



## **EFEITO DAS MICROTRINCAS DOS ELETRODEPÓSITOS DE CROMO DURO ADITIVADO E CONVENCIONAL NO AÇO DE USO AERONÁUTICO - ABNT 4340.**

### **Marcelino P. Nascimento**

Universidade Estadual Paulista - UNESP/FEG - Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - Guaratinguetá/SP - CEP: 12500-000 - FAX: (012) 525-2466.

### **Walter L. Pigatin**

EMBRAER/EDE - Rua Itabaiana, 40 - Parque Industrial - São José dos Campos/SP - CEP: 12237-540 - FAX: (012) 331-1300.

### **Renato C. Souza**

Faculdade de Engenharia Química de Lorena - FAENQUIL/DEMAR - Campus II - Polo Urbo-Industrial - Gleba A1-6 - Lorena/SP - CEP: 12600-000 - TEL.: (012) 553-1000.

### **Herman J. C. Voorwald**

Universidade Estadual Paulista - UNESP/FEG - Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333 - Guaratinguetá/SP - CEP: 12500-000 - FAX: (012) 525-2466.

***Resumo.** O objetivo deste trabalho foi o de analisar comparativamente as densidades de microtrincas dos revestimentos de cromo duro convencional (com catalizador simples: sulfato) e aditivado (com catalizador duplo: um com sulfato e outro isento de fluoreto) e suas influências no comportamento em fadiga por flexão rotativa do aço de alta resistência e baixa liga, ABNT 4340, amplamente utilizado em trens de pouso de aeronaves. Os resultados obtidos demonstraram, primeiramente, uma maior densidade de microtrincas encontradas nos eletrodepósitos de cromo duro aditivado, associada ao pior desempenho em fadiga por flexão rotativa em relação ao revestimento de cromo duro convencional.*

***Palavras-chave:** Microtrincas em cromo duro, Fadiga e eletrodeposição, Aço de alta resistência, Fadiga e corrosão, Tratamento de superfície.*

## **1. INTRODUÇÃO**

O aço de alta resistência e baixa liga, ABNT 4340, é amplamente empregado em componentes de trens de pouso de aeronaves devido às altas cargas de carregamento, provenientes principalmente da decolagem e aterrissagem, a que este equipamento está submetido (Godefroid, 1993). Devido a essas solicitações, a fadiga de aeronaves tornou-se um sério problema de segurança aérea já nas décadas de 1950 e 1960 e, desde então, tem recebido grande atenção de projetistas e autoridades aeronáuticas e sido objeto de extensivas investigações (Payne, 1976). Além de fadiga, as aeronaves estão sujeitas à ação de ambientes agressivos, principalmente marítimos, os quais possibilitam o aparecimento de pites de

corrosão que sob carregamento, transformam-se em concentradores de tensão e aceleradores do processo de fadiga (corrosão-fadiga). Para controlar este problema, a indústria aeronáutica se utiliza de tratamentos superficiais resistentes à ação corrosiva do ambiente, dentre os quais destacam-se os eletrodepósitos de cromo duro (Vasconcelos, 1992).

A eletrodeposição de cromo duro é um processo já bem estabelecido na produção de revestimentos funcionais em componentes de engenharia e cujas características básicas são: alta dureza, resistência ao desgaste e corrosão e baixo coeficiente de atrito (Lin, *et al*, 1992). São amplamente utilizados em componentes de motores de combustão interna, cilindros hidráulicos, rolamentos, bombas, anéis de pistões (Bolles, 1995), trens de pouso de aeronaves, etc. Em trens de pouso, encontram aplicações em pistões de amortecedores, cilindros hidráulicos e eixos das rodas, devido principalmente as suas já citadas e excelentes resistências ao desgaste e corrosão.

Cromo duro é um termo utilizado para descrever eletrodepósitos de espessura maior que 2,5  $\mu\text{m}$ . O termo “microtrinca” refere-se àquela que não se estende por toda a espessura do revestimento e compreende, também, redes de trincas superficiais, visíveis em ampliações relativamente baixas. A densidade de microtrincas varia em função do tipo de banho utilizado e, dependendo de sua aplicação, podem ser desejáveis em revestimentos de cromo, pois, depósitos de cromo livres de microtrincas não são tão duros e, em espessuras acima de 10  $\mu\text{m}$ , tendem à formar macrotrincas, expondo o substrato e acelerando o processo de corrosão/corrosão-tensão (Jones, 1989).

