

INFLUÊNCIA DO ATRITO NA FORÇA DE RESTRIÇÃO DE UM FREIO RETANGULAR DE ESTAMPAGEM

Bernard Muffato Pereira

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila 2121, Bairro Sta Mônica, Uberlândia – MG.
bernardmuffato@gmail.com

Écio Naves Duarte

enduarte@mecanica.ufu.br

Sonia A. Goulart de Oliveira

sgoulart@mecanica.ufu.br

Resumo: *Visando uma melhor qualidade do produto final em estampagem torna-se essencial o controle do fluxo de material das bordas para o centro da chapa. Esse controle pode ser realizado através do prensa-chapa, de freios ou de ambos. Quando se necessita de uma força de restrição (FR) maior o uso de freios se torna indispensável, mesmo que este cause deformações excessivas. Outro problema está no consumo de tempo e equipamento para ajustá-los. Para se resolver estes problemas o uso de uma simulação precisa e confiável pode diminuir o tempo e os custos dos ajustes destes freios. Este estudo realiza uma abordagem dos freios retangulares, analisando o efeito da força de atrito na FR destes. Para isto foram elaborados dois modelos: um com freio e outro sem freio. Estas simulações foram realizadas através do código STAMPACK[®] utilizando o método dos elementos finitos. Os resultados encontrados são analisados para a variação da FR resultante com o coeficiente de atrito (μ). Outros resultados analisados são relativos à conformação da chapa ao formato do freio.*

Palavras-chave: *freio de estampagem, freio retangular, força de restrição, método dos elementos finitos, estampagem.*

1. INTRODUÇÃO

Freios de estampagem são pequenas saliências posicionadas no prensa-chapa que penetram em uma ranhura situada na parte externa da matriz. Esse dispositivo pode apresentar diferentes geometrias que possuem diferentes valores de eficiência. A figura 1 representa o esquema para um freio circular.

Esses freios são bastante eficazes no controle do fluxo de material da chapa para dentro da matriz. No entanto, o uso desses freios apresenta algumas desvantagens: podem causar excessivas deformações nas chapas que passam por eles; podem deixar saliências na chapa que deverão ser arrancadas após a estampagem ou ainda comprometerem o acabamento superficial da peça (Goo et al., 2000).

Outro problema está na dificuldade de se determinar a força da resistência dos diferentes tipos de freios (Força de Restrição do Freio de Estampagem – FR) e seu efeito no processo global de estampagem. Por isso, cada vez mais, projetistas necessitam de dados e conceitos mais precisos a respeito dessa força e de seus efeitos.

