

Detalhes da aplicação do processo de construção *hand-lay-up* na aeronave CEA-308

Paulo Henriques Iscold Andrade de Oliveira

Centro de Estudos Aeronáuticos - EEUFMG

Rogério Pinto Ribeiro

Cláudio Pinto de Barros

Centro de Estudos Aeronáuticos - EEUFMG

Copyright © 2000 Society of Automotive Engineers, Inc

RESUMO

Apresenta-se uma síntese do processo de construção da aeronave CEA-308, onde se aplicou o método de *hand-lay-up* para a confecção do seu revestimento. A aeronave CEA-308 é da classe FAI C-1-a.0, desenvolvida pelo Centro de Estudos Aeronáuticos da UFMG com o intuito de estabelecer novas marcas de velocidade nesta categoria. Desta forma, necessita-se obter acabamento superficial de alta qualidade sem contudo penalizar o custo e o peso finais da aeronave. Para isto decidiu-se utilizar o método *hand-lay-up*, tendo em vista o seu baixo custo, e a possibilidade de bom acabamento. O procedimento adotado parte de uma estrutura básica (em madeira) capaz de estabelecer a forma dos componentes da aeronave (fuselagem, empenagens e asa). Sobre esta estrutura são aplicadas placas de espuma de poliestireno extrudado. Tais placas são modeladas para se obter a forma desejada. Sobre as placas de espuma, já modeladas, são aplicadas então as camadas de fibra de vidro, responsáveis pela absorção e transmissão dos esforços mecânicos. São apresentados aspectos construtivos considerados importantes para se garantir bom acabamento superficial, baixo peso e boa eficiência estrutural.

INTRODUÇÃO

O advento do emprego de materiais compostos tem revolucionado a construção de aeronaves nos últimos anos. Através das novas possibilidades criadas por este tipo de construção, foram alcançados ganhos, principalmente em desempenho aerodinâmico e estrutural, em diversos

tipos de aeronaves, desde os pequenos ultraleves até as grandes aeronaves de transporte comercial (Bingelis, 1986).

Basicamente, a utilização de materiais compostos na construção de aeronaves, permite (Hollmann, 1996; Lambie, 1984; Marshall, 1994):

- i) obter acabamento superficial de excelente qualidade em toda a aeronave.
- ii) obter formas complexas (i.e. dupla curvatura) com acabamento de excelente qualidade.
- iii) obter estruturas com alta rigidez e alta resistência específicas, quando da utilização de fibras especiais.

A rigor, a construção de componentes estruturais em materiais compostos é feita através da deposição do material em moldes negativos com a forma das peças desejadas.

Entretanto, a utilização deste tipo de construção para a confecção de protótipos é bastante cara e trabalhosa, devido a necessidade de fabricação dos modelos e moldes.

Desta forma, para viabilizar a utilização de materiais compostos na construção de protótipos, sobretudo na construção amadora, desenvolveu-se a construção

chamada hand-lay-up (Lambie, 1984). Neste tipo de construção os materiais que formarão o componente são fabricados sem a utilização de moldes. Para isto deve-se criar uma estrutura secundária com o objetivo de definir a forma do componente, e sobre esta estrutura são depositados então os materiais responsáveis por resistir aos esforços solicitantes.

Nesta publicação serão apresentadas diversas peculiaridades deste tipo de construção quando aplicada na fabricação da aeronave CEA-308 em desenvolvimento no Centro de Estudos Aeronáuticos da UFMG.

AERONAVE CEA-308

A aeronave CEA 308 é uma aeronave com 300 kgf de peso máximo de decolagem utilizando um grupo moto propulsor de pistão e hélice, enquadrando-se na categoria FAI C-1a.0 da Federação Aeronáutica Internacional (Oliveira, 1999).

Esta aeronave projetada para um tripulante apresenta 5.76 m de envergadura e 4.74 m de comprimento.

