



“SIMULAÇÃO DE UM PROCESSO DE
FORJAMENTO UTILIZANDO O PROGRAMA
LARSTRAN – SHAPE ”



Execução: Engº Mecânico Automotivo Eduardo André Hentz
Orientação: Prof. Dr. Ing. Lírio Schaeffer

1. INTRODUÇÃO

O investimento em ciência e tecnologia se torna necessário para otimizar os processos de fabricação, diminuir ou mesmo eliminar o método popularmente conhecido como “tentativa e erro”, que domina o cotidiano das empresas nacionais atualmente e tornar a indústria incompetitiva em âmbito mundial, devido ao alto custo deste método.

O forjamento é um processo de fabricação em série de peças metálicas concentrada nas mais variadas aplicações. Este processo pode ser classificado em forjamento a frio, a morno ou a quente em função da temperatura do material em que ocorre a conformação. Outra forma de classificação diz respeito à geometria das matrizes, podendo ser aberta, fechada com rebarba ou fechada sem rebarba. Em geral as peças produzidas por este processo sofrem, após o forjamento, operações de usinagem para o acabamento.

A utilização do titânio e suas ligas vêm sendo largamente exploradas devido à combinação de sua alta resistência mecânica com baixa densidade e, ainda, excelente resistência à corrosão. Este material tem sido empregado, principalmente, nas indústrias aeronáutica, aeroespacial, petrolífera, materiais biomédicos e em competições automotivas como a Fórmula-1.

A conformação a quente do titânio é geralmente realizada em alta temperatura devido à redução da tensão de escoamento do material e da possibilidade da ocorrência de trincas e falhas no preenchimento. A curva de escoamento desta liga é fortemente dependente da temperatura e da velocidade de deformação.

Este trabalho realiza o desenvolvimento do processo de forjamento a quente de uma peça em liga de titânio Ti6Al4V com o auxílio do programa de cálculo de elementos finitos Larstran/shape. O forjamento é realizado a quente em matriz fechada com rebarba.

2. O PROGRAMA DE SIMULAÇÃO

Desde o final da década de 60, com os primeiros trabalhos de simulação computacional e método de elementos finitos (FEM) voltados para a conformação mecânica, pode-se com maior confiabilidade efetivar a análise dos processos de conformação em vários aspectos: distribuição da deformação, tensões nas ferramentas, efeito das velocidades de deformação, gradiente de temperatura na peça, preenchimento da matriz, entre outros.

O método de elemento finito pode modelar o processo industrial do forjamento e avaliar as condições do processo ou dos parâmetros de projeto e os resultados servem para uma decisão melhor da engenharia, podendo ser testados e analisados sob diversas situações e quantas vezes for necessária num curto espaço de tempo, o que representa economia por se tratar de testes computacionais.

A formulação do método de elementos finitos, em linhas gerais, consiste em discretizar a peça a ser deformada em um número finito de elementos, minimizar o variacional representativo da energia envolvida na conformação, calcular as equações discretas da elastoplasticidade, verificar equações de compatibilidade para os valores de tensão obtidos. Durante a minimização do variacional, os valores de velocidade servem de entrada para os cálculos das deformações e tensões durante a simulação. O procedimento acima é realizado em pequenos intervalos de tempo que representam a divisão do tempo da operação de conformação sendo analisada. Os dados dos materiais que alimentam os programas, como a curva de escoamento, coeficiente de atrito, dados térmicos, entre outros.

3. OBJETIVOS DO PROJETO

Os principais objetivos do projeto são:

- Simulação do processo de forjamento da liga de titânio Ti6Al4V, para a fabricação de um flange, utilizado na indústria petrolífera (figura 1), através de forjamento à quente;
- Repasse dos resultados do programa de simulação numérica do processo ao sistema de CAD/CAM para agilizar a fabricação de matrizes em máquinas CNC;
- Otimizar o processo de forjamento da liga através da simulação e conferir os resultados no forjamento prático;

Com a conformação desta peça por forjamento, se obtém um ganho de matéria-prima utilizada em aproximadamente 56%, em comparação a usinagem, além de maior rapidez no processo de fabricação e ganhos sob o ponto de vista das propriedades mecânicas da peça, se tem uma diminuição nos custos com matéria-prima.

