquema 6, pois como não ocorreu o estágio dos silanos, excelentes promotores de adesão, após uma longa exposição em nevoeiro salino devia verificar-se alterações no revestimento.

Quanto aos esquemas 7 e 8 que após as 480 horas em nevoeiro salino manifestaram alteração no revestimento, estes resultados provam a importância do estágio da desoxidação neste pré-tratamento químico, que para além de promover adesão também elimina possíveis óxidos da superfície metálica.

Os resultados atrás analisados manifestam a importância da presença de todos os estágios no tratamento das peças em questão. De seguida, analisaremos os resultados dos esquemas em que se variou as concentrações dos banhos da desoxidação e dos silanos, bem como a temperatura de secagem. Estes esquemas foram efectuados com o intuito de descobrir as condições óptimas deste pré-tratamento químico para este tipo de metal, aço inoxidável.

Relativamente aos esquemas 9, 10, 11 e 12, este ensaio de envelhecimento acelerado veio confirmar a conclusão obtida na análise aos resultados do ensaio de resistência à condensação e humidade constante, baixa concentração de silanos provoca falta de aderência.

A série de esquemas 13, 14, 15 e 16, em que se variou a concentração do banho da desoxidação e a temperatura de secagem mantendo a mesma concentração de silanos, verificou-se

que só o esquema 13 teve resultados dentro das especificações. Com esta série de esquemas concluiu-se que a melhor concentração de desoxidação era a mais baixa (50 g L^{-1}) e que a melhor temperatura de secagem também. Quanto à gama de concentração do banho de silanos ainda não se concluiu nada.

Nos esquemas 17, 18, 19 e 20, todos os ensaios falharam nas especificações, apenas o esquema 17 só falhou aos 480 horas de exposição em nevoeiro salino. Este resultado também era previsível face aos resultados obtidos nestes esquemas ao ensaio da resistência à condensação e humidade constante.

Os esquemas 21, 22 e 23 foram efectuados, de modo a verificar quais as concentrações de silanos ideais para este tipo de pré-tratamento. Até aqui verificou-se que a concentração mais baixa (20 g L^{-1}) provocava falta de aderência e que a concentração mais alta (200 g L^{-1}) também.

Nesta série de esquemas verificou-se que só o esquema 23 apresentou alterações no revestimento. Verificamos assim que as concentrações dos esquemas 13, 21 e 22 são as concentrações adequadas para o pré-tratamento às peças de aço inoxidável. A gama de concentração vai de 30 g L^{-1} a 70 g L^{-1}.

3.2.6 Resistência ao ensaio fervente

Os resultados do teste de resistência ao ensaio fervente encontram-se na tabela 2 que mostra que o esquema 1 não se encontra dentro das especificações, sendo o único ensaio de envelhecimento acelerado em que tal facto se manifestou.

4. CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos nos vários ensaios de caracterização do revestimento aplicado em peças de aço inoxidável é possível tirar algumas conclusões:

1. O ensaio de envelhecimento acelerado mais conclusivo é o ensaio de exposição em nevoeiro salino. Foi através deste ensaio que se conseguiu concluir quais são as condições ideais de trabalho para o pré-tratamento químico em questão.

2. Um adequado pré-tratamento químico da superfície metálica é essencial para se obter uma boa adesão entre o revestimento e o subtrato. Apesar do esquema 1 não ter demonstrado este facto, todos os outros esquemas em conjunto demonstraram que um pré-tratamento com as condições ideais de operação permite a obtenção de um revestimento de qualidade, com boas características de aderência e durabilidade.

3. Os silanos manifestaram ter um bom comportamento anticorrosivo e de promoverem a adesão, face às "atmosferas artificiais produzidas".

4. O substrato metálico em estudo, aço inoxidável, demonstrou a sua incomparável resistência à corrosão, que é superior à dos outros aços comuns.

5. Os esquemas que reuniram as melhores condições para o pré-tratamento químico de peças em aço inoxidável foram os esquemas 13, 21 e 22.

