

Daniela Landgraf Gomes

Flávia Merlin Trovão

Marina Iza Tavoni Furlan

**Yara Nagao de Carvalho
Nunes**

Iris Bento da Silva

*Universidade de São Paulo, Escola de
Engenharia de São Carlos,
Departamento de Engenharia
Mecânica*

ibs@sc.usp.br

Correspondência/Contato

*UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Departamento de Engenharia Mecânica*

*Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi
Taubaté - SP
CEP 12060-440
Fone (12) 3625-4193*

Editores responsáveis

*Prof. Dr. Luiz Eduardo Nicolini do P. Nunes
luiz.nunes@unitau.com.br*

*Profa. Dra. Valesca Alves Correa
valesca.correa@unitau.com.br*

A MELHORIA DO DESEMPENHO NO SETOR AEROESPACIAL: PROCESSOS E SELEÇÃO DE MATERIAIS

RESUMO

Atualmente existem muitos métodos de melhoria nos processos de manufatura que visam maior competitividade e produtividade, uma vez que a concorrência global é intensificada a cada momento e a busca pela melhoria contínua uma forma de diferenciação. A indústria aeronáutica constitui um setor estratégico, pois ao produzir produtos tecnologicamente muito evoluídos, e de grande valor acrescentado, contribui para o desenvolvimento científico e tecnológico dos países, da sua economia e do bem estar dos cidadãos. Além disso, desenvolve e fabrica veículos e sistemas com aplicação militar, pelo que também contribui para a soberania e a independência nacional. Por ser um setor que desenvolve peças que exigem elevada responsabilidade, há a necessidade de constante busca pela melhoria da qualidade, tanto envolvendo processos quanto os materiais utilizados. O processo de estampagem no setor aeroespacial busca aliar a alta resistência com pequenas espessuras da chapa metálica, garantindo assim alta produtividade, custo reduzido por peça, bom acabamento e baixo peso do produto final. Há ainda grande preocupação por parte da engenharia na seleção de materiais para esse processo, onde se nota uma crescente substituição de ligas de alumínio por materiais compósitos poliméricos, uma vez que são mais leves e apresentam maior resistência à fadiga e à corrosão. Análise da literatura revela certa escassez de estudos sobre a utilização da estampagem como processo de conformação nas indústrias aeronáuticas, em vista disso a proposta do trabalho é analisar, através de review, a melhoria do desempenho das peças aeronáuticas, com foco nos processos e seleção de materiais. O estudo verificou que se trata de um setor em constante mudança e aprimoramento, com estudos para a aplicação cada vez mais frequente de materiais compósitos.

Palavras-chave: Aeronáutica. Estampagem. Materiais. Desempenho. Compósitos.

ABSTRACT

Currently there are many improvement methods in manufacturing processes aimed at increased competitiveness and productivity, as global competition is strengthened at every moment and the search for continuous improvement a way of differentiation. The aviation industry is a strategic sector because the produce technologically evolved products, and value-added, contributes to the scientific and technological development of the country, its economy and the well being of citizens. Besides, it also develops and manufactures vehicles and systems with military application, so it also contributes to the sovereignty and national independence. Being an industry that develops parts requiring high responsibility, there is the need for constant search for quality improvement, both involving processes and the materials used. The stamping-forming process in the aerospace industry seeks to combine high strength with small thicknesses of metal sheet, thus guaranteeing high productivity, low cost per piece, good tolerance and finish and low weight of the final product. There is also great concern on the part of engineering in material selection for this process, which notes a growing substitution of aluminum alloys for polymeric composite materials, since they are lighter and have greater resistance to fatigue and corrosion. Analysis of the literature reveals a certain lack of studies on the use of stamping-forming process in the aviation industry, given that the proposed work is to analyze, through review, improving the performance of aircraft parts, focusing on processes and selection materials. The study-review found that this is an industry in constant change and improvement, studies to increasingly frequent application of composite materials.

