

MODIFICAÇÕES SUPERFICIAIS NA RESISTÊNCIA A FADIGA DA LIGA Ti-6Al-4V

Leandro Augusto Quarentei Saldanha, Herman Jacobus Cornelis Voorwald – Departamento de Materiais e Tecnologia – Faculdade de Engenharia – Campus de Guaratinguetá.

A indústria aeronáutica tem buscado o desenvolvimento de materiais para vencer seus principais obstáculos: peso, velocidade e consumo. Pesquisas foram sendo direcionadas às partes específicas de cada avião buscando uma maior eficiência do uso dos materiais e suas ligas. Dentre as partes de uma aeronave, os trens de pouso demandam importantes pesquisas por envolverem operações de aterrissagem e decolagem, estando submetidos a altas cargas de serviço. Com a evolução da indústria aeronáutica, a fadiga dos constituintes de aeronaves se tornou um grande problema de segurança, chegando a representar cerca de 90% dos problemas estruturais ocorridos, e a partir das décadas de 1950 e 1960, acabou recebendo atenção especial de engenheiros e projetistas devido sua característica de resultar de inúmeras variáveis. A deposição de cromo é mais amplamente usada como revestimento eletrodepositado para oferecer resistência ao desgaste e corrosão, alta dureza e baixo coeficiente de atrito. Porém, devido a preocupações com saúde e meio ambiente, alternativas a esse tipo de revestimento têm sido estudadas. A deposição de carbeto de tungstênio na liga de Ti-6Al-4V tem por objetivo modificar superficialmente o substrato de modo a garantir ao mesmo as características ideais especificadas no projeto. Devido ao tipo de carregamento de serviço, fadiga é um parâmetro importante a ser considerado. Assim, é fundamental avaliar se a deposição de WC influenciou o comportamento em fadiga do material e, identificar um processo de tratamento superficial que possa garantir, pelo menos, as características de fadiga do material base. O objetivo do projeto é avaliar e quantificar a possível redução na resistência à fadiga axial da liga de Ti-6Al-4V devido ao processo de deposição de WC por HVOF. A liga de titânio estudada foi empregada na condição recozida. A composição química do material base utilizado nesse projeto é: 6,13% Al, 4,0% V, 0,23% Fe, 0,19% O, 0,07% Ni, 0,0124% H, máx. 0,004% Y, 0,39% de elementos residuais, Ti remanescente. A densidade deste material base é de 4430 Kg/m^3 . A figura 1 representa o corpo de prova para ensaios de fadiga axial, de acordo com a ASTM 466, utilizados no projeto.

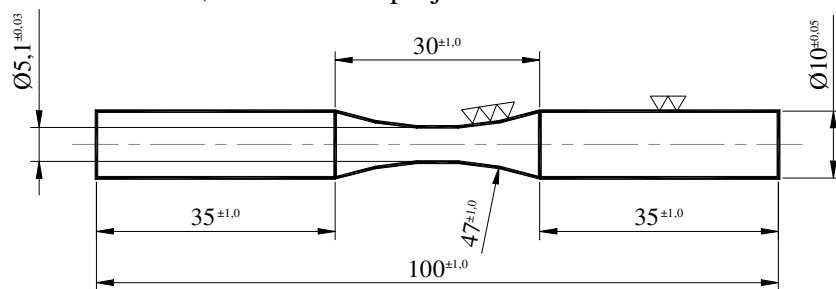


Figura 1– Corpo de prova para fadiga axial

Para os ensaios de fadiga axial, foi utilizada uma carga senoidal com uma frequência de 20Hz e razão $R = 0,1$. Os experimentos considerarão como limite de resistência à fadiga a fratura completa do cdp ou 10^7 ciclos de carga. Seis grupos de amostras serão preparados para obter as curvas SxN para os testes de fadiga axial:

1) 9 cdp's do material base (Ti-6Al-4V); 2) 9 cdp's do material base revestido por WC-10%Co-4%Cr por HVOF; 3) 8 cdp's do material base revestido por WC-10%Co-4%Cr por HVOF e tratado por shot peening.

Para a análise das superfícies de fratura foram escolhidas 3 amostras, sendo uma de cada tipo com relação aos grupos citados anteriormente. As amostras foram embutidas em baquelite, depois lixadas manualmente em lixas de granulometria 100, 220, 320, 400, 600, 1000, 1200, 1500 e 2000. Logo após foi feito o polimento em uma politriz Polipan utilizando OP-S como lubrificante. O ataque químico foi feito com HF por 20 segundos. As imagens foram capturadas com microscópio óptico da marca NIKON, modelo EPIPHOT 200 e uma câmera do tipo SPOT Insight QE, utilizando os softwares SPOT e Image – Pro Plus. A análise fractográfica foi utilizada para identificação dos pontos de iniciação da trinca nas amostras ensaiadas. Para isso foi utilizado o Microscópio Eletrônico de Varredura LEO 1450VP do Departamento de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia Química de Lorena (LME-DEMAR-FAENQUIL). A tensão de ruptura e a dureza da liga Ti-6Al-4V são apresentados na tabela 1:

