

O processo de conformação de chapas de alumínio em prensa de borracha para a indústria aeronáutica

Maurício Maroto (UNIP) mauricio.maroto@embraer.com.br

Resumo

Este artigo tem como objetivo apresentar o processo de conformação de chapas de alumínio, utilizando a tecnologia de prensa de borracha para indústrias do ramo aeronáutico. Neste trabalho discutem-se os principais conceitos envolvidos e regras de produção no processo de conformação de chapas de alumínio. Também são indicados os cuidados que devem ser observados para o ferramental a ser utilizado na tecnologia de prensa de borracha e a qualidade dos produtos conformados.

Palavras chave: Conformação de chapas de alumínio; Ramo aeronáutico; Produção.

1. Introdução

A indústria aeronáutica é a pioneira responsável para o desenvolvimento do processo de conformação em prensa de borracha e utiliza este recurso nos métodos de fabricação de seus produtos (GUIBERT, 1960).

A conformação das chapas de alumínio em prensa de borracha é um processo que se caracteriza pela possibilidade de fabricação de peças com geometrias bastante complexas. O processo de conformação em prensa de borracha possui algumas vantagens sobre os outros processos como, por exemplo: requer uma demanda de ferramental de baixo custo pelo fato de se utilizar componentes rígidos de materiais econômicos, garantia nas operações produtivas devido à tecnologia aplicada para a produção em série de produtos conformados, substituição dos processos convencionais de conformação manual e a precisão na conformabilidade de chapas de alumínio que define a configuração final de um determinado produto de alta complexidade nas operações do processo produtivo (BOLZ, 1963).

As variáveis envolvidas no processo podem afetar a qualidade das peças, causando o efeito mola nas abas conformadas das chapas de alumínio. Também devem receber atenção especial o ferramental, ou seja, os gabaritos de conformação, para que sejam projetados e fabricados de forma que não agredam o balão de borracha da prensa (STERN, 1962).

O artigo tem como objetivo abordar os principais conceitos envolvidos e regras de produção no processo de conformação de chapas de alumínio, através da tecnologia de prensa de borracha, bem como analisar a influência de cada uma das variáveis sobre a qualidade dos produtos conformados para a indústria aeronáutica.

2. A utilização das chapas de alumínio e o processo de conformação

A importância do metal alumínio na tecnologia moderna deve-se, em grande parte, à facilidade com que pode ser conformado em formas úteis, como tubos, barras e chapas finas e a variedade de acabamentos que podem ser aplicados ao metal. Isso mostra que a indústria do alumínio investe cada vez mais não só em tecnologia de produto e processo, mas também para conhecer melhor o mercado consumidor. Assim, as empresas têm conseguido tornarem-se competitivas para produzir e exportar produtos de maior valor agregado (GRIPS, 2005).

De acordo com Rollen Drake (1947) o alumínio é o incomparável metal da indústria, e as empresas aeronáuticas dependem em grande parte da utilização do alumínio para a redução de