Microtrincas surgem a partir de 0,5  $\mu\text{m}$  de espessura (Lin *et al*, 1992) e formam-se durante a eletrodeposição quando a tensão residual de tração excede a resistência coesiva do cromo. Esta tensão aumenta com a espessura do revestimento, provocando “microtrincamentos” como forma de alívio (Jones, 1989). Surgem com a decomposição de hidretos de cromo que são formados pela adsorção de hidrogênio do eletrólito durante o processo de eletrodeposição. Esta decomposição, produzindo cromo e liberando hidrogênio, causa uma redução de cerca de 15% no volume do depósito, introduzindo tensões de tração e, conseqüentemente, trincamentos no revestimento (Lin *et al*, 1992).

Apesar de as microtrincas propiciarem alívio das tensões residuais de tração no depósito, estas continuam elevadas principalmente na superfície (em torno de 800 MPa), diminuindo em direção ao núcleo (200 MPa - 300 MPa) e elevando-se novamente na interface a valores que dependem do material do substrato (Pina *et al*, 1997). A ação combinada entre tensões residuais de tração e microtrincas reduz o comportamento em fadiga de um componente revestido com cromo.

Nos últimos anos, pressões para encontrar alternativas à eletrodeposição de cromo têm acelerado dramaticamente (Kuo *et al*, 1997). Enquanto não é provável que o processo seja completamente banido, a tendência aponta para severas limitações ou melhorias. Uma das mais viáveis alternativas é o processo de revestimento por aspersão térmica. Recentes avanços em *high velocity oxy-fuel* (HVOF), têm oferecido alternativas tecnológica e ambientalmente seguras, limpas e viáveis ao revestimento de cromo (Bolles, 1995) (Bodger *et al*, 1997).

No entanto, revestimentos de cromo por eletrodeposição têm outras propriedades físicas e mecânicas que o torna ideal para várias aplicações (Guillemette, 1993) e, em função disto, fabricantes de trens de pouso e companhias de transportes aéreos estão relutantes a sua mudança até que um processo alternativo possua um desempenho ao menos equivalente (Bodger *et al*, 1997).

Este estudo visa observar as densidades de microtrincas dos revestimentos de cromo duro aditivado (com catalizador duplo: um a base de sulfato e outro isento de fluoreto) e convencional (com catalizador simples a base de sulfato), e suas influências no comportamento em fadiga por flexão rotativa do aço de alta resistência e aplicação aeronáutica, ABNT 4340,

além de analisar a superfície de fratura através das microscopias eletrônica de varredura e óptica.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material

O material empregado foi o aço ABNT 4340, amplamente utilizado em trens de pouso de aeronaves, onde alta resistência mecânica e tenacidade são exigências fundamentais de projeto. Os resultados da análise de sua composição química estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição química do aço ABNT 4340.

Composição %	C	S	Mn	Cr	Ni	Mo
Especificado	0,38-0,43	0,25 máx.	0,60-0,80	0,70-0,90	1,65-2,00	0,20-0,30
Encontrado	0,39	<0,01	0,69	0,74	1,70	0,23

### 2.2. Métodos

**Procedimentos para ensaios de tração e fadiga.** Os corpos de prova foram confeccionados de barras de  $\varnothing 16\text{mm}$ , fornecidas temperadas em forno de atmosfera controlada a  $815\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 45 min, com resfriamento em óleo entre  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , e revenidas a  $520\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 2 horas. O tratamento térmico resultou em estrutura martensítica com dureza de 39 HRC.

Os corpos de prova para ensaios de tração foram confeccionados conforme a norma ASTM E 8M. Os ensaios foram realizados no equipamento universal modelo Otto Volpert com 196.000 N de capacidade, a temperatura ambiente.

As dimensões dos corpos de prova para ensaios de fadiga por flexão rotativa estão ilustradas na Fig. 1 e de acordo com os critérios do fabricante do equipamento, modelo UBM 520/86/9 - Veb Werkstoffprufmaschinen Leipzig.

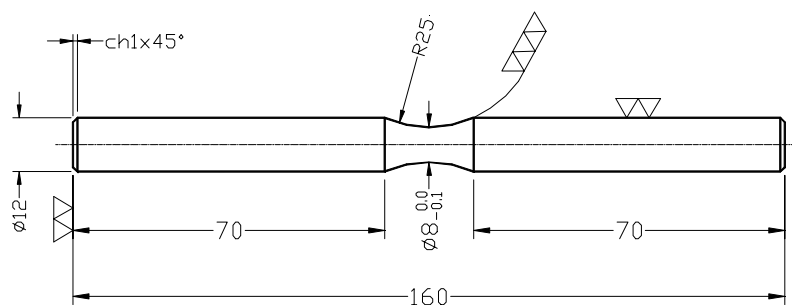


Figura 1 - Dimensões do corpo de prova para ensaio de fadiga por flexão rotativa.