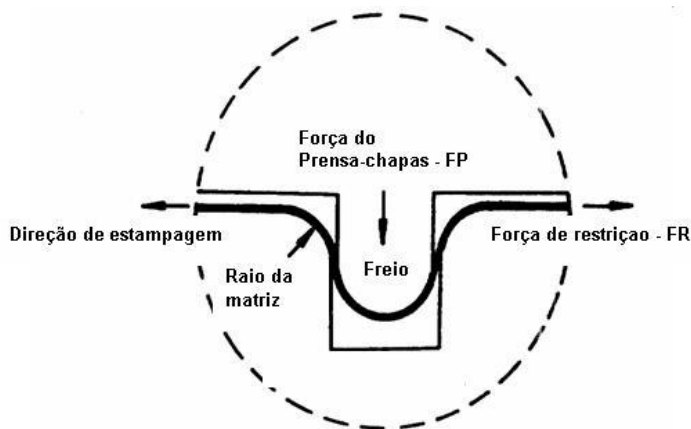


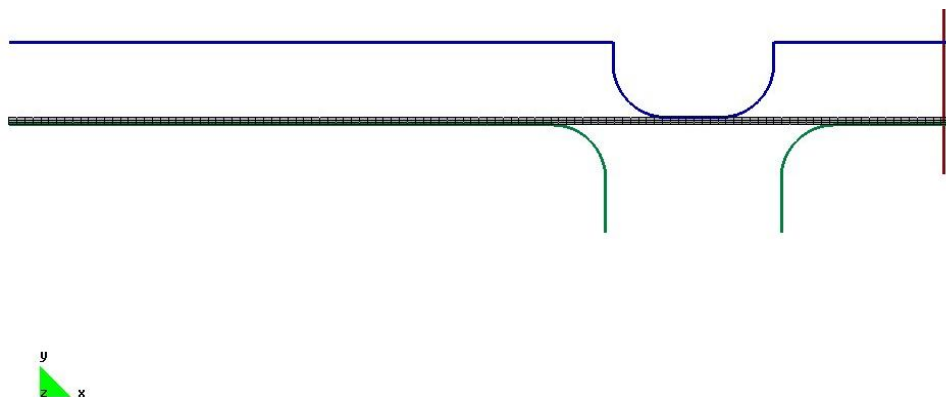
Figura 1: Processo de estampagem com freios convencionais.

É essencial, neste processo, que se mantenha um equilíbrio entre a quantidade de expansão do material conformado na parte central da peça, sujeita à ação do punção, e aquela que ocorre nas extremidades da peça. Os freios de estampagem são utilizados para controlar o fluxo de material das extremidades para o centro da peça estampada, pois um fluxo muito grande de material, devido a uma baixa força de restrição, pode levar a formação de rugas ou dobras na peça de trabalho. E, por outro lado, uma força de restrição muito elevada gera uma maior deformação na parte central, levando a uma estricção e posteriormente a falha da peça.

Já existem alguns códigos capazes de simular o processo de estampagem em chapas metálicas. Sendo que melhorias, na interface com o usuário e no tempo de cálculo, destes programas tornam-se essenciais, sendo esta a principal motivação para esse trabalho. Este trabalho envolve estudos e simulações para um freio de estampagem, de formato retangular (freios de fundo chato – *flat-bottom drawbeads*).

Experimentos anteriores comprovaram que em freios de estampagem a deformação da chapa corresponde a cerca de 65% a 85% da força total de restrição do freio (Nine, 1978), sendo que a outra parte é devido à força de fricção. A força de restrição surge devido aos raios de curvatura de um freio, sendo que, ao submeter a chapa a tais raios uma força de deformação surgirá. Em um freio convencional a força de restrição surgirá devido a esses três raios de curvatura (Figura 1).

Esse trabalho realizará um estudo relacionado às mudanças da FR devido à utilização de um freio de seção retangular – *flat bottom* – demonstrado na figura 2. Este tem, teoricamente, o potencial de aumentar a FR devido à adição de uma flexão extra em uma das regiões do macho do freio. Este aumento, porém, dependerá de parâmetros ligados às condições de lubrificação e folga entre a chapa e o freio. Estudos realizados por Nine (1982) demonstraram que essa flexão extra pode aumentar em até 30 por cento a FR.



Stampack

Figura 2: Exemplo de freio retangular.

Existem também outras geometrias de freio, cada uma com suas vantagens e desvantagens. As geometrias do freio circular e do freio retangular servem de base para estas outras. Uma outra maneira de se aumentar a FR está na montagem da ranhura da matriz que pode ou não ter a mesma forma do freio. No caso desta ser idêntica ao freio ocorrerá um aumento na FR devido à força de atrito que surgirá nos dois lados da chapa. Devido ao fato das ranhuras retangulares serem mais simples de se usinar e montar é mais comum que estas sejam utilizadas nas linhas de produção. Por este motivo, foram as escolhidas para este trabalho.

Serão realizados dois tipos de simulação utilizando a técnica dos elementos finitos. Essas foram realizadas através de um programa explícito de cálculos. Os métodos atuais de cálculo da FR devido a um freio demandam tempo e habilidade com o programa. Esse trabalho está sendo realizado para auxiliar a fundamentação de um método mais simples e rápido de se calcular essas forças. Através da mudança de vários parâmetros é possível encontrar uma única equação governante para a FR em função da geometria, do material e do coeficiente de atrito.