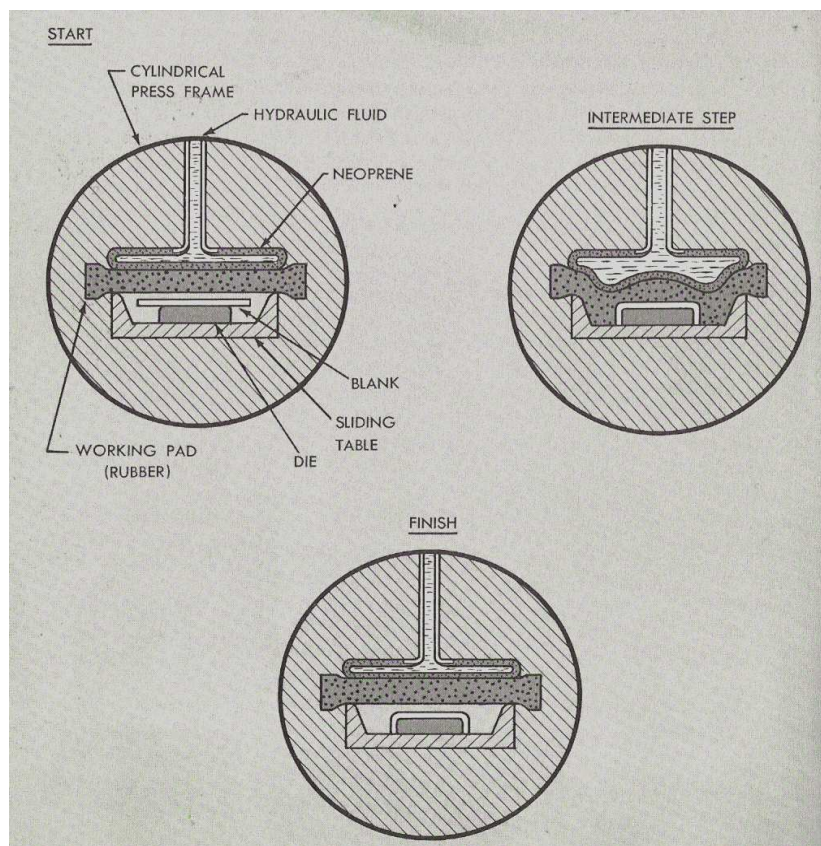
peso dos aviões e um melhor desempenho no processo de manufatura das peças, devido às características físicas e a maleabilidade do metal.

A redução do peso resultante permite o aumento da capacidade útil dos equipamentos, economia de combustível e menor desgaste dos produtos. O metal vem sendo cada vez mais usado no meio de transporte aéreo, ou seja, praticamente 80% do peso das aeronaves é constituído de peças de ligas de alumínio (WEINGAERTNER, 1991).

Os processos de conformação secundários são os métodos de conformação mecânicos utilizados para produzir formas acabadas de peças e são caracterizados por operações de fabricação e serão os objetos de estudo deste artigo. Para iniciar o estudo, é válido dizer que quando se fala em chapas de alumínio, deve-se ter em mente laminados com espessuras que variam entre 0,016in até 0,125in, equivalentes a 0,406mm até 3,175mm (ABNT, 1986) e com dimensões que variam desde pequenos componentes até revestimentos inteiros de uma parte da aeronave.

Sobre as chapas de ligas de alumínio mais utilizadas nos diversos modelos de aviões e suas respectivas aplicações: Al 2024 - aplicado nas nervuras, tampas e revestimentos, devido à elevada resistência mecânica, alta ductibilidade e boa conformabilidade; Al 6061 – aplicado nos suportes, cintas de fixação e conexões, devido a boa resistência à corrosão superior, boa conformabilidade e melhor soldabilidade; Al 7050 – aplicado nas longarinas e perfis, devido aos altos valores de resistência mecânica, boa resistência à corrosão superior e boa conformabilidade (GUIBERT, 1960).

O princípio de conformação na prensa de borracha, assim chamada pelo fato da borracha, exercer um papel importante, está ilustrado na figura (1).



Fonte: Stern (1962).

Figura 1 – O processo de conformação de chapas de alumínio em prensa de borracha

O método de utilização do balão de borracha consiste em aplicar diretamente a pressão hidráulica (pressão máxima das prensas 14000psi) sobre a borracha. As chapas de alumínio (blank) são fixadas sobre os gabaritos de conformação, que possuem a forma final da peça, colocados na gaveta e introduzida no interior da prensa. Uma câmara flexível na qual é injetado fluido hidráulico, pressiona o colchão principal de borracha, que por sua vez distribui a pressão por toda a gaveta da prensa. Por sobre a gaveta estende-se um tapete de borracha (mantas de poliuretano ou neoprene) para proteger o colchão principal contra eventuais danos que possam ser provocados pelos gabaritos de conformação. Em geral, observadas as limitações geométricas da gaveta da prensa, referente à extensão e a profundidade limitada, é o método mais empregado na tecnologia de conformação de chapas (BOLZ, 1958).

2.1 Efeito mola nas peças conformadas

Durante o processo de conformação pode ocorrer, dependendo da complexidade dos gabaritos e da espessura das chapas de alumínio, o efeito mola ou recuperação elástica (spring back). O efeito mola é a variação dimensional sofrida pela peça conformada, depois que a pressão do ferramental de conformação é liberada. Esta situação está ilustrada na figura (2).

