



SIMULAÇÃO DE FREIOS DE ESTAMPAGEM EM CHAPAS METÁLICAS

Duarte, Écio Naves

UFU Campus Sta. Mônica - Bloco 1M – Sala Femec-Cimne
Uberlândia - MG - CEP.: 38400 - 902
e-mail: endumarte@mecanica.ufu.br

Oliveira, S. A . G.

e-mail: sgoulart@mecanica.ufu.br

Resumo: Neste trabalho encontram-se os resultados parciais oriundos do estudo da influência de parâmetros geométricos e de caracterização de materiais na força de restrição de um freio de estampagem em chapas metálicas. Os estudos suplementares deste tema deverão convergir para a conclusão de uma tese de doutorado cujo objetivo é dar uma contribuição a um software comercial de estampagem de chapas metálicas já em comercialização de maneira a torná-lo mais amigável. Objetiva-se, mais especificamente ainda, a eliminação da necessidade atual de se proceder a uma pré-simulação da referida força de restrição devida aos freios de estampagem, antes da simulação efetiva da estampagem de uma chapa metálica. Freios de estampagem são utilizados para controlar o fluxo de material para dentro da cavidade da matriz de estampagem. Estes dispositivos podem ajudar a melhorar o acabamento de peças estampadas, evitando a ocorrência de dobras e de fraturas do material estampado, caso a força de restrição por eles desenvolvida seja adequadamente dimensionada. Neste trabalho estão registrados os resultados obtidos na simulação em Elementos Finitos (EF) da influência do atrito e da espessura da chapa metálica na Força de Restrição dos Freios de Estampagem (FRFE). Os resultados foram comparados com base de dados experimentais para um tipo de aço e um de alumínio idênticos aos materiais dos experimentos para se estabelecer uma relação teórica preditiva, via similitude, da FRFE.

Palavras-chave: freios de estampagem, elementos finitos, chapas metálicas.

1. INTRODUÇÃO

É muito importante, em um processo de estampagem, ter um bom equilíbrio entre a quantidade de expansão do material conformado na parte central da peça sujeita à ação do punção e aquela que ocorre na região externa da peça.

Em algumas aplicações, o atrito não controla adequadamente o fluxo de material através do sujeitador. Nestas situações, freios de estampagem são implementados para atuarem em associação aos sujeitadores de maneira a controlarem adequadamente o fluxo de material para dentro da matriz de estampagem. O fluxo do material estampado para dentro da matriz é controlado pela força de restrição dos freios de estampagem (FRFE) que precisa ter um valor tal que nem permita levar à formação de rugas ou dobras na peça de trabalho, nem tampouco a ocorrência de uma estricção e posterior fratura da chapa.

Um freio de estampagem se compõe de uma saliência, geralmente semicilíndrica ou em forma de conta, que penetra em uma ranhura na parte externa da matriz, conforme Figura 1:

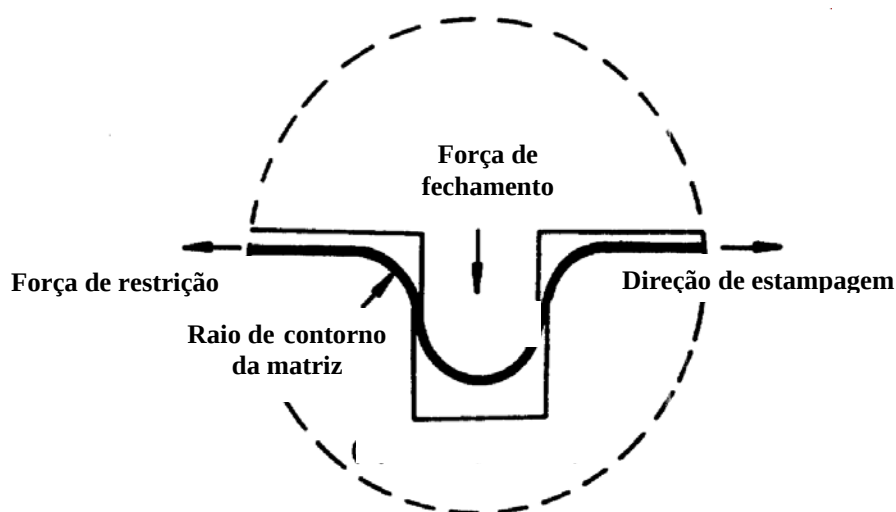


Fig.1: Processo de estampagem com freios circulares.