Nos últimos trinta anos houve muitos avanços nos estudos analíticos propostos para o cálculo da FR. Para que esta seja modelada é necessário primeiro determinar-se a força do prensa-chapas (FP), levando em consideração a geometria do freio, a geometria da chapa, as propriedades do material e as condições de contorno. Para isto foram criados vários modelos, ao longo dos anos, para a predição da FR e da FP. Atualmente, com o advento de melhores métodos de cálculo computacional, os modelos se aproximaram muito dos valores experimentais, devido a possibilidade de se reduzir as simplificações dos modelos.

O método dos elementos finitos, por se mostrar uma poderosa ferramenta em diversas áreas da engenharia, também foi utilizado para estimar a FR e a FP. Devido ao, ainda, alto custo computacional para se realizar uma simulação tridimensional do freio, modelos 2D são utilizados para simular um freio de estampagem e assim determinar a FR, com baixo custo computacional. Após a determinação da FR pode-se utilizar o método do freio equivalente em uma simulação 3D.

O método do freio equivalente é extremamente necessário em virtude dos, em geral, pequenos raios de curvatura dos freios, em relação às demais ferramentas de estampagem. Esta diferença entre os diversos raios pode levar a uma divergência na integração ou a altos custos computacionais para esta simulação. Uma solução adotada pelo código STAMPACK[®], e diversos outros, envolve a transformação dos freios em ferramentas separadas, limitando sua atuação sobre uma linha com a FR distribuída ao longo de seu comprimento.

A força de retenção depende de vários parâmetros: coeficiente de atrito, as diferentes geometrias, propriedades dos materiais e parâmetros de processo. Neste trabalho será estudada a influência do coeficiente de atrito na FR em um freio retangular. Para isto foram realizadas simulações em dois modelos, um com o freio e outro sem o freio, permitindo assim o cálculo da contribuição do freio à força de restrição.

2. METODOLOGIA

O objetivo deste trabalho é calcular e analisar a influência do atrito na FR gerada por um freio retangular, isto é, serão realizadas simulações em dois modelos, um com o freio e outro sem, permitindo assim computar a FR devido à presença do freio. Os resultados obtidos para os primeiros testes serão subtraídos do segundo fornecendo assim valores correspondentes à FR pela presença do freio.

Para esta análise foi utilizado o método dos Elementos Finitos (MEF), através do código comercial para simulações denominado STAMPACK[®], o qual possui uma solução explícita para a equação dinâmica governante do fenômeno físico em estudo. Este método proporciona uma boa proximidade da solução com os valores reais, sendo mais recomendado no estudo de plasticidade. Para que esta eficiência seja garantida é necessário que haja uma validação do código do programa através da comparação com dados experimentais cuja confiabilidade se expresse na vasta utilização destes como referência para outros trabalhos.

Ainda não foi realizada uma validação do código STAMPACK® para freios retangulares, porém trabalhos anteriores (Duarte, 2007) já comprovaram seu bom desempenho para simulações de freios convencionais. Além disso, o código STAMPACK® foi um dos mais bem sucedidos no benchmark NUMISHEET 2005. A validação deste programa para o modelo de um freio retangular ainda será realizada nos trabalhos futuros.

2.1. Propriedades utilizadas no modelo em MEF

A análise será realizada para diferentes valores do coeficiente de atrito (μ) entre a chapa e as ferramentas. A chapa é composta por aço com as propriedades descritas na tabela 1.

Tabela 1: Dados do material utilizado na chapa.

Módulo de Young	206 [GPa]
Poisson	0.29 [-]
Densidade	7800 [kg/m ³]
Lim. Escoamento	171.7 [MPa]
R0 = R45 = R90	1.58 [-]
Anisotropia	Transversal
Lei de Encruamento	Hill 48
Parâmetros de Ludwik-Nadai	
Constante de Encruamento	516 [MPa]
Expoente de Encruamento	0.23 [-]

Os valores escolhidos para o coeficiente de atrito (tanto estático quanto dinâmico) estão em uma faixa que cobre os valores mais comumente utilizados em linhas de produção. O menor dos valores é zero e o maior 0,15. As geometrias utilizadas nas simulações podem ser vistas nas figuras dois e três, sendo a figura dois uma representação do modelo completo e a figura três uma representação da geometria utilizada na simulação para cálculo dos efeitos do atrito apenas.