Keywords: Aeronautics. Stamping. Materials. Performance. Composites.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a metalurgia dos aços usados em chapas vem evoluindo continuamente no sentido de proporcionar economia e eficiência cada vez maiores na fabricação e uso de bens de consumo duráveis. O principal objetivo é aumentar a resistência mecânica das chapas de forma a permitir a redução de sua espessura sem perda de seu desempenho mecânico, porém o grande problema a ser minimizado está no fato de que o aumento da resistência mecânica do aço prejudica sua estampabilidade.

Estampagem é um processo de conformação de chapas, geralmente realizado a frio, que engloba um conjunto de operações por meio das quais uma chapa é submetida de modo a adquirir uma nova forma geométrica, plana ou oca. Em aplicações aeroespaciais, a maior parte da estrutura de aviões é construída com titânio, aço e alumínio, contudo, compósitos poliméricos avançados vêm conquistando cada vez mais uma maior participação no mercado internacional. Nos últimos 40 anos, esses materiais têm sido utilizados como materiais estruturais de elevado desempenho em aplicações aeroespaciais, todavia, podem apresentar complicações quando expostos à umidade, variação térmica, radiação ultravioleta podendo haver sinergia entre os principais mecanismos de degradação. Com o início da utilização das fibras de vidro, aramida e carbono no começo da década de 1960, os compósitos poliméricos avançados foram introduzidos de maneira definitiva na indústria aeronáutica. A Figura 1 ilustra as principais aplicações dos materiais compósitos, em substituição à liga de alumínio (tradicionalmente utilizada em aplicações aeronáuticas), na aeronave Boeing 787 (DANIEL, ISHAI, 1994; GRANDINE, 2010).

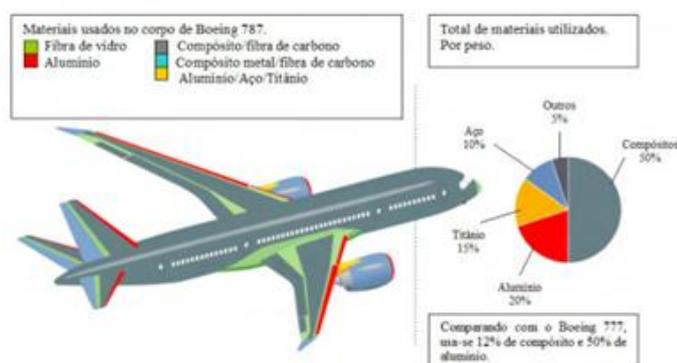


Figura 1: Porcentagem dos materiais utilizados na fabricação da aeronave Boeing 787.

Fonte: (GRANDINE, 2010)

A constante necessidade de redução de peso aliada a maiores valores de resistência à fadiga e à corrosão, maior facilidade de obtenção de peças com geometrias complexas e flexibilidade de projeto na concepção de peças com estruturas integradas, têm acarretado na redução do número de componentes aeroembarcados e vem impulsionando o desenvolvimento da tecnologia de processamento de compósitos poliméricos (REZENDE, 2007; PARDINI, 2006).

Análise da literatura revela certa escassez de estudos sobre a utilização da estampagem como processo de conformação nas indústrias aeronáuticas, e como é realizada a melhoria contínua do desempenho das peças uma vez que se trata de peças de alta responsabilidade, isto é, alto nível de segurança. Assim, o presente trabalho tem como propósito analisar a melhoria do desempenho das peças aeronáuticas, com foco nos processos e seleção de materiais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A conformação é um processo de transformação mecânica que consiste em conformar uma chapa à forma de uma matriz, pela aplicação de esforços transmitidos através de um punção. Na operação ocorrem alongamento e contração das dimensões de todos os elementos de volume. A chapa, originalmente plana, adquire uma nova forma geométrica. Nesse processo, estruturas mais leves e menos resistentes são sujeitas a flambagem, em contra partida, é um processo de baixo custo que garante relativamente uma boa qualidade e acabamento da peça final. Os processos de usinagem são relativamente mais precisos que os processos de conformação e fundição, conferem melhores tolerâncias dimensionais e acabamentos superficiais. São adequados para operações posteriores aos tratamentos térmicos, para corrigir distorções causados por estes, podem gerar superfícies com padrões especiais. Em contra partida, o processo de usinagem tem maior gasto de matéria-prima, trabalho, tempo e energia (BRESCIANI FILHO et al., 2011).