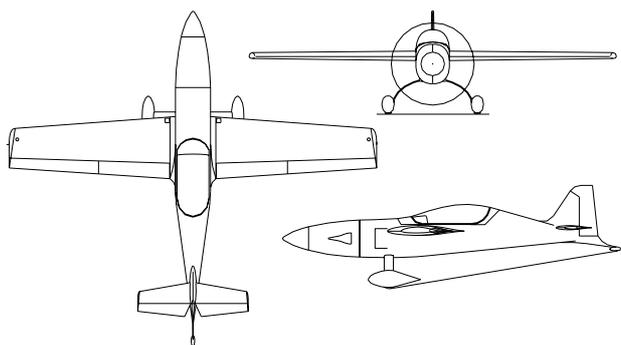


Figura 1 . Três vistas da aeronave CEA-308

As estimativas de desempenho prevêem uma velocidade máxima nivelada de 352 km/h, velocidade de cruzeiro com 75% da potência máxima de 306 km/h, razão de subida máxima de 6.5 m/s (1270 ft/min), utilizando um motor de 48 kW.

A aeronave é capaz de realizar manobras com fatores de carga variando de +6 a -3 gravidades.

De acordo com tabelas comparativas elaboradas, o CEA-308 é capaz de superar todas as aeronaves existentes na sua categoria.

CONFIGURAÇÃO ESTRUTURAL BÁSICA

A aeronave CEA-308 é construída em duas partes básicas: i) a fuselagem com as empenagens horizontal e vertical e ii) a asa.

A fuselagem possui cavernas e tensores em madeira com responsabilidade de receber as diversas ferragens de comandos e de definir a forma da fuselagem.



Figura 2 . Estrutura em madeira da fuselagem

Sobre esta estrutura são aplicadas placas de espuma de poliestireno que deverão definir a forma tridimensional da aeronave e servir de miolo para o sanduíche de materiais compostos da casca da fuselagem.



Figura 3 . Instalação das espumas na fuselagem

A asa e as empenagens são construídas de forma bastante semelhante. Possuem longarinas tipo caixão com mesas em freijó com responsabilidade de resistir aos esforços de flexão. As nervuras são confeccionadas em madeira compensada com a intenção única de definir a forma das superfícies. Entre as nervuras são aplicadas placas de espuma de poliestireno que possuem responsabilidade semelhante a do caso da fuselagem.

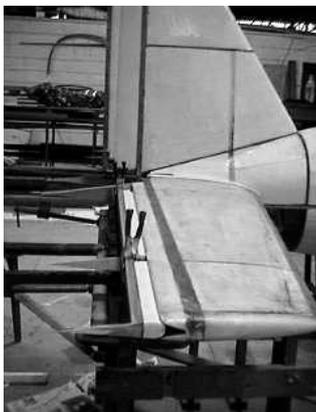


Figura 4 . Detalhe das empenagens horizontal e vertical já com espumas

Em todas as estruturas são aplicadas camadas de fibra de vidro suficientes para resistir aos esforços de torção e, ou flexão sobre cada parte do componente.

No restante deste trabalho serão apresentados detalhes construtivos importantes para a garantia de boa qualidade deste tipo de construção. Estes detalhes foram observados durante a execução da aeronave CEA-308 nas oficinas do Centro de Estudos Aeronáuticos da UFMG.

Os detalhes a serem apresentados são:

- ◇ Corte da espuma de poliestireno.
- ◇ Dobramento da espuma de poliestireno.
- ◇ Empilhamento da espuma de poliestireno.
- ◇ Confecção de bordos de fuga.
- ◇ Laminação de múltiplas camadas de fibra de vidro.

CORTE DA ESPUMA DE POLIESTIRENO

No Brasil encontra-se este tipo de espuma em placas de uma polegada de espessura. Em diversos casos são necessárias placas de espuma com espessuras menores do que esta.

Para o corte das placas de espuma ao longo da sua espessura pode-se utilizar uma máquina de fio quente. Tal máquina nada mais é que um fio de cromo-níquel funcionando como uma resistência elétrica. Através do efeito Joule o fio se aquece e em contato com a espuma de poliestireno a funde, cortando-a exatamente por onde o fio passar.

Para o corte das placas de espuma ao longo da espessura tal máquina pode ser montada sobre uma mesa desempenada. Assim ao se deslizar a placa de espuma sobre a mesa, produz-se, ao longo de todo o seu comprimento e largura, um corte com espessura constante.