6. Em termos económicos, o esquema escolhido é o esquema 21 (30 g L^{-1}), uma vez que implica uma menor quantidade de produtos na preparação do banho dos silanos.

5. VANTAGENS DO PRÉ-TRATAMENTO QUÍMICO À BASE DE SILANOS

A aplicação dos silanos em superfícies metálicas, na preparação para a pintura das mesmas, tem várias vantagens, como [3-5,14]:

– Aplicação multi-metal;
– Óptima protecção à corrosão;
– Óptima "performance" para a pintura;
– Óptima aderência a qualquer tipo de pintura;
– Acabamento sem lavagem ("no-rinse");
– Espessura de camada auto-controlada.

Vantagens ambientais:

– Reduzidos custos no tratamento de efluentes;
– Ausência de gaseificação perigosa e cancerígena;
– Não contém metais pesados.

Vantagens para o utilizador:

– Manuseamento seguro;
– Controlo do banho muito simplificado;
– Reduzidos riscos de explosão.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às empresas, JAC Portugal, pelo fornecimento dos tubos em aço inoxidável e à Chemetall Lusitana, Lda, pelo fornecimento dos produtos referentes aos respectivos banhos do pré-tratamento químico em estudo.

REFERÊNCIAS

[1] Metals Handbook, 9th ed., v. 3, American Society for Metals, Ohio, EUA (1980).
[2] O que é o aço Inox?: http://mundinox.planetaclix.pt/inox.htm.
[3] B. CHICO *et al.*, *Prog. Org. Coat.*, 60, 1, 45 (2007).
[4] M. F. MONTEMOR *et al.*, *Prog. Org. Coat.*, 57, 1, 67 (2007).
[5] W. TRABELSI *et al.*, *Prog. Org. Coat.*, 54, 4, 276 (2007).
[6] L. CECCHETTO *et al.*, *Appl. Surf. Sci.*, 254, 1736 (2008).
[7] G. LI *et al.*, *Surf. Coat. Technol.*, 201, 24, 9571 (2007).
[8] N. G. CAVE and A. J. KINLOCH, *Polym.*, 33, 6 (1992).
[9] U. BEXELL and T. M. GREHK, *Surf. Coat. Technol.*, 201, 8, 4734 (2007).

[10] F. DEFLORIAN, S. ROSSI and L. FEDRIZZI, *Electrochem. Acta*, 51, 27, 6097 (2006).
[11] V. PALANIVEL, D. ZHU and V. OOIJ, *Prog. Org. Coat.*, 47, 384, (2003).
[12] K. JORDENS and G. WILKES, *J. Macromol. Sci., Part A*, 38, 2, 185 (2001).
[13] Borup, Degussa, *Degussa promove uso dos silanos em tintas*: http://www.quimica.com.br/revista/qd410/actualidades7.htm.
[14] Standard Presentation, *Silane Technology*, Chemetall Lusitana (2003).
[15] F. SINAPI *et al.*, *Surf. Interface Anal.*, 36, 1484 (2004).
[16] D. ZHU and W. VAN OOIJ, *Prog. Org. Coat.*, 49, 42 (2004).
[17] GME 00 202 – General Specification All Vehicle.
[18] GME 60 401 – Test Method – Crosos Hatch Test of Organic Coatings.
[19] GME 60 402 – Test Method – Test Method for Determining the Scratch Resistance of Organic Coatings.
[20] GME 60 202 – Test Method – Determination of the Resistance of Automotive Components to High Humidity Environments.
[21] GME 60 206 – Test Method – Determination of Resistance to Corrosion of Automotive Components by Salt Spray Fog Testing.
[22] Specifications for "Quality Label for Paint, Lacquer and Powder Coatings on Aluminium for Architectal Applications", 10th Edition, Qualicoat (2003).
[23] EN ISO 4618:2006 (Ed. 1) (Paints and varnishes. Terms and definitions) (ISO 4618:2006).