Estes dispositivos podem efetivamente contribuir no controle adequado do fluxo do material de chapas em estampagem para dentro da matriz, mas têm algumas desvantagens: Podem causar excessivas deformações nas chapas que passam por eles e deixar saliências na chapa que poderão ser arrancadas em forma de fragmentos ou ainda comprometer o acabamento superficial da peça, [4].

Outro problema que surge na prática, ao se utilizar estes freios, é a dificuldade de se determinar o valor da força de resistência dos diferentes tipos de freios (*Drawbead Restraining Force* – DBRF) e seu efeito no processo de estampagem. Por isso, conceitos mais precisos a respeito desta força e da pré-deformação na saída do freio se tornam cada vez mais desejados pelos projetistas.

Modelos numéricos foram desenvolvidos por Ghoo, [4], e Carleer, [1], para o estudo de freios de estampagem. Outros trabalhos propuseram ainda modelos analíticos em [5], [8], [2] e [3], os quais foram utilizados na predição da DBRF nas geometrias mais usuais de freios de estampagem – como os circulares, os retangulares ou em degrau.

Este artigo é parte de um trabalho maior que propõe estudar a contribuição daqueles parâmetros que têm maior influência no cálculo da DBRF para os diversos tipos de freios mais usuais, comercialmente. Entretanto, está aqui registrado somente a parte do estudo dos freios circulares de estampagem, com respeito às influências da espessura da chapa no cálculo da DBRF. Equações empíricas oriundas da regressão linear simples para determinação das DBRF's referentes aos modelos de freios circulares com chapas de espessuras comerciais mais comuns foram levantadas, utilizando-se simulações bidimensionais em Elementos Finitos (EF). Na validação dos modelos numéricos desenvolvidos foram utilizadas as bases de dados experimentais obtidas por Nine, [6] e [7], o que se obteve com discrepâncias nunca superiores a 10 por cento, para as espessuras de chapas estudadas e com os materiais caracterizados nas simulações deste trabalho – aço e alumínio.

2. PARÂMETROS IMPORTANTES NO CÁLCULO DA DBRF

As forças de deformação surgem por causa de uma complexa combinação de fatores geométricos e de materiais. Um fator que seguramente afeta a magnitude das forças de deformação é a deformação local, a qual é determinada pela geometria do freio – conforme Figura 2 – e pela espessura da chapa metálica.

Além disso, folgas entre o sujeitador de cima e o de baixo e os elementos do freio de estampagem são muito importantes. Isto porque se as folgas forem muito grandes ou se não houver uma grande penetração da saliência na ranhura do freio resultará então que os reais raios de arredondamentos dos freios serão na verdade maiores que os valores assumidos como referências da geometria do freio. Sendo assim, a deformação por flexão real será menor que a deformação calculada. Acresça-se a isto, a magnitude das deformações plásticas que, quando comparadas às deformações elásticas, determinarão a hipótese de plasticidade assumida, isto é, plástica, elastoplástica, etc.

O encruamento também afetará as forças de deformação, o qual deverá ser representado em uma lei constitutiva no desenvolvimento de um modelo matemático. As deformações são invertidas quatro vezes enquanto um elemento de chapa passa pelo freio. Por isso, um encruamento cíclico deve ser considerado, ao invés de um encruamento unidirecional. E a formulação de uma equação constitutiva para este caso específico pode ser difícil.