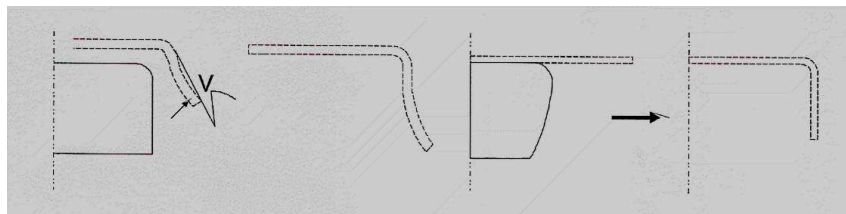


Figura 2 – O efeito mola (spring back) nas peças conformadas

Quando a carga é liberada, a deformação total é reduzida devido à recuperação elástica. Conseqüentemente, o efeito mola será tanto maior quanto maior for o limite de escoamento, menor o módulo elástico e maior a deformação plástica. O efeito mola de uma determinada deformação é proporcional à razão entre a dimensão lateral da chapa e a sua espessura.

O problema do efeito mola deve ser observado e a sua compensação é feita através de melhorias nos gabaritos de conformação. Os valores de compensação dos gabaritos variam de material para material de acordo com a condição de tratamento térmico que a liga de alumínio da peça se encontra, e o efeito mola é em função da pressão utilizada durante a conformação (STERN, 1962).

2.2 Abas curvas das peças conformadas

Uma aba curva pode ser classificada em uma das três classes, dependendo da direção em que a mesma é curvada em relação à alma: côncava, convexa e reversa. A aba côncava está sujeita a esforço de tração na direção longitudinal durante a conformação e a tensão máxima localiza-se na borda da chapa. A aba convexa sofre esforço de compressão na direção longitudinal e a tensão máxima localiza-se também na borda da chapa. A aba reversa consiste de dois segmentos, um côncavo e um convexo, adjacentes ou separados por um segmento reto.

O alongamento da aba das peças resulta em diminuição tanto na espessura como na largura da aba, enquanto que para o caso de encolhimento é obtido o efeito inverso. A ordem de grandeza dessas variações não é bem conhecida e pode ser desprezada para a maioria dos casos. O limite de conformabilidade corresponde ao limiar do rompimento na aba côncava e limiar de enrugamento na aba convexa, dado ambos pela máxima formação permitida na borda, conforme figura (3).