Após a confecção final, os corpos de prova de fadiga por flexão rotativa foram polidos com lixa de granulometria 600 na região central ( $R=25$ ), inspecionados por partículas magnéticas e submetidos a um tratamento térmico para alívio de tensões, com aquecimento a  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 4 horas e resfriamento ao ar calmo, antes do processo de eletrodeposição.

Os ensaios foram realizados à 3.000 rpm, razão  $R = -1$  (flexão rotativa), temperatura ambiente, considerando  $10^7$  ciclos como limite de fadiga e obedecendo a seguinte ordem:

- corpos de prova do material base;
- corpos de prova do material base e revestidos com 100  $\mu\text{m}$  de cromo duro aditivado e
- corpos de prova do material base e revestidos com 160  $\mu\text{m}$  de cromo duro convencional.

**Procedimentos para eletrodeposição.** A eletrodeposição de cromo duro convencional foi realizada em uma solução contendo 250 g/L de ácido crômico e 2,5 g/L de ácido sulfúrico, com densidade de corrente de 31 A/dm<sup>2</sup> a 46 A/dm<sup>2</sup> e velocidade de deposição de 20  $\mu\text{m}/\text{h}$  a 30  $\mu\text{m}/\text{h}$ , entre 50 °C a 55 °C.

A eletrodeposição de cromo duro aditivado foi realizada em uma solução contendo 250 g/L de ácido crômico e 2,7 g/L de ácido sulfúrico, com densidade de corrente de 55 A/dm<sup>2</sup> a 65 A/dm<sup>2</sup>, entre 55 °C e 60 °C. Foi utilizado um banho com catalizador duplo, sendo um a base de sulfato e outro isento de fluoreto, em solvente clorado e com velocidade de deposição de 80  $\mu\text{m}/\text{h}$ .

Antes da eletrodeposição os corpos de prova foram limpos por desengraxante alcalino, desoxidados e submetidos a ataque anódico entre 15 a 30 A/dm<sup>2</sup>, durante 1 a 3 minutos. Após a eletrodeposição, os corpos de prova foram submetidos a tratamento térmico de desidrogenação por 8 horas a 190 °C.

**Procedimento para determinação de microtrincas.** As amostras foram confeccionadas com 25 mm x 25 mm x 1 mm de espessura, de chapa normalizada de aço ABNT 4340 e revestidas com cromo duro aditivado e cromo duro convencional, ambos com 100  $\mu\text{m}$  de espessura. As microtrincas foram reveladas superficialmente através de ataque anódico, durante 30 segundos, com densidade de 15 A/dm<sup>2</sup> a 30 A/dm<sup>2</sup>, no próprio banho de cromagem e, posteriormente, analisadas através de microscopia óptica.

A rugosidade máxima de ambos os revestimentos de cromo duro foi de 12  $\mu\text{m}$  RMS, verificada através do rugosímetro modelo Mitutoyo 301.

**Análise das fraturas.** As análises das superfícies de fratura dos corpos de prova ensaiados em fadiga por flexão rotativa foram realizadas por imagens obtidas nos microscópios eletrônicos de varredura modelos LEO 435 vpi e Zeiss DSM 950 do Departamento de Materiais do Centro Técnico Aeroespacial - CTA/AMR - e microscópio óptico do banco metalográfico, modelo Neophot 21 do Departamento de Materiais e Tecnologia da UNESP/FEG.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Ensaios de tração

Os resultados do ensaio de tração confirmaram as propriedades mecânicas especificadas pela norma MIL-HDBK-5.

#### 3.2. Ensaios de fadiga por flexão rotativa

A Figura 2 apresenta os resultados dos ensaios de fadiga por flexão rotativa dos corpos de prova do material base, corpos de prova revestidos com 160  $\mu\text{m}$  de cromo duro convencional e corpos de prova revestidos com 100  $\mu\text{m}$  de cromo duro aditivado.