Finalmente, o estado de deformação também pode influenciar no mecanismo de encruamento do material estampado.

Experimentos foram especificamente projetados para se determinar a importância destes fatores por Nine, [6], donde foram retiradas as bases de dados para a validação deste trabalho.

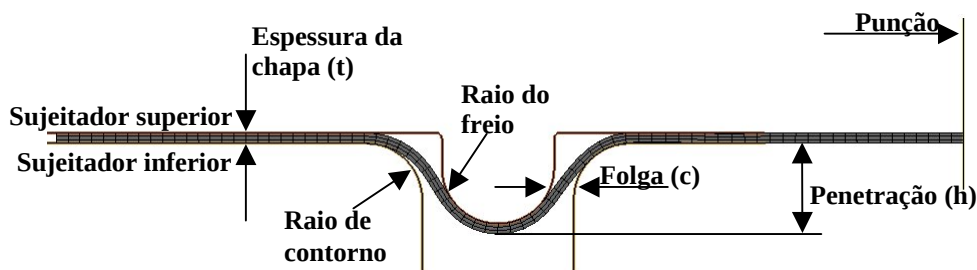


Fig.2: Geometria de um freio de estampagem circular.

3. O MODELO EM ELEMENTOS FINITOS

Com o objetivo de se calcular a DBRF com o rigor desejado, dois modelos em EF foram projetados. O primeiro deles pode ser observado na Figura 3, onde se apresenta a chapa estampada através do freio circular, entre o sujeitador e a matriz. Sua malha está estruturada em elementos quadriláteros, com três elementos ao longo da espessura da chapa, nas diversas espessuras utilizadas nas simulações. Pode-se observar na mesma Figura, a representação do sujeitador com o sentido de aplicação da força de fechamento da matriz (*Blank Holding Force – BHF*), do punção e seu sentido de deslocamento junto com a chapa e da saliência que compõe o freio circular.

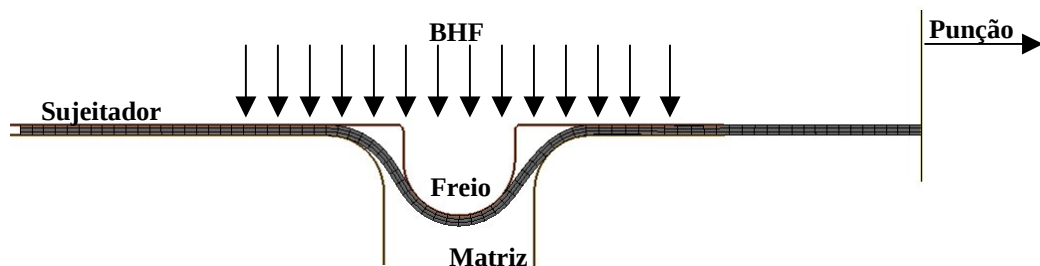


Fig.3: Modelo 1 em EF do freio circular.

O segundo modelo em EF foi projetado similarmente ao modelo 2, com a chapa entre o sujeitador e a matriz, mas sem o freio, conforme Figura 4. Isto foi feito com o objetivo de se calcular somente a contribuição do freio na composição da força de estampagem, subtraindo-se a parte devida ao atrito entre a chapa e o sujeitador e entre a chapa e a matriz. Esta contribuição foi calculada no modelo 2 e, posteriormente, subtraída da DBRF calculada no modelo 1 com o freio circular.



Fig.4: Modelo 2 em EF, sem o freio de estampagem.

Analisando-se o percurso de um elemento da chapa, verificou-se o deslocamento mínimo adequado à simulação do punção. Isto se fez, garantindo-se que um determinado elemento percorresse toda a região de flexão, deslizamento e flexão inversa dentro do comprimento total do freio.

4. PARÂMETROS UTILIZADOS

A Tabela 1 traz os principais valores dos parâmetros utilizados nas diversas simulações e as leis de comportamento dos materiais adotadas:

Tabela 1: Propriedades e leis de comportamento adotadas para os materiais utilizados.

