

AVALIAÇÃO MICROMECAÂNICA DE REVESTIMENTOS DE BARREIRA TÉRMICA (TBC) VIA INDENTAÇÃO INSTRUMENTADA: EFEITO DA DINÂMICA DE DEPOSIÇÃO NA INTEGRIDADE DO SISTEMA TI-6AL-4V

Cauã Willian de Souza Barbosa^{1,3}; Danieli Aparecida Pereira Reis³; Gislene Valdete Martins⁴; Gustavo Bolognesi Sucharski²; Renata Jesuina Takahashi³; Vera Lúcia Othéro de Brito¹

¹ Instituto de Estudos Avançados. (caua.william25@gmail.com).

² Revesteel Metalização. (gustavo@revesteel.com.br).

³ Universidade Federal de São Paulo – Instituto de Ciência e Tecnologia. (danieli.reis@unifesp.br).

⁴ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (givmartins19@gmail.com).

Resumo: Este trabalho apresenta uma análise aprofundada das propriedades mecânicas locais de amostras de Revestimento de Barreira Térmica (TBC), produzido por empresa nacional. As amostras são compostas por um substrato de liga de titânio Ti-6Al-4V, uma camada intermediária de ligação de NiCrAlY (bond coat) e um topo cerâmico de zircônia estabilizada com ítria YSZ (top coat), que juntos formam uma arquitetura multicamada projetada para suportar elevadas temperaturas e gradientes térmicos severos. O objetivo principal foi analisar como a dinâmica de deposição por aspersão térmica a plasma (APS), realizada de forma interrompida (Lote 1) e de forma contínua (Lote 2), influencia a dureza Martens (HM) e o módulo de elasticidade instrumentado (EIT), parâmetros fundamentais para caracterizar o comportamento mecânico local do sistema. A caracterização mecânica foi realizada por meio de indentação instrumentada, aplicando cargas de 300 mN no topo cerâmico e 200 mN na camada de ligação e no substrato, permitindo o registro contínuo da carga e profundidade, superando as limitações da dureza Vickers convencional ao capturar a resposta elasto-plástica triaxial do material. Os resultados revelaram que o Lote 2, sob um regime de deposição contínua e maior aporte térmico, apresentou um top coat cerâmico consideravelmente mais denso e duro (HM médio de 4,8 GPa e EIT de 138 GPa) em comparação ao Lote 1 (HM de 4,3 GPa e EIT de 114 GPa). Essa variação é corroborada pela literatura, que relaciona a redução da porosidade à maior rigidez e resistência em revestimentos cerâmicos, visto que poros atuam como concentradores de tensão e facilitam a penetração do indentedor sem aumento proporcional da carga. Contudo, a análise do substrato de Ti-6Al-4V indicou que o superaquecimento no Lote 2 (acima de 400 °C) causou instabilidade mecânica, evidenciada por um desvio padrão de dureza três vezes superior ao do Lote 1 (0,6 GPa contra 0,2 GPa). De acordo com a literatura, esse comportamento sugere a ocorrência de heterogeneidades microestruturais localizadas, como a formação da fase martensítica α' acicular, típica de gradientes térmicos elevados, que altera drasticamente a dureza local em relação à estrutura equiaxial $\alpha+\beta$ original. Além disso, observou-se uma redução no trabalho elástico (W_{elast}) no substrato do Lote 2, sinalizando uma possível deterioração das propriedades elásticas pelo calor excessivo. Conclui-se que, embora a deposição contínua otimize a densidade do revestimento cerâmico, ela compromete a estabilidade mecânica do substrato de titânio, ressaltando a

necessidade de controle rigoroso dos intervalos de resfriamento para garantir a integridade estrutural de componentes aeroespaciais. Apesar das variações, os valores médios de módulo de elasticidade (EIT) mostraram-se relativamente próximos entre as três camadas, a literatura destaca que, em sistemas multicamadas, a similaridade na rigidez é fundamental para reduzir o risco de deslocamento (delaminação) sob cargas elásticas. Isso mostra que, mecanicamente, o sistema está bem projetado, apesar dos problemas térmicos.

Palavras-chave: Indentação Instrumentada; Ti-6Al-4V; Revestimento de Barreira Térmica; Dureza Martens.