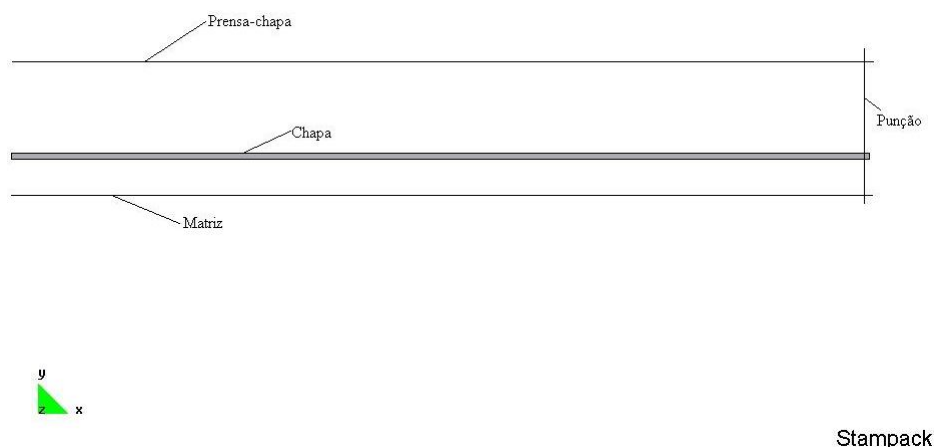


Figura 3: Geometria utilizada no cálculo dos efeitos do atrito

2.2. Geração da malha

Nas simulações bidimensionais deste estudo foram utilizados elementos quadrilaterais do tipo 2D estandardizado de barra clássico. Baseado na análise de Duarte (2007) usou-se uma malha

com três elementos ao longo da espessura da chapa e cento e dezoito elementos ao longo de seu comprimento. A Figura 4 mostra um detalhe desta malha.

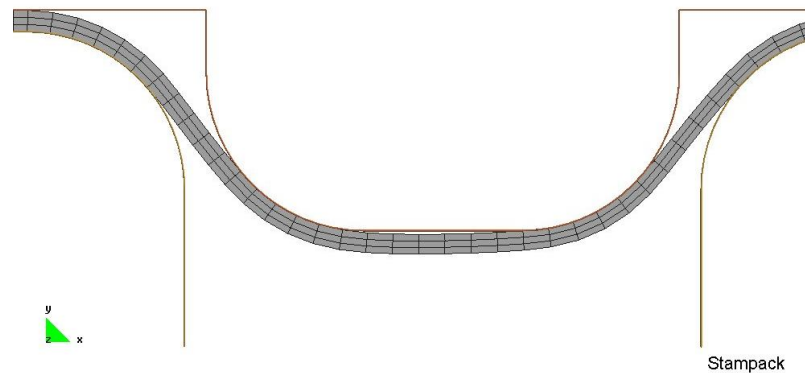


Figura 4: Elemento de placa quadrilateral 2D utilizado nas simulações com STAMPACK®.

2.3. Definições da operação

Para estas simulações foram definidas três ferramentas: a matriz, o prensa-chapas e o punção. A chapa foi definida com os dados apresentados na tabela 1. A matriz possui um raio de 5,5 milímetros. O prensa-chapas possui o mesmo raio, sendo a folga entre ambos de 0,76 mm. Esta é a mais utilizada em linhas de produção, devido a sua maior facilidade de preparação (Nine, 1982). A penetração do prensa-chapas é de 7.7 mm e a distância entre as bordas do freio é também de 5.5 mm.

A chapa utilizada possui um comprimento de 96.7 mm. A força do prensa-chapas (FP) utilizada foi de 54 kN por metro, sendo que na simulação 2D é considerado um comprimento de 1 metro na direção z. A movimentação do punção foi de 37 mm na simulação com o freio e de 20 mm na simulação considerando apenas o efeito do atrito.