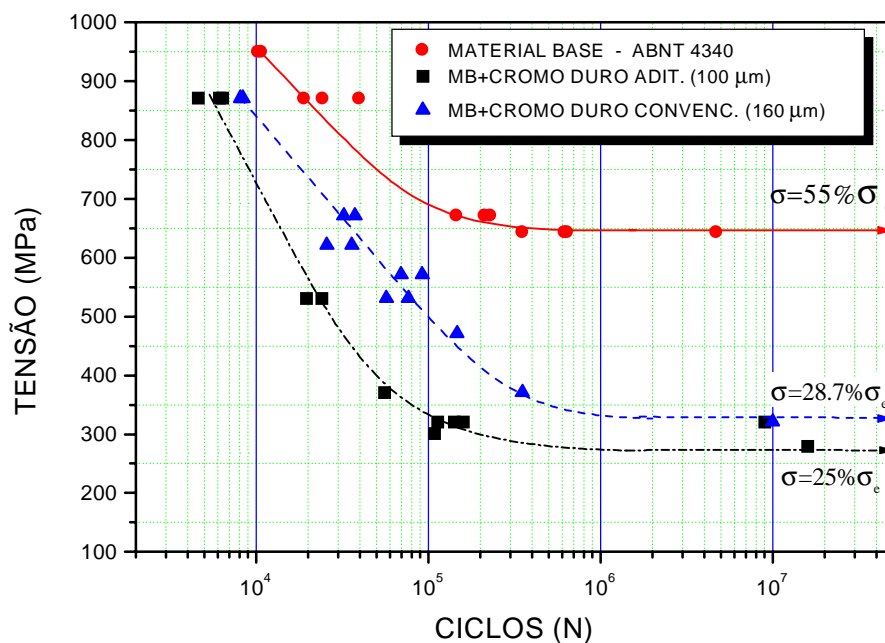


Figura 2 - Gráfico comparativo dos resultados dos ensaios de fadiga por flexão rotativa.

Os resultados ilustrados na Fig. 2 claramente demonstram, primeiramente, o efeito prejudicial de ambos os revestimentos no comportamento em fadiga por flexão rotativa do aço ABNT 4340, isto é, as resistências à fadiga dos corpos de prova revestidos foram menores em todos os níveis de tensão, em relação aos corpos de prova sem revestimentos. Este comportamento foi mantido em relação aos respectivos limites de resistências à fadiga ( $10^7$ ). A Tabela 3 apresenta as resistências à fadiga dos grupos de corpos de prova em baixo ( $10^4$ ) e alto ( $10^5$ ) ciclos, bem como seus respectivos limites de fadiga, com base nas tendências apresentadas pelas curvas da Fig. 2.

Tabela 3 - Valores das resistências à fadiga e limites de fadiga para os três grupos de corpos de prova.

RESISTÊNCIAS À FADIGA			
GRUPO	BAIXO CICLO ( $10^4$ )	ALTO CICLO ( $10^5$ )	LIMITE ( $10^7$ )
MATERIAL BASE	≈950 MPa (85% $\sigma_e$ )	≈680 MPa (60% $\sigma_e$ )	≈615 MPa (55% $\sigma_e$ )
CROMO ADITIVADO	≈730 MPa (65% $\sigma_e$ )	≈340 MPa (30% $\sigma_e$ )	≈280 MPa (25% $\sigma_e$ )
CROMO CONVENCIONAL	≈840 MPa (75% $\sigma_e$ )	≈500 MPa (45% $\sigma_e$ )	≈321 MPa (29% $\sigma_e$ )

Este comportamento deve-se ao fato de que a vida em ciclos necessária para a nucleação de uma trinca, bem como sua propagação até um tamanho estável, é eliminada com a pré-existência das mesmas na superfície e ao longo da espessura dos revestimentos (sub-superfície), regiões estas responsáveis pela iniciação do processo de fadiga em geral.

As microtrincas presentes ao longo do revestimento surgem em função das altas tensões residuais de tração influenciando o comportamento em fadiga da peça revestida.

### 3.3. Análise das fraturas

A Figura 3 apresenta as superfícies de fratura dos corpos de prova revestidos com cromo duro convencional e aditivado.