A seleção do material, assim como o método de fabricação de aeronaves depende do processo, da geometria e principalmente da função estrutural, que está associado aos níveis de carregamento. Os aviões são projetados para uma grande variedade de propostas, porém todos eles possuem os mesmos componentes principais. A maioria das estruturas dos aviões possuem uma fuselagem, asas, uma empenagem, trem de pouso e o grupo moto-propulsor, como apresentado na Figura 2.

Com relação ao processo de fabricação, um avião de pequeno porte, o qual apresenta baixo peso e está sujeito a baixas solicitações, pode ser feito majoritariamente por conformação, o qual chapas finas são estampadas e apresentam propriedades mecânicas boas suficientes para as condições dadas. Já no caso de grandes aeronaves, algumas regiões particulares necessitam de uma melhora nas propriedades mecânicas dos materiais, como por exemplo nas regiões das asas que sustentam as turbinas. (FUJIWARA, 2011). Para essas regiões a utilização de fabricação por usinagem é de imensa utilidade, uma vez que confere maior resistência e menores tensões residuais do que a conformação por estampagem, como será discutido.

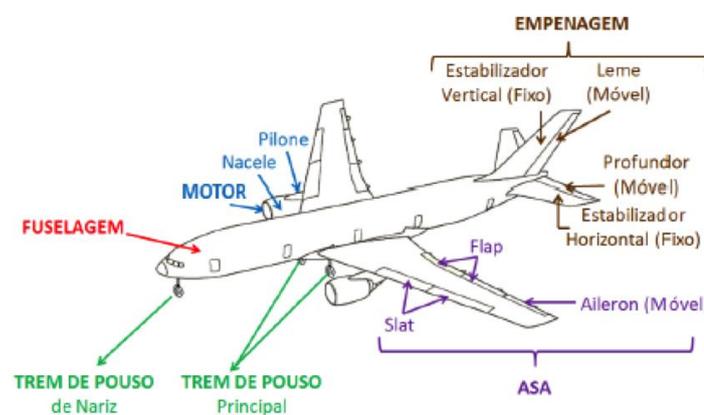


Figura 2: Anatomia do avião.

Fonte: (FUJIWARA, 2011)

A fuselagem inclui a cabine de comandos, que contém os assentos para seus ocupantes e os controles de voo da aeronave, também possui o compartimento de carga e os vínculos de fixação para outros componentes principais do avião. A estrutura é composta majoritariamente por *stringers*, *skin* e cavernas. Os *skins* apresentam espessura de aproximadamente 1,5mm, são feitos de materiais leves, com baixas densidades, como o alumínio e

compósitos. Em relação aos processos de fabricação, de forma geral cavernas e *stringers* são feitos por estampagem, um processo de conformação simples e barato que confere propriedades ao material de boa qualidade. Porém para regiões que exigem maiores solicitações, como, por exemplo, o anel de caverna que estará acoplado a asa com motor, há a necessidade de uma maior resistência, sendo esta fabricada por usinagem, o que confere melhores propriedades mecânicas e menores tensões residuais. Para esse tipo de região, pode-se laminar a frio o material, seguido de uma usinagem química, e por último a peça passa por um processo de *shot peening*, o que resulta em tensões de compressão localizadas que ocasionam num atraso da propagação de trincas (RODRIGUES, 2010).

As asas são superfícies sustentadoras unidas a cada lado da fuselagem e representam os componentes fundamentais que suportam o avião no voo. A empenagem possui como função principal estabilizar e controlar o avião durante o voo. É dividida em duas superfícies, a horizontal que contém o profundor é responsável pela estabilidade e controle longitudinal da aeronave e a vertical que é responsável pela estabilidade e controle direcional da aeronave. Tanto as asas quanto a empenagem são basicamente feitas pelo processo de conformação por estampagem, porém como no caso da fuselagem, regiões que exigem maior solicitação, como é o caso da região da asa que sustenta o motor, há necessidade de um processo de fabricação que confira propriedades mecânicas melhores e garantam maior resistência (RODRIGUES, 2010).