Na operação de estampagem foi adotada uma velocidade de 0,5 m/s na fase de aproximação do prensa-chapas e aplicação da FP. A velocidade para o movimento do punção é de 0,09 m/s.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados encontrados envolvem a análise da força de restrição (FR) com o freio, sem o freio e a força de restrição resultante, que é definida como sendo a diferença entre as duas primeiras. A força de restrição resultante (FR) representa o acréscimo na força de restrição global causado pela deformação da chapa quando esta passa pelo freio. Os resultados podem ser encontrados na tabela 2.

Tabela 2: Valores da força de restrição para as várias simulações.

μ	FR c/ freio	FR s/ freio	FR Resultante
0	52	0	52
0,05	114	50	64
0,08	145	78	67
0,1	161	93	68
0,13	193	120	73
0,15	208	129	79

Estes valores podem ser observados nos gráficos da figuras 5, 6 e 7.

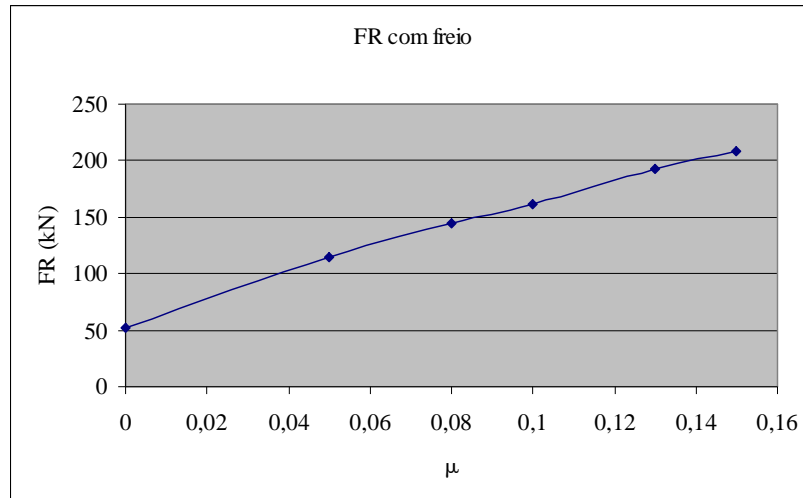


Figura 5: Força de restrição em função do atrito (com freio)

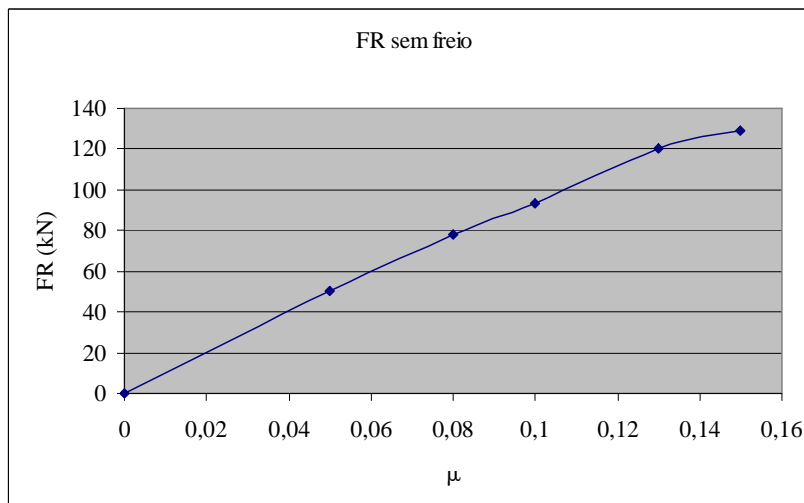


Figura 6: Força de restrição em função do atrito (sem freio)