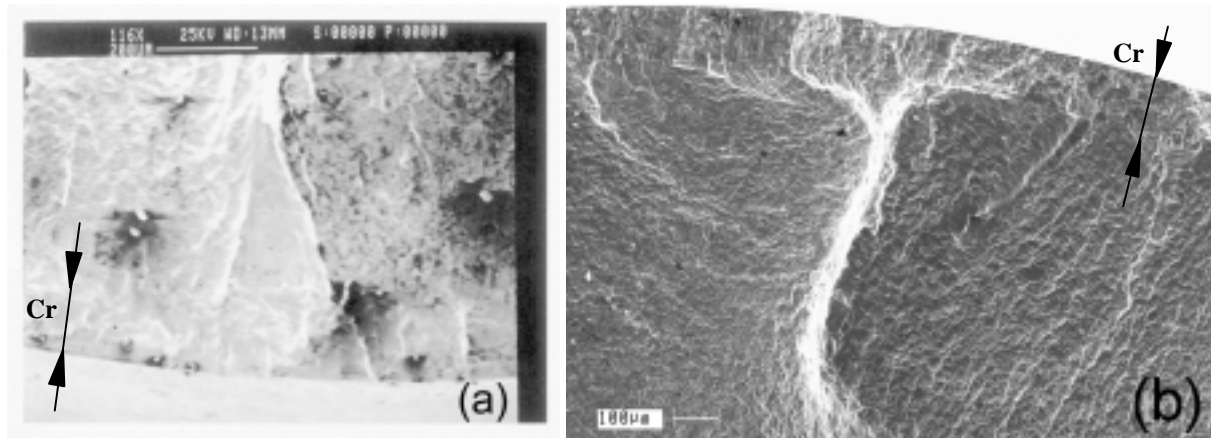


Figura 3 - Superfícies típicas de fratura de corpos de prova revestidos com cromo duro convencional (a) e aditivado (b) e ensaiados a 33,2%  $\sigma_e$  (371 MPa).

Na Figura 3 observam-se várias frentes de propagação lenta de trincas, tanto na superfície e núcleo do revestimento como na interface do mesmo com o substrato. Para as duas condições mostradas, nota-se o coalescimento e convergência das trincas em direção ao interior do material base, indicando processo lento de fratura e consumo de grande parte da vida em ciclos.

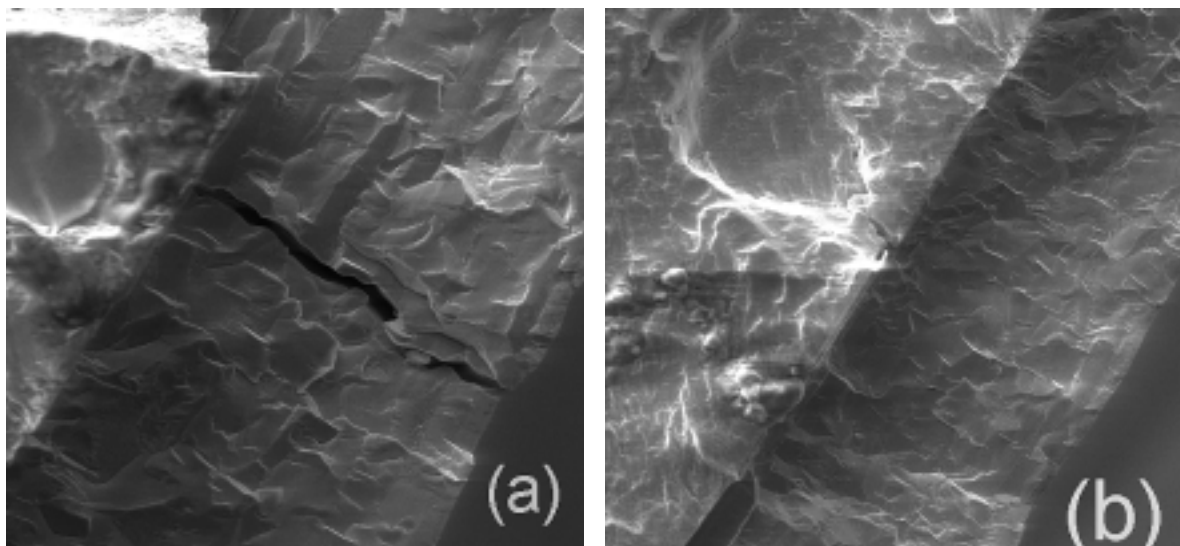


Figura 4 - M.E.V. das superfícies de fratura de corpos de prova revestidos, ambos com cromo duro aditivado (a-500x / b-300x), e ensaiados a 78%  $\sigma_e$  (871 MPa).

A Figura 4 apresenta as superfícies de fratura de dois corpos de prova revestidos com cromo duro aditivado e ensaiados em baixo ciclo. Observam-se a homogeneidade da camada e sua forte aderência ao material base, e microtrincas distribuídas ao longo da espessura de forma radial. A Figura 4a apresenta a ruptura da camada do revestimento ao longo de toda a

sua espessura, e a Figura 4b apresenta trincas que iniciaram-se a partir da interface revestimento/substrato.

### 3.4. Microtrincas

As Figuras 5 e 6 apresentam redes superficiais de microtrincas em ambos os revestimentos, reveladas após ataque anódico.