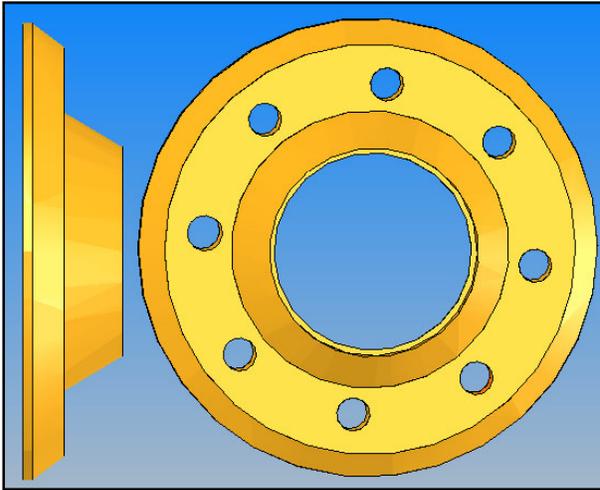


Figura 1. Flange final

4. MÉTODO

O estudo segue as seguintes metas:

1. Simulação numérica computacional do processo;
2. Otimização do processo com diferentes dados de entrada;
3. Repasse dos dados obtidos para o projeto do ferramental de conformação da peça;
4. Avaliação dos resultados: dados práticos versus dados obtidos na simulação;
5. Publicação de material técnico-científico.

5. SIMULAÇÃO DO PROCESSO

Com o projeto do ferramental (figuras 2.a e 2.b) previamente definidos, onde se optou por matrizes fechadas, com rebarba. Através da simulação, a qual foi escolhida bidimensional - 2D devido à simetria radial e a diminuição do tempo de processo, os resultados obtidos serão utilizados na definição do processo de forjamento, sucessivamente no projeto do ferramental e do tamanho da geratriz.

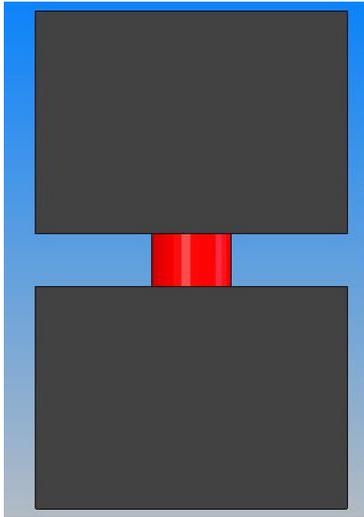


Figura 2.a – Projeto das matrizes

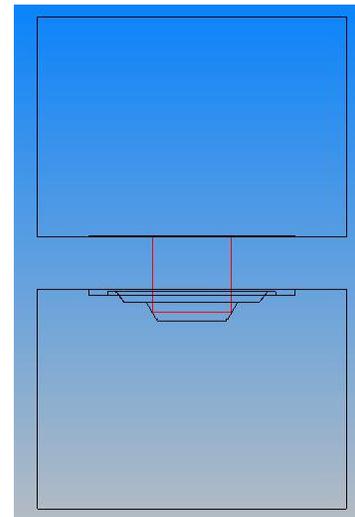


Figura 2.b – Corte nas matrizes

Para os cálculos no programa Larstran/shape foram utilizado os dados que

seguem:

- Tamanho da malha = 1,5 mm;
- Coeficiente de atrito (μ) de 0,5;
- Velocidade de ferramenta (v_f) de 6,7 mm/s;
- Temperatura (ϑ_F) das matrizes 200° C;
- Densidade (ρ) do material de 0,00000443 kg/mm³;
- Calor específico (c_p) de 526,3 j/kg*K;
- Condução de calor (λ) de 0,0067 W/mm*K;
- Módulo de elasticidade (E) de 113.800 N/mm²;
- Expansão de calor de 0,0000097 1/K;
- Coeficiente de transferência de calor (α) 0,04 W/K*mm²;
- Coeficiente de radiação (ε) 0,7;
- Temperatura da geratriz (ϑ_M) considerada homogênea 950°C;
- Temperatura (ϑ) ambiente de 25° C.