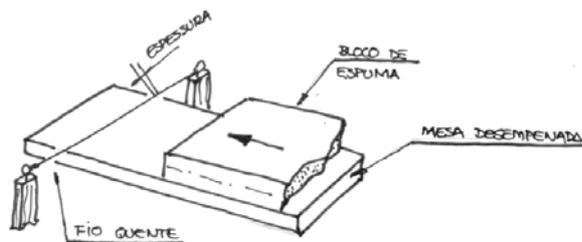


Figura 6 . Corte da espuma

Durante o deslizamento da espuma deve-se ter alguns cuidados:

- ◇ Efetuar o corte com velocidade constante, sem interrupções, evitando-se assim marcas do fio quente na espuma.
- ◇ Não permitir que a parte superior da espuma, após o corte, se deforme excessivamente devido ao calor.

DOBRAMENTO DA ESPUMA DE POLIESTIRENO

A espuma já com a espessura desejada, deve ser montada sobre a estrutura secundária da aeronave. Para tal, deve-se dobrar as placas de espuma na mesma curvatura do revestimento da aeronave. Como a espuma apresenta baixa resistência mecânica, é comum que as placas se rompam ao se executar este dobramento.

Para evitar este problema deve-se fazer sulcos na parte a ser comprimida da espuma com uma serra circular.



Figura 5 . Detalhes dos entalhes na espuma para melhorar o dobramento

Entretanto, é comum que mesmo com estes sulcos a espuma se rompa quando as curvaturas são mais severas. Assim, tem-se ainda duas estratégias:

- ◇ Colar fitas adesivas sobre a face tracionada, evitando o rompimento da espuma, ou
- ◇ Comprimir a espuma ao mesmo tempo que se procede o dobramento, fazendo com que aconteça apenas compressão na espuma.

Com estes procedimentos é possível executar curvas com raios bastante pequenos.

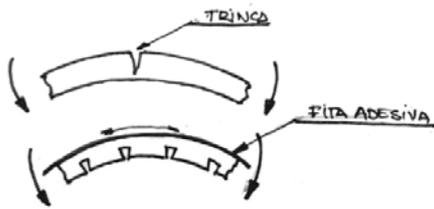


Figura 6 . Dobramento da espuma

EMPILHAMENTO DA ESPUMA DE POLIESTIRENO

Como já foi dito anteriormente, no Brasil, só são encontradas placas de espuma de poliestireno com uma polegada de espessura, e da mesma forma que em alguns casos são necessárias espessuras menores, em outros se busca espessuras maiores. Nestes casos deve-se proceder o empilhamento de placas de espuma.

Para que várias placas de espuma se tornem solidárias, formando um peça de grande espessura, pode-se uni-las com adesivo epoxi. O grande problema é que se esta peça for sofrer um lixamento sobre a interface colada, a diferença de dureza da cola e da espuma provocará ondulações indesejadas. A única forma de evitar este efeito é evitar a aplicação de cola na região da interface que será lixada.

Mas em muitos casos, como a cola se espalha ao se aplicar pressão sobre as placas a serem coladas, é difícil proceder este controle.

Uma forma prática para tal é a aplicação de uma fita adesiva sobre a região a não ser colada. Após a secagem da cola, a região protegida com fita pode ser facilmente retirada com auxílio de uma lâmina de corte, permitindo um perfeito lixamento do bloco empilhado.

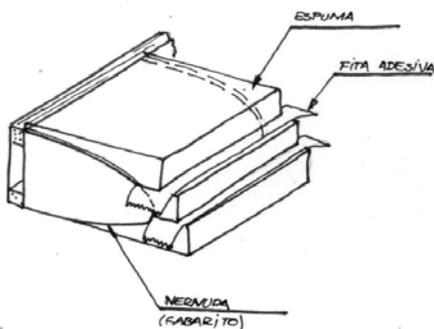


Figura 6 . Empilhamento da espuma

CONFECÇÃO DE BORDOS DE FUGA

Uma região de difícil acabamento em aeronave é o bordo de fuga das superfícies sustentadoras. Nesta região deseja-se espessura mínima, alta rigidez e ausência de ondulações.

Como a espuma é muito fraca, ocorre que durante o lixamento nesta região não se consegue um bom acabamento (rompimento da espuma e grandes ondulações). Para melhorar este acabamento, o que deve ser feito é proceder o lixamento de um dorso do componente laminá-lo com fibra de vidro e, somente após a laminação estiver curada, lixar o outro dorso e proceder a laminação.