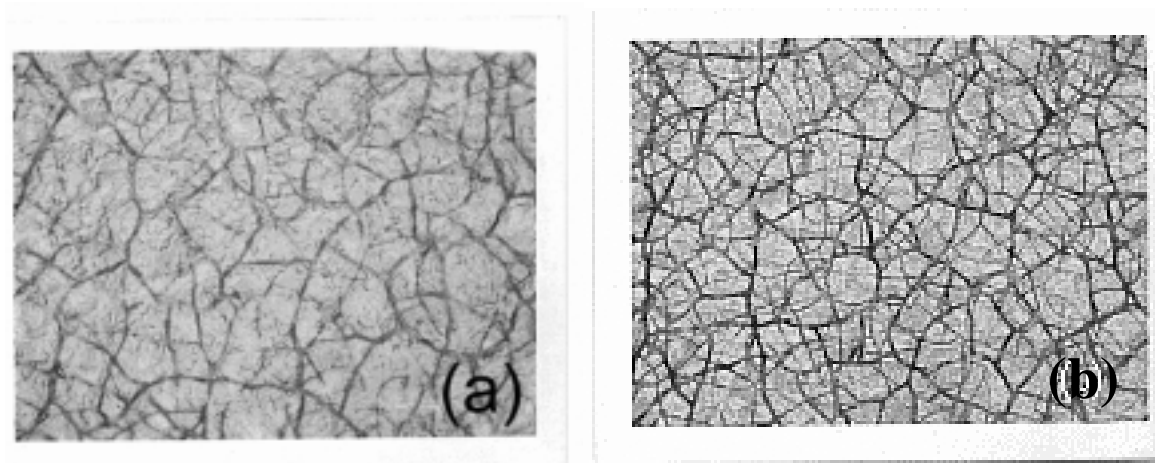


Figura 5 (200x): Microscopia óptica da rede superficial de microtrincas em revestimento de cromo duro convencional (a) e aditivado (b). Ataque anódico-15 a 30 A/dm<sup>2</sup>-30 segs.

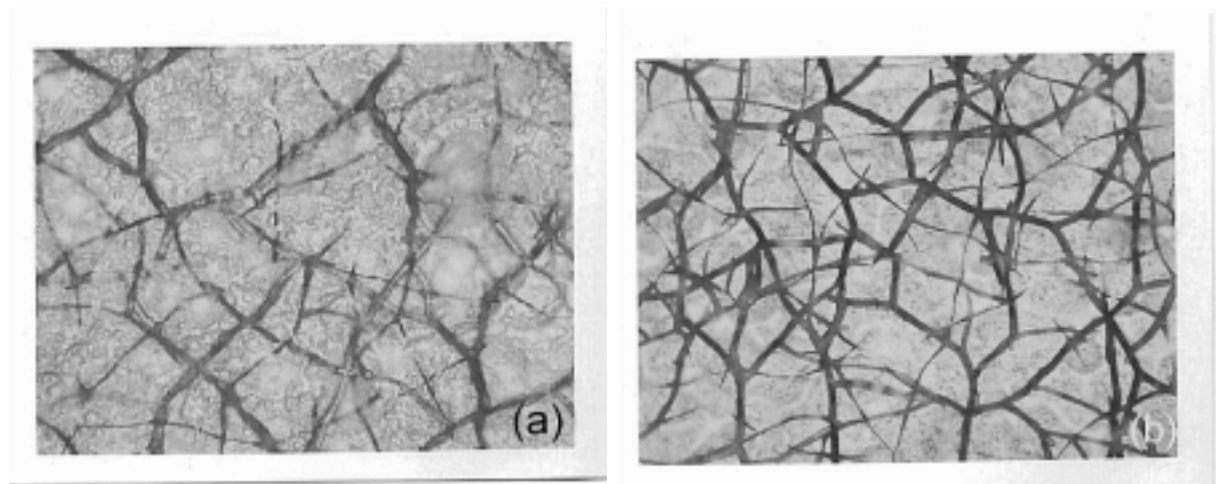


Figura 6 (400x) - Microscopia óptica, com maior ampliação, da rede superficial de microtrincas em revestimento de cromo duro convencional (a) e aditivado (b). Ataque anódico - 15 a 30 A/dm<sup>2</sup>-30 segs.

Observa-se nas Figs. 5 e 6 uma rede superficial de microtrincas mais densa nos revestimentos de cromo duro aditivado em relação aos revestimentos de cromo duro convencional. Isto deve-se às altas tensões residuais de tração geradas pela adsorção/absorção e liberação do hidrogênio do depósito, durante o processo (Jones, 1989) (Lin, *et al*, 1992).