Material	Alumínio	Aço
E (Módulo de Young)	70.5 GPa	206 GPa
ν (Poisson)	0.34	0.29
S_y (Lim. de Escoamento)	182 MPa	171.7 MPa
r_0 (Coef. de Lankford)	0.894	1.58
r_{45} (Coef. de Lankford)	0.611	1.58
R_{90} (Coef. de Lankford)	0.660	1.58
Hill (Critério adotado)	Hill 90	Hill 48
Anisotropia	Anisotropia planar	Anisotropia transversal
Lei de encruamento	Ludwik-Nadai	Ludwik-Nadai
Const. de encruamento	540 MPa	516 MPa
Exp. de encruamento	0.225	0.230
Expoente de Hill	1.72	1.72

A análise para que se obtivesse uma simulação do comportamento da DBRF se fez através dos cálculos para sete diferentes valores de espessura da chapa, quais sejam, em milímetros: 0.55, 0.65, 0.76, 0.90, 1.10, 1.30 e 1.50. O comprimento total da chapa simulada foi de 80 mm. Incluiu-se neste espectro de valores uma espessura igual ao valor utilizado por Nine, [7], em seus trabalhos experimentais. Isto também se fez para os demais parâmetros descritos a seguir, objetivando-se, também, a validação dos dois modelos desenvolvidos.

Após procedimentos da validação, cuidados foram tomados também com o objetivo de se aplicar uma força de fechamento do sujeitador (*blank holding force* – BHF) de tal magnitude que, independente da geometria ou do material, a chapa se mantivesse em perfeita conformação com a curvatura do freio e da matriz, mas dentro de uma zona de segurança em que não houvesse estricção de nenhum elemento da chapa. O valor utilizado para se alcançar este objetivo foi de 25 toneladas.

Uma folga vertical de 0.76 mm foi deixada entre o freio e a matriz e foi mantida constante em todas as simulações.

A penetração do freio em relação à matriz, medida a partir do primeiro contato entre este e a chapa foi, em todos os casos, de 7.7 mm.

Para o coeficiente de atrito, o valor assumido foi de 0.17.

Os valores dos raios de contornos do freio e da matriz foram assumidos iguais a 4.75mm.

Os valores simulados para o deslocamento e a velocidade do punção foram de 38 mm e 85mm/s, respectivamente. Esse valor para o deslocamento foi adotado por ser o mínimo necessário para que se garantisse que um elemento fizesse todo o percurso ao longo do freio de estampagem.

5. RESULTADOS

5.1 Influência da espessura da chapa no valor da FRFE

Para se realizar as simulações, utilizou-se o *software* em elementos finitos para estampagem de chapas metálicas STAMPACK®. A discretização do modelo foi feita conforme seção 2 deste trabalho e os parâmetros de ajuste do código, em consonância com a seção anterior.

A Figura 5 ilustra um dos resultados obtidos diretamente da simulação da DBRF para uma espessura de chapa de aço de 0.76 mm, referente ao modelo 1, em EF, com o freio de estampagem circular e os demais parâmetros especificados na seção 4.