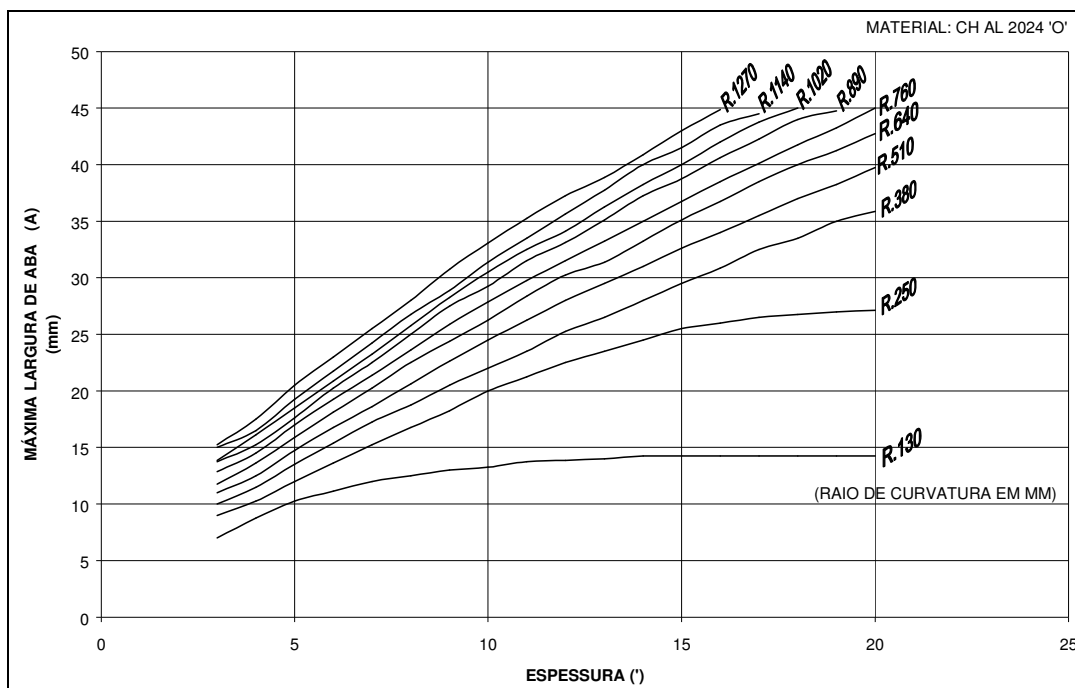


Figura 3 – Gráfico do limite de conformabilidade de abas convexas de chapa Al. 2024 "O" na prensa de borracha

2.3 As ferramentas de conformação adequadas no processo

As áreas de Projeto de Ferramental das diversas indústrias aeronáuticas possuem relações de trabalho e seguem normas de fabricação de gabaritos e dispositivos para auxiliar no processo de conformação. Na concepção dos projetos são consideradas as tolerâncias dimensionais e angulares relativas à fabricação do produto e as orientações para a fabricação das ferramentas que não agridam o balão da prensa de borracha, bem como os valores de compensação relativos a cada material, visto que a montagem das peças na aeronave depende da correta utilização destas tolerâncias, de modo a evitar interferências (CHIAVERINI, 1977).

Os gabaritos utilizados para conformação em prensa de borracha podem apresentar dispositivos para auxiliar na conformação e são conhecidos como DAM (dispositivo com barreira), contra-taco, anel de repuxo e cunha. São apresentadas a seguir, várias ferramentas utilizadas na prensa de borracha para a conformação de abas convexas. Para abas côncavas, não existem ferramentas especiais, ou seja, a conformabilidade é melhorada com o polimento das bordas da chapa.

A ferramenta DAM ou dispositivo com barreira é indicado para peças conformadas que são tratadas termicamente na condição recozida ou solubilizada e que possuem alta complexidade. A resistência a flambagem na conformação de aba convexa é resultado da dobra que se forma ao longo da aba imediatamente após o início de aplicação da pressão e que se acentua à medida que é forçada a se arrastar para baixo, sobre a superfície do DAM. O material de fabricação do dispositivo com barreira, para pressão de até 5000psi pode ser placa de madeirit e a dimensão estabelecida para fabricação é de aproximadamente 100% do valor da aba.

A ferramenta contra-taco é indicada para todos os tipos de peças conformadas e a finalidade básica é para a fixação do produto sobre o gabarito de conformação, evitando que haja enrugamento e o deslizamento das chapas na prensagem. Para os gabaritos de conformação e os contra-tacos são recomendadas para a fabricação, placas de alumínio laminado 2024-T3511, por ser de boa usinabilidade, liga de material leve, resistente à corrosão e aos impactos. Estas ferramentas são desenvolvidas conforme a necessidade e geometria do projeto

de produto das peças. Também são consideradas alças de içamento para os gabaritos de conformação com peso maior que 20kg para atender os requisitos de ergonomia.

A ferramenta anel de repuxo é indicada para peças que podem ser conformadas na condição de tratamento térmico recozida. As chapas devem apresentar alma com dimensões reduzidas, ou seja, área máxima com dimensões de 300,0mm x 300,0mm. A superfície não deve possuir curvatura e deformações, e devem ter abas em posições opostas durante a conformação, evitando desta maneira o perigo de danificar o gabarito, a peça e o próprio anel de repuxo. Deve-se usar pressão reduzida de 1000 a 1500psi, a fim de conformar suavemente as abas e evitar o fechamento do anel de repuxo. Com o anel de repuxo, as abas são conformadas somente a 90° em relação ao plano horizontal das peças. O material para a fabricação deve ser tão resistente quanto o aço e deve apresentar raio de repuxo com acabamento polido para evitar ranhuras nas abas das peças.