Levantamento das microdurezas com 100 g de carga, demonstraram valores maiores para revestimentos com cromo duro aditivado (930 HV - 1000 HV) em relação ao cromo duro convencional (870 HV), comprovando os estudos realizados por Jones (1987) que constatou haver uma correlação entre densidade de microtrincas e microdureza e ambas maiores para os revestimentos de cromo duro provenientes de banhos com catalizadores duplos.

## 4. DISCUSSÃO

### 4.1. Densidade de microtrincas

Os resultados apresentados neste trabalho demonstraram claramente uma maior densidade de microtrincas nos revestimentos de cromo duro aditivado em relação ao cromo duro convencional, em função de haver maiores tensões residuais de tração no primeiro, o que é confirmado também pela sua maior dureza.

Pina *et al* (1997) demonstraram que a densidade de microtrincas varia ao longo da espessura, sendo mais intensa no núcleo do revestimento e fraca tanto na interface (devido ao balanço com as tensões residuais do substrato), como na superfície, onde apresentam-se em forma de rede, sem direção preferencial e caracterizando um estado de tensão residual equibiaxial.

### 4.2. Fadiga por flexão rotativa

Os resultados dos ensaios de fadiga por flexão rotativa demonstraram o efeito prejudicial de ambos os revestimentos no comportamento do aço ABNT 4340. As causas são atribuídas à vários fatores, como por exemplo: altas tensões residuais de tração contidas nos revestimentos, microtrincas geradas por estas tensões residuais e que quando submetidas a carregamentos externos transformam-se em concentradores de tensão; forte adesão do revestimento ao material base o que permitiu a propagação das trincas entre estas regiões; etc.

A Tabela 4 apresenta os valores em ciclos correspondentes a três níveis de tensão e estimados em função das tendências dos comportamentos demonstrados na Fig. 2, e correlaciona os resultados obtidos pelos corpos de prova revestidos, com os do material base, em porcentagem.

Tabela 4 - Relação entre as vidas em número de ciclos dos corpos de prova revestidos e corpos de prova do material base, em três níveis de tensão.

TENSÃO (MPa)	MATERIAL BASE	CROMO CONVENCIONAL		CROMO ADITIVADO	
	CICLOS	CICLOS	% MAT.BASE	CICLOS	%MAT.BASE
850	22000	9500	43	6000	27
750	50000	18000	36	9000	18
650	299000	36500	12	14200	5

A Tabela 4 acima indica a crescente perda da vida em número de ciclos dos corpos de prova revestidos em relação aos corpos de prova do material base, com a aplicação decrescente dos níveis de tensão, caracterizando os efeitos das várias frentes de propagação das trincas ao longo de todo o revestimento. Este comportamento pode ser confirmado, por exemplo, observando o revestimento de cromo duro aditivado à 650 MPa, o qual apresentou uma vida em número de ciclos correspondente a apenas 5% da apresentada pelo material base.



Comparando os revestimentos entre si, constata-se o melhor desempenho dos corpos de prova revestidos com cromo duro convencional, apesar da espessura superior àquela do revestimento de cromo duro aditivado. De acordo com a literatura (Dubpernell, G., Lowenheim, F. A., 1968), após 100  $\mu\text{m}$  de espessura as tensões residuais contidas nos revestimentos de cromo duro tendem a diminuir e, até mesmo, a serem compressivas devido ao efeito "cunha" provocado pelo preenchimento das trincas com a continuidade do processo de deposição. Jones (1989), por sua vez, cita que em espessuras de cerca de 125  $\mu\text{m}$  (5 mils), as tensões internas alcançam valores constantes.

É atribuído às microtrincas o processo de alívio das altas tensões residuais de tração contidas nos revestimentos. Portanto, a maior densidade de microtrincas implica em maiores alívios das tensões residuais de tração e, conseqüentemente, que o revestimento com cromo duro aditivado possui tensões residuais muito maiores em relação ao cromo duro convencional e que, mesmo após o processo de alívio por microtrincamentos, estas tensões permanecem superiores e/ou apresentam quantidades maiores de frentes de propagação de trincas quando submetidos às tensões externas.

Reportando à Fig. 2 e analisando os dois tipos de revestimentos, percebe-se que em alto nível de tensão ( $78\% \sigma_e$  ou 871 MPa), o efeito da densidade de microtrincas não é marcante, visto que a frente de propagação inicia-se basicamente em uma única ou poucas trincas. No entanto, com a diminuição dos níveis de tensão, surgem várias frentes de propagação de trincas, resultando em acentuada perda da vida em ciclos.