Tabela 1 - Valores de tensão de ruptura e dureza da liga Ti-6Al-4V

$\sigma_{ruptura}$ (MPa)	Dureza (HV)
1270	380

Os resultados obtidos no ensaio de fadiga correspondem ao número de ciclos até a ruptura e a tensão utilizada, e estão demonstrados na tabela 2, onde: MB = Material base (Ti-6Al-4V); WC = Recobrimento de Carbetto de Tungstênio (WC-10%Co-4%Cr); Shot = *Shot peening*

Tabela 2 - Valores obtidos no ensaio de fadiga axial

Corpos-de-prova de Ti-6Al-4V (R=0,1)					
Ti- 6Al-4V (MB)		MB + WC		MB + WC + Shot	
σ (MPa)	N (Nº Ciclos)	σ (MPa)	N (Nº Ciclos)	σ (MPa)	N (Nº Ciclos)
950	1E7	425	1E7	425	1E7
955	537.511	500	1E7	500	1E7
955	515.404	500	358.145	-	-
965	52.552	550	164.038	550	428.872
965	122.312	550	239.978	550	408.078
975	366.695	650	66.223	650	105.585
985	143.300	650	87.172	650	102.326
1.000	9.261	955	750	955	12.000

Através dos resultados apresentados na tabela 2 podemos traçar as curvas SxN para as três diferentes amostras (Figura 2)

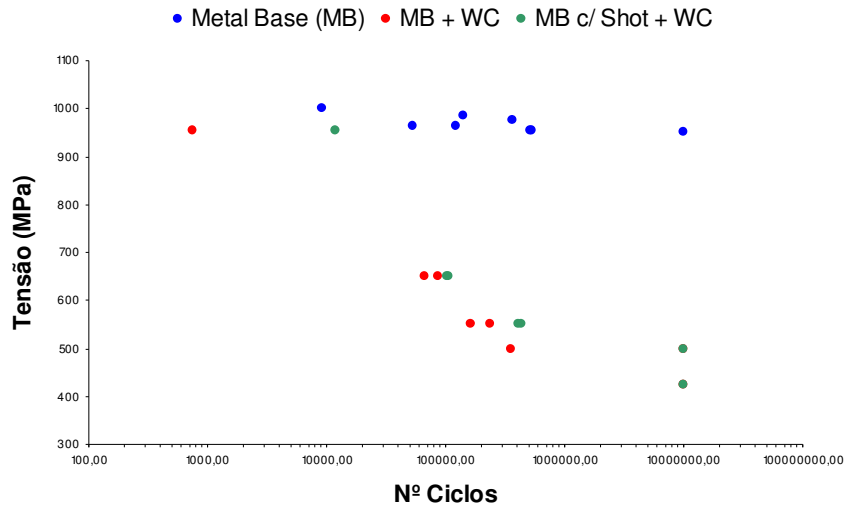


Figura 2 – Curvas SxN referentes aos ensaios de fadiga

A realização das análises fractográficas teve como objetivo analisar fatores do processo de fratura por fadiga como a origem da trinca, a presença de inclusões, microtrincas no material base, no revestimento e na interface material base/revestimento.

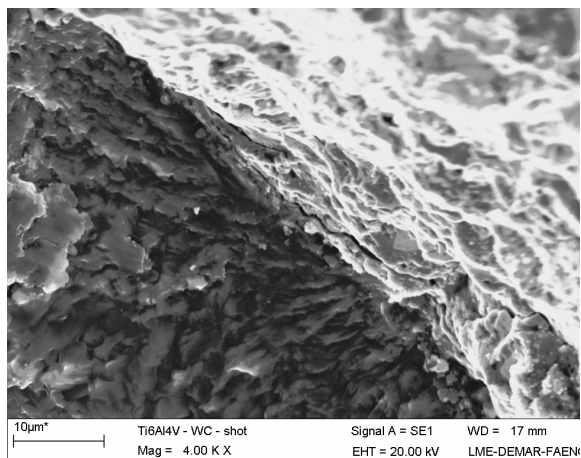


Figura 3 – Microtrinca na interface revestimento/metal na superfície de fratura do material base tratado por shot peening e recoberto por WC (550MPa). Aumento de 4000X.

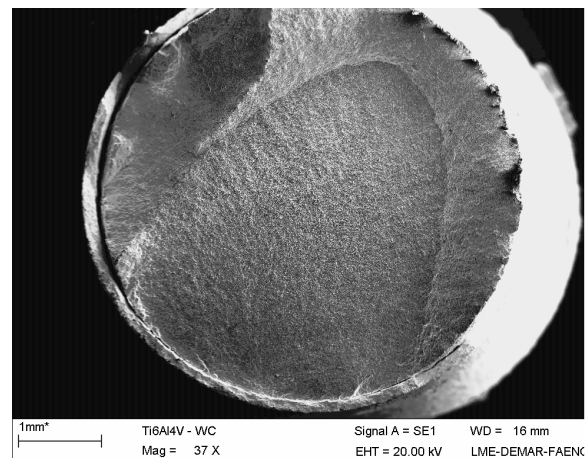


Figura 4 – Superfície de fratura do material base recoberto por WC e ensaiado a uma tensão de 650MPa. Aumento de 37X.