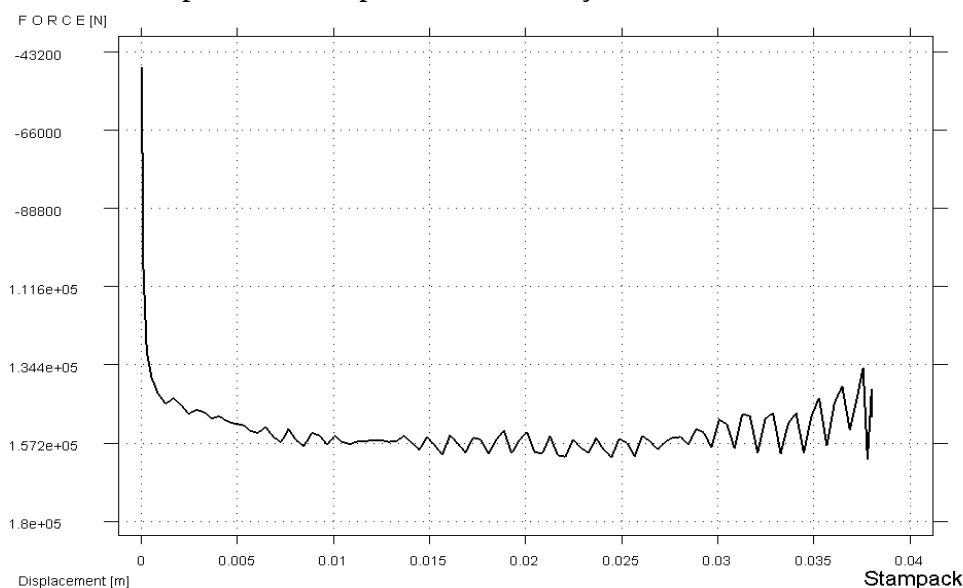


Figura 5: Simulação da DBRF em EF para chapa de aço, com 0.76 mm de espessura.

Na Figura 6 encontram-se representadas as DBRF's para cada uma das sete espessuras de chapas utilizadas nas simulações para o aço e o alumínio, já descontadas as contribuições devidas ao atrito da chapa com a matriz e o sujeitador, conforme seção 2 deste trabalho. Pode-se observar ainda no gráfico da Figura 6 que os valores para a DBRF têm forte tendência de crescimento linear quando se aumentam as espessuras de chapas simuladas, sejam para o aço, sejam para o alumínio.

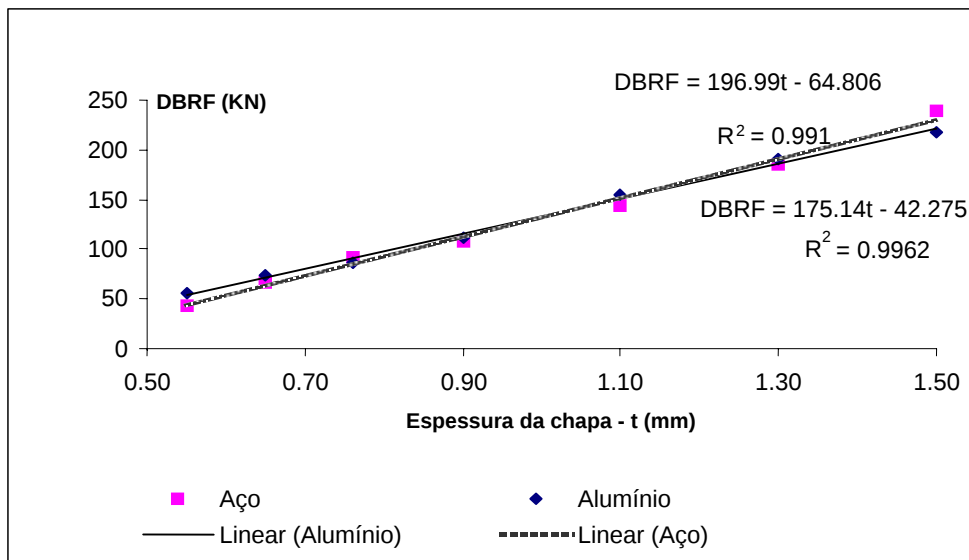


Figura 6: DBRF calculadas para as sete espessuras de chapas de aço e alumínio.

Cabe ainda ressaltar que a força de fechamento de 25 toneladas não foi suficiente para manter a chapa de alumínio, na sua maior espessura – 1.5 mm – totalmente fechada e em contato com a matriz em toda sua extensão durante o processo de estampagem, conforme Figura 7. Infere-se daí, portanto, que não houve variações suficientemente fortes entre a DBRF e as características dos materiais utilizados nas simulações deste trabalho.