O processo de estampagem é muito utilizado na fabricação de cavernas, *stringers* e nervuras, as quais são peças fundamentais na estrutura de uma aeronave. Emprega-se a estampagem de chapas para se fabricar peças com paredes finas feitas de chapas ou fitas de diversos metais e ligas. As operações de estampagem podem ser resumidas em três básicas: corte, dobramento e embutimento ou repuxo (PENTEADO, 2011). Enquanto as estampagens em corte e dobramento são realizadas a frio, a de embutimento pode eventualmente ser a quente.

Para realizar tais operações são utilizadas prensas, as quais podem ser hidráulicas ou mecânicas, estas consistem basicamente em punção e matriz. A seleção de uma prensa depende do formato, tamanho e quantidade de peças a serem produzidas e, conseqüentemente do tipo de ferramental que será usado. Normalmente, as prensas mecânicas são usadas nas operações de corte, dobramento e estampagem rasa, já as prensas hidráulicas são mais usadas na estampagem profunda (CAMPOS, 2010; BRESCIANI FILHO et al., 2011). A Figura 3 ilustra uma prensa e as partes que a compõem.

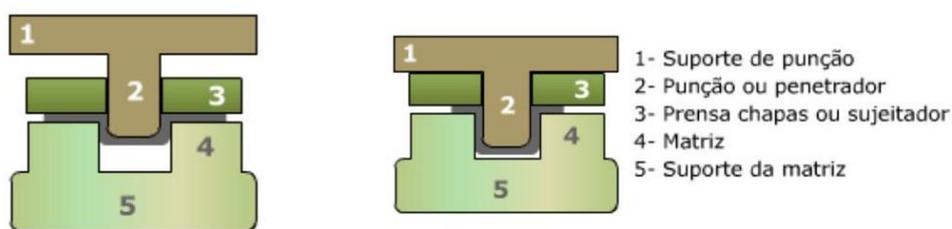


Figura 3: Prensa utilizada para estampagem de embutimento.

Fonte: (CAMPOS, 2010)

Na operação de corte, o punção é forçado contra uma matriz por intermédio da pressão exercida por uma prensa. Dentre as operações de corte, encontram-se o processo de guilhotina, o qual consiste em corte de chapas e barras para formação de tarugos; o processo de *blanking*, usado para corte de tiras, chapas, discos ou perfis que serão utilizados pelos processos subsequentes de chapas; o puncionamento, corte que produz furos de pequenas

dimensões; e o processo de rebarbação, utilizado para aparar o excesso de material. Além disso, tem-se também o *fine-blanking*, aplicado em peças *near-net-shape* (SILVA, 2016).

O processo de dobramento pode ser separado em duas categorias, com matriz, no qual o componente é suportado por uma cavidade (matriz) fêmea no ângulo desejado, e sem matriz, no qual o ângulo final é dado pelo limite de movimento vertical do punção. Por fim, o processo de embutimento, que é constituído por uma chapa normalmente prensada nas bordas por prensa-chapas e forçada por um punção através de uma matriz com o formato deseja da peça final (BRESCIANI FILHO et al., 2011).

Devido às suas características, a estampagem possui grandes vantagens como alta produtividade, custo reduzido por peça, bom acabamento e baixo peso do produto final. Porém, como todo processo de fabricação, a estampagem possui limitações, como por exemplo, a ocorrência de tensão residual na peça final, o que pode levar à fratura da peça dependendo do esforço a ser submetida. E também é comum a ocorrência de flambagem devido a sua espessura fina, além de não possuir alta resistência quando comparada a outros processos de conformação a frio, como a usinagem (CAMPOS, 2010).

Atualmente, um novo processo de estampagem vem sendo utilizado para reparar tais imperfeições, a substituição da prensa por uma explosão. A estamparia por explosão obteve ótimos resultados, pois a qualidade das peças produzidas era muito superior à qualidade das peças prensadas. O processo é realizado a partir de placas de metal e um molde dentro de um tanque com água, os explosivos são detonados com alta precisão e as ondas de choque geradas sobre a água pressionam o metal em cada detalhe da forma desejada. A Figura 4 apresenta a fuselagem de um Airbus feita por meio da estampagem por explosão (Site Inovação Tecnológica).