O início da simulação numérica computacional (figura 3) da peça a ser obtida, de onde se verificou que a neste sistema as peças produzidas teriam preenchimento total, final do processo (figura 4).

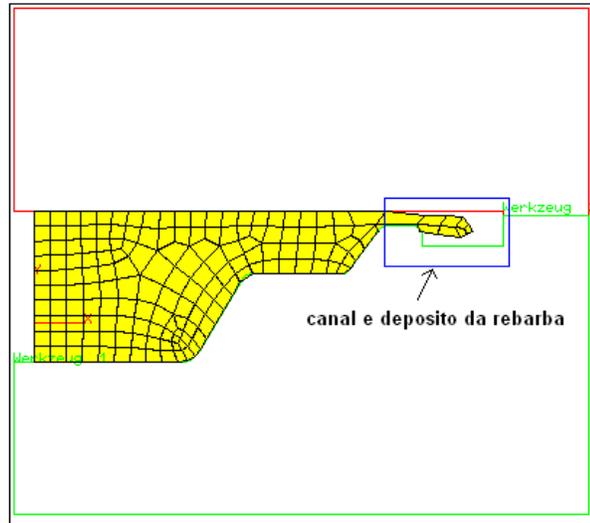
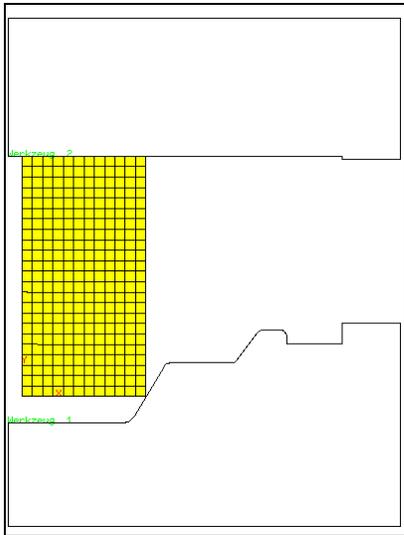


Figura 3. Início do processo na simulação. Figura 4. Final do processo, preenchimento total, com rebarba.

A figura 5 demonstra o campo de temperaturas ($^{\circ}\text{C}$) que ocorrem na peça durante o processo de forjamento, existem ainda as tensões de escoamento, a velocidade de deformação, a deformação entre outros. O programa propicia uma variedade de dados para a análise do processo de forjamento.

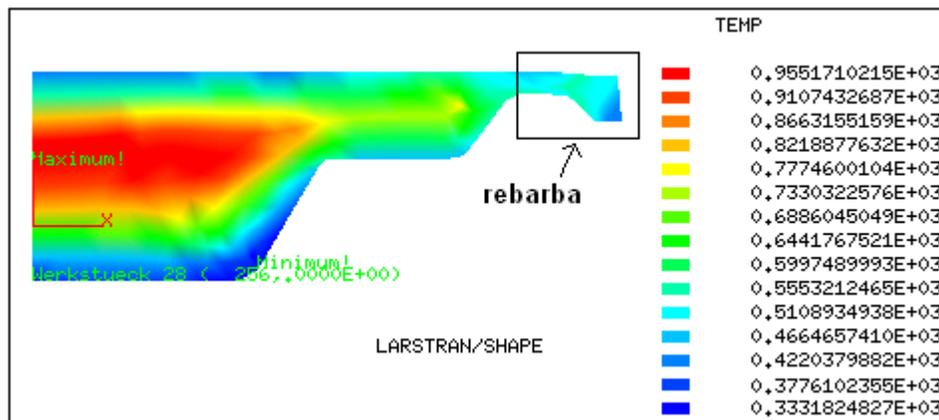


Figura 5. Campo de temperatura na peça forjada.

6. PRÓXIMAS ETAPAS

A seqüência dos trabalhos se dará através de simulações bi e tridimensional do processo, com diferentes tamanhos de geratrizes, com variações na temperatura da geratriz e das matrizes, de modo a otimizar a relação ao preenchimento e à força de conformação.