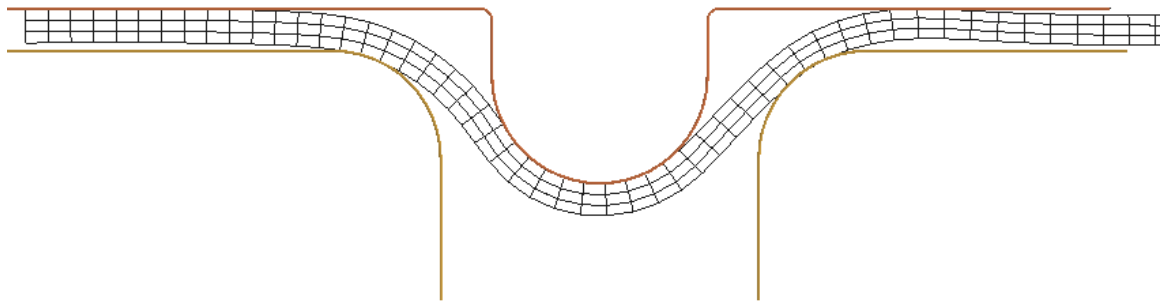


Figura 7: Deformação simulada para a chapa em alumínio de maior espessura.

Em nenhum caso houve deformação da espessura da chapa superior a 15 por cento em relação à espessura inicial, conforme se pode observar na Figura 8.

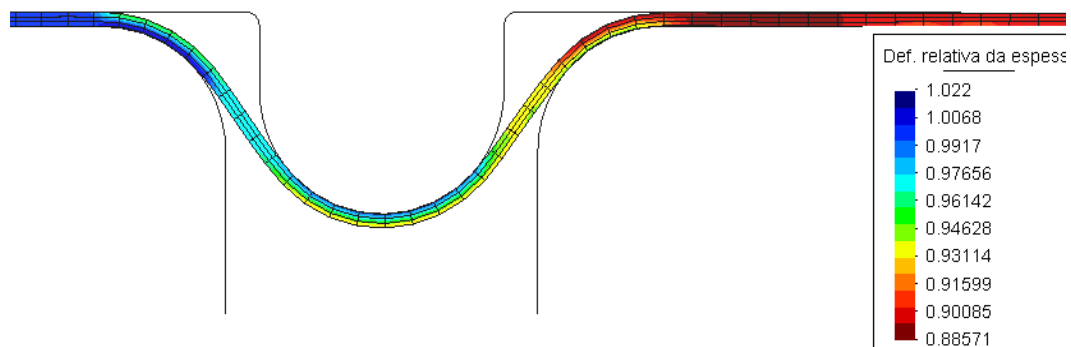


Figura 8: Cálculo da def. relativa da espessura para a chapa de alumínio de menor espessura.

No cálculo da deformação relativa, para a espessura crítica de chapa de alumínio, isto é, a menor espessura – 0.55 mm – não houve sequer um elemento que extrapolasse a região de segurança, garantindo-se a não ocorrência de estricção em nenhum destes elementos.

5.2 Influência do atrito no valor da FRFE

As figuras 9 e 10 trazem os resultados obtidos para a simulação da influência do atrito na FRFE para o aço e o alumínio, respectivamente. Estes resultados foram obtidos das simulações utilizando-se os parâmetros da Tabela 1 e durante as quais se mantiveram todos constantes, excetuando-se os valores do atrito. O espectro de valores utilizado para as simulações do atrito variou de 0,05 a 0,25, que são valores mais usuais, na prática de estampagem de chapas metálicas.