Figura 4: Fuselagem de um Airbus fabricada pelo método de estamparia por explosão.

Fonte: (site Inovação Tecnológica)

Normalmente, as peças estampadas utilizadas na aeronáutica são constituídas de ligas metálicas de alumínio, porém este material vem sendo substituído por compósitos, pois apresentam maior leveza. Hoje em dia, há aviões de pequeno porte constituídos totalmente por compósitos, e a tendência é que este material seja cada vez mais utilizado em aeronaves de grande porte (LEITE, 2014).

3 MATERIAIS NA AERONÁUTICA

Percebe-se que atualmente existe uma grande preocupação por parte da engenharia na seleção de materiais para indústria aeronáutica. Isto porque, tratando-se de um meio de transporte com alto grau de responsabilidade, necessitam altos níveis de segurança, aliados à maximização de desempenho.

As estruturas aeronáuticas são fabricadas a partir de materiais leves e de alta resistência, por exemplo, as ligas de alumínio, que são amplamente utilizadas na aeronave. As ligas de alumínio das séries aeronáuticas 2XXX (alumínio-cobre) e 7XXX (alumínio-zinco-magnésio) possuem como características principais os elevados níveis de resistência mecânica que, aliadas a baixa densidade do metal e a facilidade de conformação e usinagem, transformam o alumínio em uma das melhores opções para a fabricação de dispositivos e estruturas aeronáuticas conformadas por estampagem até os dias de hoje (NIU, 1999).

A evolução tecnológica que a fabricação e as matérias-primas vêm apresentando, cria novos espaços em aplicações não aeronáuticas contribuindo substancialmente para o crescimento do interesse industrial em desenvolver produtos com baixa densidade e com elevados padrões de qualidade e de resistência estrutural.

A indústria aeronáutica sempre está em busca dos materiais que ofereçam grandes benefícios nas propriedades de redução de peso, custo e aumento da segurança e desempenho. Para que haja aplicação dessas ligas em aeronaves, é necessário um grande estudo detalhado das propriedades mecânicas nas diversas condições de carregamento e meio ambiente.

Um exemplo desta nova gama de materiais a serem aplicados em equipamentos aeronáuticos, tem-se a madeira aeronáutica (não tão comum quanto os a serem citados na sequência), chamada freijó, que tem aplicação em hélices e estruturas aeronáuticas, tanto de aeronaves experimentais (substituindo a *sitka* e o "spruce" comum nos EUA) como na reposição de componentes de aeronaves antigas. Algumas aeronaves tradicionais brasileiras como o paulistinha têm largo emprego de freijó em sua estrutura.

Ainda com o objetivo de substituir os tradicionais materiais metálicos na indústria aeronáutica e aeroespacial, os materiais compósitos permitem que seu emprego seja em grande escala. A combinação que eles proporcionam de uma baixa massa específica com altos valores de resistência e rigidez torna seu uso ideal para o setor (GUALBERTO et al., 2009).

O interesse na aplicação de estruturas com materiais compósitos continua a aumentar, devido essencialmente às suas excelentes propriedades mecânicas combinadas com baixo peso. Compósitos se diferem dos materiais tradicionais, as peças fabricadas são compostas de duas componentes distintas – a fibra e a matriz (geralmente uma resina de polímero) - que, quando combinadas, funcionam de forma interativa criando um novo material, as propriedades mecânicas de cada uma são complementadas, o que torna uma das principais vantagens da combinação de fibra / resina.

A partir da década de 60 do século XX, os compósitos reforçados por fibras sintéticas foram introduzidos de maneira definitiva na indústria aeroespacial. O desenvolvimento de fibras de carbono, boro, quartzo ofereceu ao engenheiro a oportunidade de melhorar os projetos estruturais, atendendo assim, as necessidades de desempenho em voo, uma vez que se tornou possível projetar o material. A substituição de alumínio por compósitos poliméricos estruturais, por exemplo, permite uma redução de 20 a 30%, além de 25% na redução do custo final de obtenção das peças. A Figura 5 apresenta um comparativo na utilização de certos materiais na indústria aeronáutica (FREITAS, SILVA, 2014).