## 5. CONCLUSÕES

1. A densidade de microtrincas dos eletrodepósitos de cromo duro é resultado do alívio de tensões residuais de tração contidas no revestimento e varia em função do material do substrato e, principalmente, das condições do banho (composição química, temperatura e densidade de corrente) (Jones, 1989).
2. Quando comparados dois tipos diferentes de revestimentos de cromo duro, eletrodepositados em substratos semelhantes, as densidades de microtrincas resultantes podem ser consideradas um importante parâmetro para prever seus comportamentos em fadiga por flexão rotativa.
3. Os resultados dos ensaios de fadiga por flexão rotativa claramente demonstraram o efeito prejudicial de ambos os revestimentos no comportamento do aço ABNT 4340 em todos os níveis de tensão, bem como em seu limite de fadiga.
4. Eletrodepósitos de cromo duro aditivado apresentaram maiores densidades de microtrincas.
5. O aço ABNT 4340 revestido com cromo duro aditivado apresentou os piores resultados em fadiga por flexão rotativa em relação ao revestimento de cromo duro convencional.
6. Em revestimentos de cromo duro percebem-se várias frentes de propagação de trincas, tanto da superfície e núcleo como da interface com o substrato.

### *Agradecimentos*

Os autores agradecem à: CAPES, FAPESP e EMBRAER-EDE; e ao CTA-AMR na pessoa do Eng<sup>o</sup> Dalci Roberto dos Santos, por proporcionarem a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bodger, B. E., Macgrann, R. T. R., Somerville, D. A., 1997, The evaluation of tungsten carbide thermal spray coatings as replacements for electrodeposited chrome plating on aircraft landing gear, *Plating & Surface Finishing*, September, pp. 28-31.
- Bolles, D. C., 1995, HVOF Thermal spraying: an alternative to hard chrome plating, *Welding Journal*, pp. 31-34.
- Dubpernell, G., Lowenheim, F. A., 1968, *Modern Electroplating*, pp. 80-129.
- Godefroid, L. B., 1993, Fatigue crack growth under constant and variable amplitude loading in aluminium alloys of aeronautical applications, Ph.D Thesis, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.
- Guillemette, R., 1993, Evaluation of thermal spray coatings for Navy H-60 tail landing gear piston. United Technologies Sikorsky Aircraft. Praxair, Report Number Mer, September, L1-319.
- Jones, A. R., 1989, Microcracks in hard chromium electrodeposits, *Plating and Surface Finishing*, April, pp. 62-66.
- Kuo, H.-W., Lai, J.-S., Lin, T.-I., 1997, Nasal septum lesions and lung function in workers exposed to chromic acid in electroplating factories, *Springer-Verlag*, n. 70, pp. 272-276.
- Lin, K. L., Hsu, C.-J., Chang, J.-T., 1992, Electroplating of Ni-Cr on steel with pulse plating, *Journal of Materials Engineering and Performance*, June, vol. 1, n. 3, pp. 359-362.
- Payne, A. O., 1976, The fatigue of aircraft structures, *Engineering Fracture Mechanics*, vol. 8, pp. 157-203.
- Pina, J., Dias, A., François, M., Lebrun, J. L., 1997, Residual stresses and crystallographic texture in hard chromium electroplated coatings, *Surface & Coatings Technology*, vol. 96, pp. 148-162.
- Vasconcelos, S. M. B., 1992, Estudo da influência dos tratamentos superficiais de cromo duro e níquel químico na vida em fadiga do aço de alta resistência AISI 4340, Trabalho final de graduação, Escola de Engenharia Industrial, São José dos Campos, Brasil.

### EFFECTS OF MICROCRACKS DENSITY IN ADDITIVATED AND CONVENTIONAL HARD CHROMIUM ELECTRODEPOSITS ON ABNT 4340 AERONAUTICAL STEEL.

**Abstract.** *The aim of this study was to analyse and to compare the microcracks density of the conventional and additivated hard chromium electroplating and the effects on the rotative bending fatigue behaviour when deposited on high strength steel, ABNT 4340, which is widely used in aircraft landing gear. The results showed a higher microcracks density found in additivated hard chromium electroplated associate to the low performance in rotative bending fatigue testing with respect of conventional hard chromium electroplating.*

**Keywords:** *Microcracks in hard chromium electroplating, Fatigue and electroplating, High strength steel, Fatigue and corrosion, Surface treatment.*