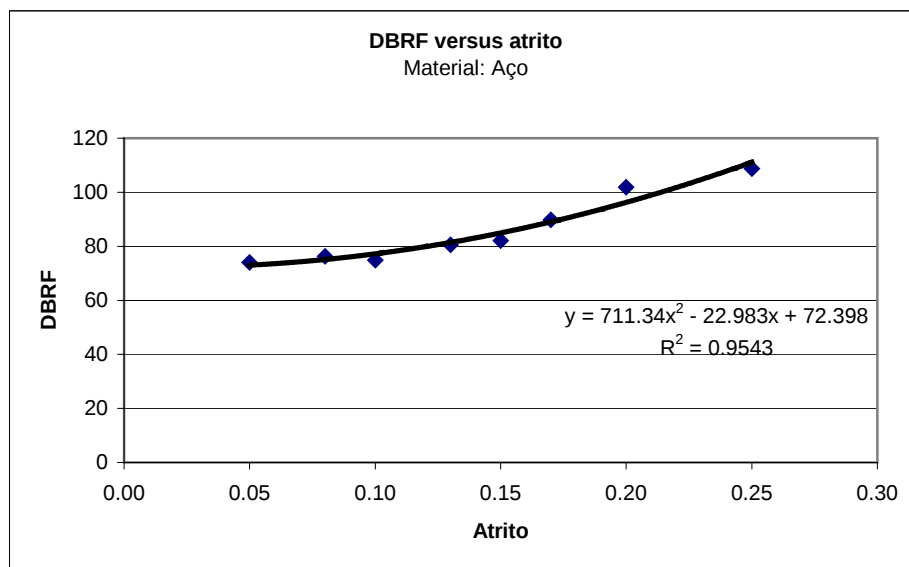


Figura 9: Cálculo da def. relativa da espessura para a chapa de alumínio de menor espessura.

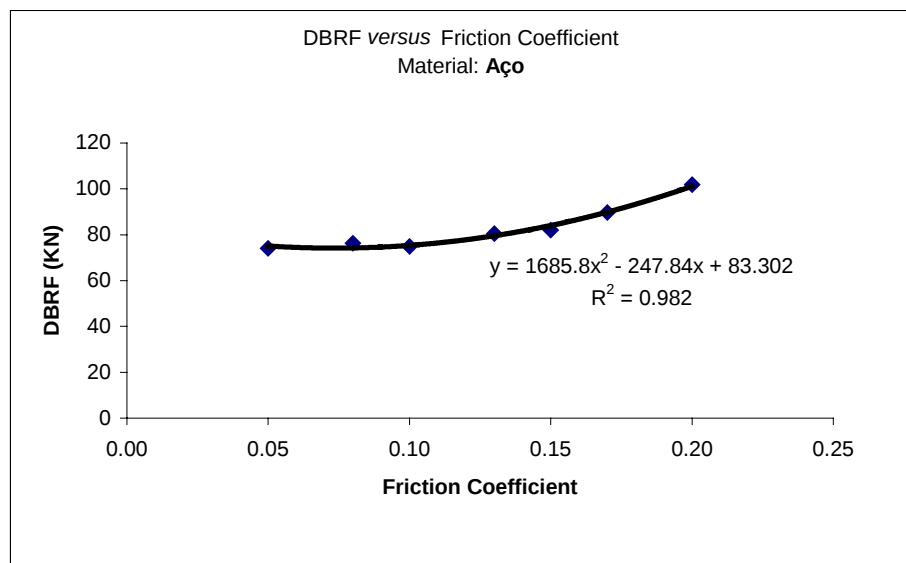


Figura 10: Cálculo da def. relativa da espessura para a chapa de alumínio de menor espessura.

Nas figuras 9 e 10 constam sete pontos obtidos para as simulações da FRFE para o aço e o alumínio, respectivamente. Uma linha de tendência polinomial de segunda ordem foi adicionada como resultado da regressão calculada para estes sete pontos.