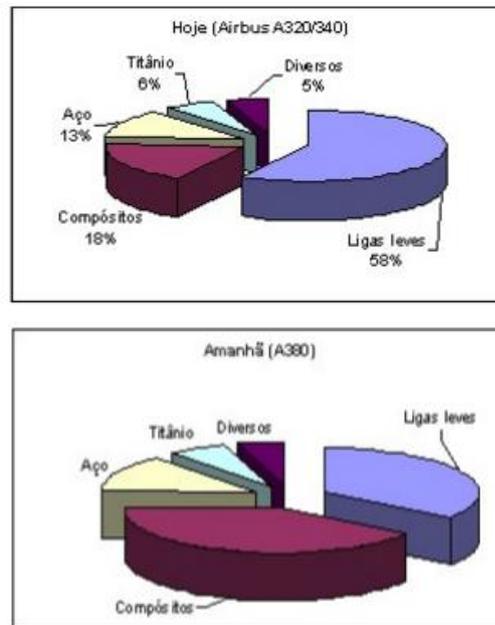


Figura 5: Comparativo da utilização de certos materiais na indústria aeronáutica.

Fonte: (FREITAS, SILVA, 2014)

Em geral, para os materiais de uso aeronáutico usa-se fibras extremamente leves e resistentes à tração, mas que são como qualquer pedaço de linha: não se comportam de forma muito interessante em relação à compressão (LEITE, 2014). A Tabela 1 apresenta as vantagens e desvantagens dos materiais compósitos em comparação com as ligas metálicas.

Tabela 1 – Vantagens e Desvantagens dos materiais compósitos em comparação com as ligas metálicas (LEITE, 2014)

Vantagens dos Materiais Compósitos	Desvantagens
Menos densos	Mais caros
Resistência à corrosão	Restrita quantidade de dados estabelecidos e confiáveis de projetos e sem serviço
Resistência à fadiga	Corrosão dos prendedores metálicos
Mínima usinagem requerida	Degradação em ambientes suficientemente úmidos e quentes
Seções e contornos complexos facilmente fabricados	Relativamente baixa resistência a impactos
Orientação preferencial da resistência e rigidez nas direções necessárias	Requer proteção contra descargas elétricas
Número reduzido de montagens e de prendedores	Métodos de inspeção complexos e caros
Absorvem micro-ondas de radar	Imprecisão na detecção de defeitos de colagem
Expansão/contração térmicas próximas a zero	Imprecisão na localização de defeitos

As vantagens de compósitos de alto desempenho são muitas, incluindo a capacidade de adaptar-se a diversos tipos de *layouts* e mesmo assim mantendo uma ótima resistência e rigidez a fadiga, à corrosão, e, com boas práticas de projeto, redução no custo de montagem devido ao menor número de peças e elementos de fixação. A resistência de compósitos de fibras de alta resistência, em especial fibras de carbono, são mais elevadas do que

outras ligas metálicas, quando se compara aos materiais utilizados na indústria aeroespacial. Isso se traduz em maior economia de peso, resultando em um melhor desempenho, maiores cargas, maior alcance e economia de combustível da aeronave.

Algumas das desvantagens de materiais compósitos são os altos custos da matéria-prima, da fabricação e da montagem. Na fabricação o custo varia entre 40-60% dependendo da complexidade da peça. Eles podem ser prejudicados pela temperatura, umidade, são suscetíveis a danos por impacto e de laminações, são mais difíceis de reparar do que a estrutura metálica.

Aplicadas no setor aeronáutico, a classe dos laminados híbridos metal/fibra (LMF) foi concebida na década de 50 na Universidade Delft (Holanda), em parceria com a empresa aeronáutica holandesa Fokker. Estes materiais são compostos por camadas de uma liga metálica (como aço, ligas-Al, -Mg ou -Ti) intercaladas com camadas de fibras resistentes (vidro, aramida, carbono ou polipropileno) pré-impregnadas com resina (termorrígida ou termoplástica). Hoje em dia, LMF estão sendo usados em várias aplicações, tais como: estruturas de asa, fuselagem e proteção balística. Várias outras empresas aeronáuticas, como Aeroespaciale, NASA, Bombardier e, recentemente, EMBRAER, têm interesse em substituir a componentes de alumínio tradicionais por compósitos LMF (SINMAZÇELIK, ÇOBAN, 2011).