Além disto, pode-se utilizar uma mesa desempenada para firmar o bordo de fuga durante o processo de cura da laminação.

Um outro problema que pode ocorrer é a delaminação das camadas no bordo de fuga. Esta delaminação ocorrerá sobretudo se existir espuma entre as duas camadas. O aconselhável é a substituição da espuma nesta região por uma massa de resina epoxi e micro-esferas de vidro.

LAMINAÇÃO DE MÚLTIPLAS CAMADAS DE FIBRA DE VIDRO

A laminação da fibra de vidro sobre a espuma já lixada é uma das etapas mais importantes deste processo. Isto porque a fibra de vidro é o principal componente estrutural do sanduíche, e a sua aplicação (laminação) deve ser feita de forma bastante cuidadosa.

Dois problemas básicos são observados durante a aplicação das camadas de fibra de vidro:

- ◇ Existência de bolhas ou regiões sem aderência entre a fibra de vidro e a espuma
- ◇ Distorção do tecido durante a laminação

As bolhas ou regiões sem aderência ocorrem devido a grande permeabilidade da espuma que absorve muita resina durante a laminação. O que deve ser feito é a aplicação de uma fina camada de massa de resina epoxi com micro esferas de vidro sobre a espuma minutos antes da laminação da fibra de vidro. Assim, consegue-se a diminuição da permeabilidade da espuma e ainda a correção de possíveis imperfeições que venham a existir na espuma devido a problemas no lixamento.

Observa-se que a quantidade de resina a ser utilizada será um pouco maior que o mínimo necessário, aumentando o peso total da estrutura. Foi observado na construção do CEA-308 que este aumento de peso é pouco significativo.

O problema da distorção do tecido foi resolvido através da aplicação prévia da resina no tecido de fibra de vidro. Para isto, cortam-se todas as camadas de tecido a serem aplicadas em uma dada região e aplica-se a resina nestas sobre uma folha plástica (todas as camadas empilhadas). Em seguida leva-se esta folha plástica à região de laminação e transfere-se as camadas de tecido. Desta forma, facilita-se o empilhamento e a impregnação de resina, pelo fato de se trabalhar sobre uma superfície plana.

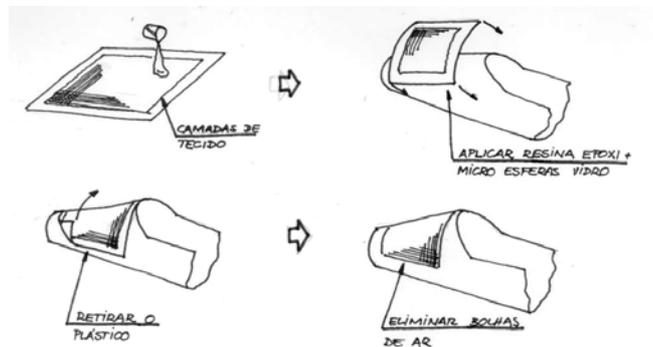


Figura 6 . Laminação de fibra de vidro

CONCLUSÕES

A aeronave CEA-308 ainda se encontra em fase de construção, mas algumas partes já receberam acabamento final. Pôde-se observar que a aplicação das soluções construtivas descritas nesse trabalho tem permitido a obtenção de um acabamento superficial de alta qualidade sem penalização do peso final das peças e com uma considerável redução no custo de fabricação.



Figura 7 . Ailerão da aeronave CEA-308 com acabamento final

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bingelis, T., 1986, "Sportplane Construction Techniques". Austin; Sportplane Builder Publications.
- Hollmann, M., 1996, "Composite Aircraft Design". Monterey, Aircraft Design, Inc.
- Lambie, J., 1984, "Composite Construction fo Homebuilt Aircraft". Hummelstown; Aviation Publishers.

Marshall, A.C., 1994, "Composite Basics". Walnut Creek; Marshall Consulting.

Oliveira, P.H.I.A., 1999, "Projeto da Aeronave CEA-308", Centro de Estudos Aeronáuticos da EEUFMG, Belo Horizonte.