Na figura 3 podemos observar uma microtrinca na interface revestimento/metal base. Devido as altas tensões residuais na superfície do metal base a trinca propaga-se na interface, devido a dificuldade de penetração na direção radial. Na figura 4 observa-se uma diferença quanto a superfície de fratura pois uma maior tensão causará o rompimento do material a uma seção maior.

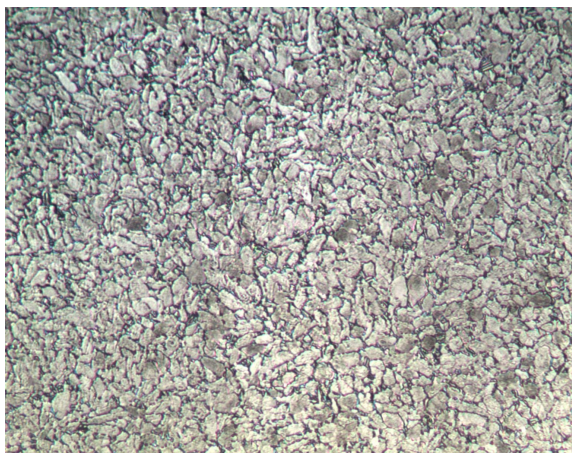


Figura 5 - Microestrutura o material base tratado por shot peening e recoberto por WC (550MPa). Com ataque químico de HF por 25 segundos. Aumento de 500X.

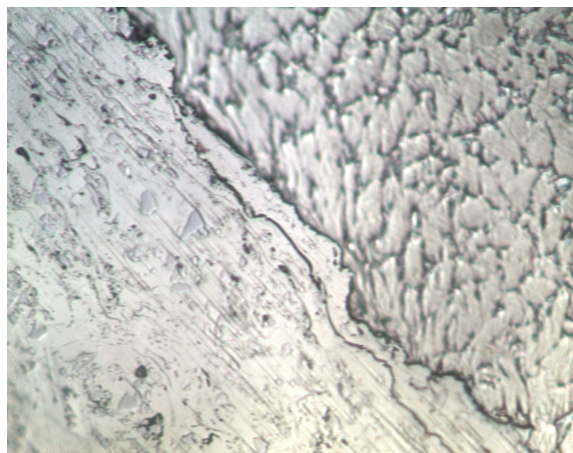


Figura 6 - Interface revestimento/ metal base tratado por shot peening e recoberto por WC (550MPa). Com ataque químico de HF por 25 segundos. Aumento de 1000X.

Na figura 5 observa-se a microestrutura no centro do cdp. Na figura 6 podemos observar uma microtrinca que se origina no interior do revestimento e se propaga até a interface com o metal base. A existência desta microtrinca pode ser relacionado a diminuição da vida em fadiga observada depois da deposição do revestimento. Através dos resultados dos ensaios de fadiga pudemos observar uma diminuição significativa da vida em fadiga da liga Ti-6Al-4V recoberto por WC-10%Co-4%Cr através do processo HVOF. Esta diminuição foi da ordem de 700 vezes (537.511 ciclos – 750 ciclos para um nível de tensão de 955MPa), e pode ser relacionada aos defeitos gerados pelo processo HVOF, onde as partículas a altas temperaturas impulsionadas contra o material gera inclusões, microvazios e tensões, principais responsáveis pela nucleação de uma trinca. Também devemos citar neste trabalho a grande importância do tratamento de *shot peening* no aumento da vida em fadiga dos materiais revestidos. Inicialmente, a uma mesma tensão, pudemos observar um aumento de até 160% da vida em fadiga do material tratado por shot peening (164.038 ciclos do material revestido para 428.872 ciclos do material tratado por *shot peening* e revestido, sob mesma tensão de 550MPa), podendo ser considerado portanto um importante tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

NASCIMENTO M.P., SOUZA. R.C., MIGUEL I.M., PIGATIN W.L. and VOORWALD H.J.C. *Effects of tungsten carbide thermal spray coating by HP/HVOF and hard chromium electroplating on AISI 4340 high strength steel* Surface and Coatings Technology 138 (2001) 113-124.

SOUZA, R. C. Estudo do Comportamento em Fadiga do Aço ABNT 4340 Revestido com WC-12Co, WC-17Co, WC-10Co-4Cr, CrC-25NiCr e WC-10Ni pelo Sistema HVOF/HP. Lorena, 2002. 119p. Tese (Doutorado em engenharia de Materiais – Materiais Refratários) – Faculdade de Engenharia Química de Lorena – FAENQUIL