O Glare® (Glass Reinforced Fiber/Metal Laminate), constituído por lâminas de liga-Al inter dispersas com mantas de fibras fortalecedoras de vidro imersas em resina epóxi, é atualmente o laminado híbrido de maior potencial aplicativo na indústria aeronáutica. Dada a arquitetura construtiva do Glare, que alia alta resistência à propagação de trincas de fadiga a uma reduzida densidade do laminado, é possível alcançarem-se reduções da ordem de 30% do peso estrutural em de veículos aéreos. proporcionando um significativo acréscimo na chamada carga paga (pay load) e/ou do número de passageiros transportados, fatores que constituem a força motriz da indústria aeronáutica comercial (LIU, 2014).

O LMF-Glare-5 2/1® é o resultado de um esforço focado na obtenção de um laminado híbrido otimizado para suportar cargas de impacto, característica esta provida principalmente pela fase metálica, porém sem comprometer significativamente sua resistência à propagação de trincas por fadiga, qualidade esta proporcionada essencialmente pelo reforço fibroso. O material consiste de duas lâminas externas de liga de alumínio 2024-T3 com alta resistência mecânica e 0,5 mm de espessura cada, as quais ensanduicham 4 camadas de fibras unidirecionais impregnadas com resina epóxi e justapostas alternadamente segundo uma simetria central, conforme evidenciado na Figura 6 (GUALBERTO et al., 2009).

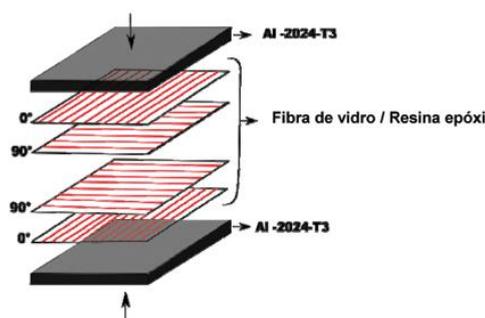


Figura 6: Laminado Glare-5 exibindo distribuição balanceada de fibras fortalecedoras de vidro, com iguais quantidades dispostas nas direções 0 graus/ 90 graus.

Fonte: (GUALBERTO et al., 2009)

Além do material anteriormente descrito, laminados TIGRA (titânio-grafite) são candidatos promissores para aplicações estruturais na indústria aeroespacial. Foi desenvolvido pela Boeing Company a fim de utilizar os benefícios do laminado híbrido para utilização em estruturas para temperaturas superiores, tais como a proposta de Transporte Civil de Alta Velocidade (HSCT).

O titânio, por ser um metal leve, é bastante usado em ligas para aplicação na indústria aeronáutica e aeroespacial. Foi escolhido para essa função por suportar altas temperaturas, característica indispensável em mísseis e naves espaciais.

4 CONCLUSÃO

O processo de estampagem é muito utilizado na indústria aeronáutica devido às suas inúmeras vantagens, as quais contam com baixo custo de produção, produto final leve e bom acabamento. Hoje em dia, alguns aviões de pequeno porte são fabricados quase inteiramente por este processo. Porém, a estampagem também possui desvantagens como ocorrência de tensão residual na peça final e possibilidade de flambagem. Também produz peças menos resistentes quando comparadas às peças fabricadas por outros processos de conformação a frio, por exemplo a usinagem, a qual é muito utilizada pela aeronáutica em peças que serão submetidas a grandes esforços, como o anel de caverna onde o motor é acoplado. Para corrigir as imperfeições da estampagem por prensa, foi descoberto um novo processo, a estampagem por explosão, a qual garante peças de qualidade muito superior às peças produzidas na prensa.