6. CONCLUSÕES

- Dois modelos em Elementos Finitos foram desenvolvidos para se estudar a influência da espessura de uma chapa metálica na força de resistência de um freio de estampagem – FRFE – tendo sido utilizados para simular sete diferentes espessuras de chapas para dois tipos de materiais: aço e alumínio;
- A validação foi feita para a espessura de chapa de 0.76mm, em aço, igual ao valor utilizado na ref. [7]. Os demais parâmetros geométricos, de propriedades e as leis de comportamento mecânico dos materiais foram mantidos constantes e iguais aos utilizados na citada referência;
- Para os casos de validação, a maior discrepância dos resultados foi de 10%;
- Os resultados obtidos nas simulações para os dois materiais - aço e alumínio – indicam haver uma forte tendência de linearidade na relação entre a espessura da chapa e a FRFE, na faixa de espessuras consideradas;
- Houve correlação superior a 0.995 em ambos os casos em que uma linha de tendência foi adicionada ao gráfico das FRFE *versus* espessura de chapa.
- Houve correlação superior a 0.95 em ambos os casos em que uma linha de tendência foi adicionada ao gráfico das FRFE *versus* o atrito entre o freio de estampagem e a chapa metálica, para as condições estudadas.

7. REFERÊNCIAS

- Carleer, B. D., Menders, T., Huétink, H., Equivalent drawbead model in finite element simulations, in: *Proceedings of the Numerical Simulations of 3D Sheet Metal forming Processes (NUMISHEET'P6)*, 1996, pp.25-31.
- Chen, F., Tszeng, P., An analysis of drawbead restraining force in the stamping process, in: *International Journal of Machine Tools* 38 (1998) 827-842.
- Courvoisier, L., Martiny, M., Ferron, G., Analytical modelling of drawbeads in sheet metal forming, in *Journal of Materials Processing Technology* 133 (2003) 359-370.
- Goo, B. Y., Keum, Y. T., Expert drawbead models for sectional FEM analysis of sheet metal forming, in: *Journal of Materials Processing Technology* 105 (2000) 7-16.
- Kim, Y. S., Kim, K.S., A study on friction-constraint of drawbead (I), in: *Proceedings of the Korean Society for Mechanical Engineering*, 1991, pp. 120-124.
- Nine, H. D., Drawbead forces in sheet metal forming, in: *D. P. Koistinen, N. M. Wang (Eds.), Mechanics of Sheet Metal Forming*, Plenum Press, N. York, 1978, pp.179-211.
- Nine, H. D., New drawbead concepts for sheet metal forming, in: *J. Appl. Metalworking* 2 (1982) 185 – 192.

Stoughton, T. B., Model of drawbead forces in sheet metal forming, in: *Proceedings of the 15th IDDRG*, 1988, pp. 205-215.

DRAWBED RESTRAINING FORCE IN SHEET METAL FORMING

Duarte, E. N.
Federal University of Uberlandia - UFU
Campus Sta. Mônica - Bloco 1M – Sala Femec-Cimne
Uberlândia - MG - CEP.: 38400 - 902
e-mail: endumarte@mecanica.ufu.br

Oliveira, S. A. G.
e-mail sgoulart@mecanica.ufu.br

Abstract: *Drawbeads control the material flow into the die cavity in sheet metal forming, although excessive deformations may occur while the sheet passes through them. They have other disadvantages such as difficulties to adjust during die try-out for obtaining the actual Drawbead Restraining Force (DBRF). To reduce the try-outs, which are very time consuming, precise drawbead concepts are necessary to solve these problems and to control the sheet flow into the die cavity efficiently. The aim of this paper, that is a part of a wider study about drawbeads, is to understand the influence on the DBRF of one of its main design characteristics, namely, the sheet thickness. For this purpose, simulations with Finite Element models were made, by varying the sheet thickness and maintaining constant the others geometric and material property parameters constants. The results were compared with those from experimental databases. Two different materials were used: A-K Steel and 2036-T4 Aluminum, to establish a pre-estimate DBRF theory for these cases.*

Keywords: *Drawbead, finit element method, sheet metal forming, restraining force.*