A ferramenta cunha é utilizada sempre que houver a necessidade de uma segunda operação de prensagem, para aplicar pressão lateral à aba conformada na primeira operação de processo. É empregada para melhorar rebaixos e desfazer pequenas rugas das chapas. O material para a fabricação é o mesmo empregado nos gabaritos de conformação, ou seja, Al 2024-T3511.

2.4 Procedimentos para a utilização da borracha da prensa

Na conformação em prensa de borracha, alguns cuidados devem ser tomados. O balão de borracha da prensa deve sempre estar protegido contra cantos vivos. Por isso, os gabaritos de conformação não devem conter esses cantos. Pedacos de elastômeros sintéticos, como as mantas de poliuretano, por serem mais duráveis, apresentando maior resistência a óleos e a solventes e maior resistência ao esmagamento e abrasão, devem ser dispostas de tal maneira que proporcionem boa conformação das peças, cobrindo as ferramentas na mesa da prensa.

Para peças com abas de largura mínima, são utilizadas mantas de borracha dura de 80 Shore. Para peças com abas côncavas e convexas, são utilizadas mantas de borracha dura de 50 a 60 Shore, pois retarda a formação de rugas nas chapas.

3. Conclusão

No processo de conformação de chapas de alumínio algumas regras devem ser bem entendidas e seguidas. As chapas de alumínio com o contorno planificado e ajuste nas bordas, devem ter os furos de fixação coordenados com o ferramental para uma boa conformabilidade do produto e garantia do processo produtivo.

O ferramental ou gabarito de conformação deve ser projetado e fabricado de forma a atender a fabricação em série de chapas conformadas na prensa de borracha, para a obtenção de peças com mínimo de retrabalho após a prensagem, como: desempenho das abas da peça.

Os cuidados de lubrificação das prensas através de óleo e graxa especial, segurança no acionamento do sistema de prensagem e a pressão hidráulica, tem fator importante para se obter um produto com qualidade intrínseca. Para a maioria das peças fabricadas para a indústria aeronáutica, a pressão hidráulica exigida nos roteiros de produção é de 5000psi e o tempo de ciclo em média é de 01 a 02 minutos por peça conformada.

Mais segurança, maior eficiência nas inovações tecnológicas e menores custos – estes são os pilares das visões do futuro em aeronáutica. Em um setor tão intensivo em tecnologia como o aeronáutico, estes antigos conceitos e métodos de produção são levados ao extremo para atender aos mais atualizados padrões de qualidade e segurança de vôo das aeronaves.

Referências bibliográficas

BOLZ, Roger W. Rubber Hydropress Forming. In: CORRAL, J. S. **Metals Engineering: Processes**. 5. ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1958. cap. 4, p. 128-132.

BOLZ, Roger W. Deep Drawing. In: _____. **Production Processes: The Producibility Handbook**. Cleveland: Penton, 1963. cap. 26, p. 379-400.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica: estrutura e propriedades dos metais e ligas - processos de fabricação**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1977. 478 p.

COLETÂNEA DE NORMAS DE ALUMÍNIO/ **Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)**. Chapas de alumínio e suas ligas – tolerâncias dimensionais. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. p. 81-97.

DRAKE, Rollen H. **Aircraft Sheet Metal**. New York: The Macmillan Company, 1947. 233 p.

GRIPS EDITORA. Henrique Isliker Pátria. Alumínio: Tabela de características e aplicações dos produtos laminados. **Guia de compras 2005 da Siderurgia Brasileira e Metais Não Ferrosos**, São Paulo, n. 6, p. 212-214, jan. 2005.

GUIBERT, M. P. **Fabrication des Avions et Missiles**. Paris: Dunod Éditeur Paris, 1960. 847 p.

STERN, Edward & Co. Rubber-Die Forming. In: _____. **Alcoa Aluminum: Forming Alcoa Aluminum**. Philadelphia: Aluminum Company of América, 1962. n. 6, p. 79-92.

WEINGAERTNER, Walter Lindolfo. Seleção e aplicação de ligas de alumínio. In: Schroeter, Rolf Bertrand. **Tecnologia de Usinagem do Alumínio e suas Ligas**. 2. ed. São Paulo: Alcan Alumínio do Brasil, 1991. cap. 5, p. 27-30.