

Influência da Rugosidade na Transição Laminar-Turbulento do Escoamento e no Desempenho Aerodinâmico em Perfil de Asa Laminar

Lucas Retore Carboni (POLI-USP)

Prof. Dr. João Paulo Eguea (EESC-USP)

Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo

lucascarboni@usp.br; joão.eguea@usp.br

Objetivos

O projeto tem como objetivo a análise da influência da rugosidade sobre o ponto de transição da camada limite e o desempenho aerodinâmico de um perfil de asa laminar. As análises experimentais feitas por meio de um aerofólio manufaturado por impressão 3D, utilizando balança aerodinâmica e a técnica de termografia infravermelho em escoamento de baixo Reynolds buscam analisar o impacto da rugosidade nos coeficientes aerodinâmicos e no ponto de transição da camada limite. Objetiva-se identificar os padrões mais relevantes à aerodinâmica do modelo, analisando-se as causas dos fenômenos e traçando-se paralelos com tolerâncias e métodos fabricação aplicados no processo produtivo de aeronaves.

Métodos e Procedimentos

A termografia infravermelho (IRT) visualiza a transição do escoamento de laminar para turbulento por meio da diferença de temperatura do escoamento existente entre os dois regimes. Para aplicá-la, o modelo deve ser aquecido, ou internamente ou externamente (refletores) [1]. Propõe-se projetar um modelo apto a ambas vias.

Para determinar as rugosidades adequadas em função da corda do modelo consultou-se dez trabalhos semelhantes na literatura, decidindo-se assim usar grãos de P80 a P180, sendo

aplicados uniformemente sobre a asa por meio de uma camada de cola removível.

O perfil utilizado foi o NACA23012, o qual foi simulado em escoamento de baixo Reynolds por meio de CFD para utilizar os resultados como entrada de um processo de otimização topológica, que visa a economizar material preservando a resistência da peça. O resultado é apresentado na Figura 1, enquanto na versão final o intradorso foi separado do extradorso para dar acesso às cavidades, onde a eletrônica do aquecimento se situa.

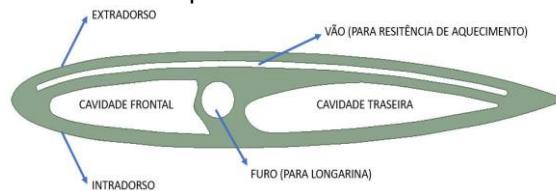


Figura 1: Modelo base em corte

A impressão contou com 3 protótipos para a configuração dos parâmetros de impressão, buscando mitigar o encruamento. Cada peça é composta por 63 metros de filamento (PLA) depositados durante 26 horas. O controle de temperatura do modelo, é realizado por meio de uma resistência de 8 metros níquel-cromo aliada a um controle on/off efetuado por uma ESP32-WROOM-DevKit V1, chaveando com transistor TIP122 e aferindo a temperatura com o termopar MAX6675. A resistência é colocada sob uma chapa de alumínio para homogeneizar a distribuição de temperatura. Para a conformação da chapa, o recocimento foi aplicado para e diminuir a restituição elástica,

como expresso pela Figura 2. A versão final é mostrada na Figura 3.



Figura 2: Conformação da chapa



Figura 3: Resistência integrada à chapa (acima) e a um isolamento de cortiça (abaixo)

O modelo final junto à eletrônica é apresentado nas Figuras 4, 5 e 6.

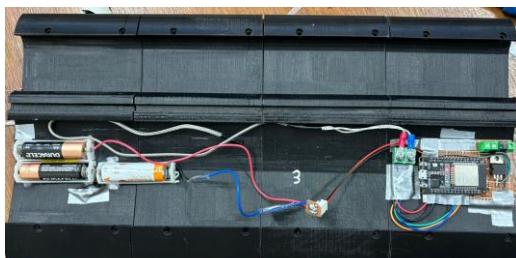


Figura 4: Vista interna da parte eletrônica de controle



Figura 5: Vista Frontal



Figura 6: Vista lateral do modelo

Resultados

Realizou-se primeiramente um teste do sistema de aquecimento com a chapa a 45°C, visto na Figura 7.

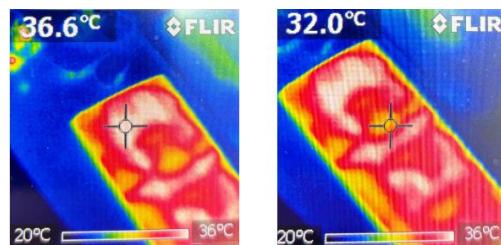


Figura 7: Teste da uniformidade do aquecimento

Nota-se que a homogeneidade desejada na superfície do modelo não foi atingida. Ao testar apenas a chapa, observou-se uma distribuição de temperaturas homogênea, logo, o problema ocorre no contato entre a chapa e o perfil. Como contramedida, pasta térmica a base de silicone 1,2 W/mK será para buscar diminuir as diferenças de temperatura. Caso ainda insatisfatória, o aquecimento externo via refletor será empregado.

Conclusões

Do ponto de vista construtivo, valida-se o emprego de manufatura aditiva para construção de perfis aerodinâmicos para teste em túnel de vento. Conclui-se também que, para aquecimento interno em IRT, a baixa condutividade térmica do material é um percalço ao implemento de modelos impressos em 3D, dada a baixa condutividade térmica. Nesses casos, a uniformidade no conjunto de aquecimento completo é praticamente a única determinante observada. Os testes em túnel serão realizados em outubro de 2024.

Agradecimentos

Agradecemos ao PET-Mecânica da POLI-USP e ao PoliSat pela disponibilização de materiais e estruturas, ao SISEA-USP pelo empréstimo da câmera térmica.

Referências

- [1] B. Simon, A. Filius, C. Tropea, and S. Grundmann, “Ir thermography for dynamic detection of laminar-turbulent transition,” *Experiments in Fluids*, vol. 57, no. 5, pp. 1–12, 2016.