Geralmente, as peças estampadas são constituídas por ligas metálicas de alumínio, porém este material vem sendo substituído na aeronáutica por uma classe de material mais leve e resistente, os compósitos. Apesar da vantagem que os materiais compósitos apresentam e que motivam a sua utilização na indústria aeroespacial, essa classe de materiais tem como desvantagem, em comparação aos metais, a susceptibilidade aos danos, perdendo muito de sua integridade estrutural quando isso ocorre. Os danos dos materiais compósitos estão amplamente ligados à porosidade presente nos mesmos, além disso, pode ocorrer durante o processamento da matéria-prima, fabricação da peça, manuseio, transporte, armazenagem, manutenção ou em serviço.

Os compósitos são resistentes à fadiga e fornecem flexibilidade de design e fabricação, que pode diminuir significativamente o número de peças necessárias para aplicações específicas, o que se traduz num produto acabado, que requer menos matéria-prima, menos articulações, fixadores e um menor custo de tempo de montagem. Eles também provaram resistência a temperaturas extremas, corrosão e desgaste, especialmente em ambientes industriais, onde essas propriedades se fazem de extrema importância para reduzir os custos do ciclo de vida do produto. Essas características têm alavancado a ampla utilização dos materiais compósitos. O impulso para a economia de combustível, em atenção ao aumento dos preços do petróleo, por exemplo, fez com a leveza torna-se uma prioridade em quase todos os tipos de transporte mecânico, das bicicletas até para os grandes aviões comerciais.

REFERÊNCIAS

- BOEING COMPANY; Site da Boeing sobre 787 Dreamliner, Disponível em: <http://www.boeing.com/commercial/787family>, acesso 15/09/2010.
- BRESCIANI FILHO, E.; SILVA, I. B.; BATALHA, G. F.; BUTTON, S. T. Conformação Plástica dos Metais. Edição digital, 2011.
- CAMPOS, D. Processos de Fabricação - Conformação, CEFET - BA (IFBA), 2010
- DANIEL, I. M.; ISHAI, O. Engineering Mechanics of Composites Materials, New York: Oxford University Press, 1994.
- FREITAS, M.; SILVA, A. Materiais Compósitos. Online. Disponível em: <http://slideplayer.com.br/slide/7309876/>
- FUJIWARA, G. E. C. Projeto de Aeronave Movida a Propulsão Humana, USP, 2011.
- GUALBERTO, A.R.M.; GATT, M.C.A.; TARPANI, J.R. Resistência e tolerância a impacto transversal de baixa energia de um laminado híbrido metal/fibra. Revista Matéria vol.14 no.2 2009
- LEITE, V. R. Estado da Arte dos Materiais Compósitos na Indústria Aeronáutica. Revista Ciências Exatas, vol.20 n°. 2 .Ano 2014
- LIU, Y.; ZHANG, J. A Review on Development and Properties of GLARE, an Advanced Aircraft Material. Applied Mechanics and Materials, 2014.
- MORENO, M. E. Desenvolvimento e implementação de metodologia de otimização da geometria do blank em processos de conformação de chapas metálicas. EESC - USP, 2000.
- NIU, M. C.Y. Airframe Structural Design: Practical Design Information and Data on Aircraft Structures. Adaso Adastra Engineering Center, 1999.
- PARDINI, L. C.; NETO, F. L., Compósitos Estruturais; Edgar Blücher, Edgard Blucher, 309 f., 1 ed. 2006.
- PENTEADO, F., Processos de Estampagem, 2011. Disponível em: <http://bmalbert.yolasite.com/resources/Estampagem.pdf>
- REZENDE, M. C.; Fractografia de Compósitos. Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 17, n°3, p.E4-E11, 2007.
- RODRIGUES, L. E. M. J. Fundamentos Básicos Sobre o Funcionamento de uma Aeronave - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, 2010. Disponível em: <http://www.engbrasil.eng.br/ipa/aula5.pdf>
- SILVA, I. B. Anotações do Curso "Processamento de Materiais IV: Conformação". EESC USP, SMM. 2016
- SINMAZÇELIK, T.; ÇOBAN, O. A review: Fibre metal laminates, background, bonding types and applied test methods. Materials and Design. 32, 2011.
- SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Cabine de avião é fabricada com tecnologia a explosão, 2011. Online. Disponível em www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=cabine-aviao-estamparia-explosao. Capturado em 05/06/2016.