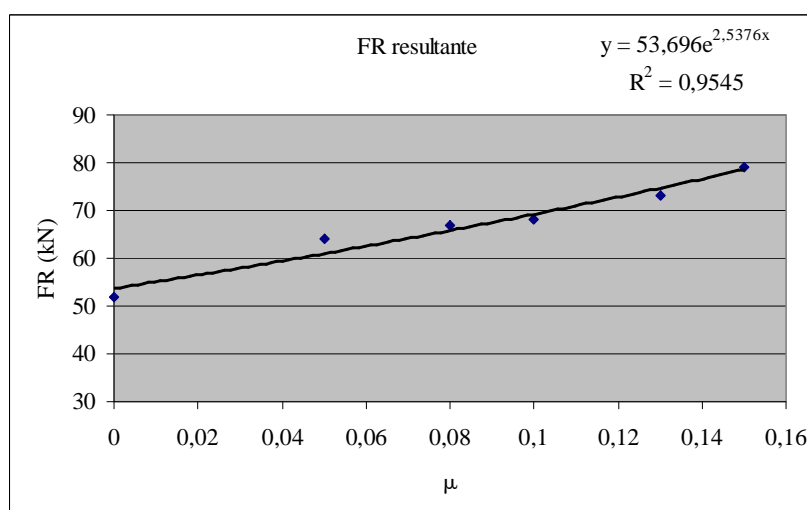


Figura 7: Força de restrição resultante

A análise destes gráficos permite concluir que a variação da FR resultante com o coeficiente de atrito (μ) pode ser aproximada por uma curva exponencial. Ao longo das simulações pode-se constatar que a FR, para valores de μ maiores que 0,15, torna-se instável, sendo que as simulações

passam a ter maiores problemas para convergir. Para evitar estes problemas seria necessário variar a força do prensa-chapas até se encontrar valores para estabilizar a solução. Esta análise será feita na continuidade deste trabalho.

Esses resultados também comprovam o esperado, um aumento na FR devido à deformação extra do freio retangular (Nine, 1978). Para valores maiores de μ as simulações se tornam instáveis e os resultados passam a divergir do esperado, porém na maioria dos casos a tendência destes foi mantida.

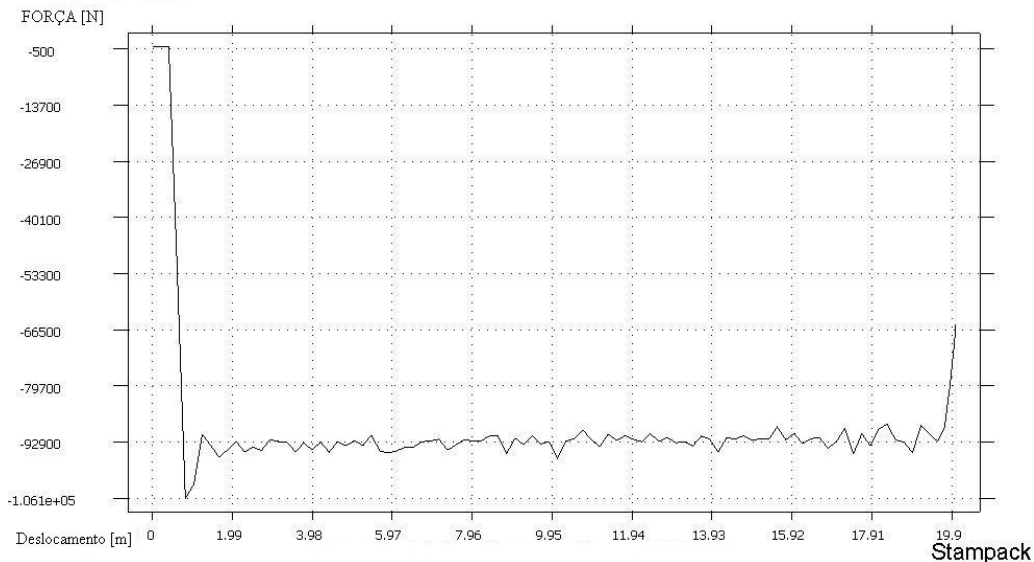


Figura 8: Gráfico relacionando força e deslocamento do punção para um modelo sem freio e com coeficiente de atrito de valor 0,10.

Os valores da FR foram obtidos do gráfico relacionando a força realizada pelo punção na chapa com o deslocamento deste. Um exemplo deste pode ser visto na figura 8, em que a parte inicial da linha representa a fase de deformação elástica, sendo que a partir do momento em que esta se estabiliza ao redor de um valor de força passa a indicar a conformação da chapa.

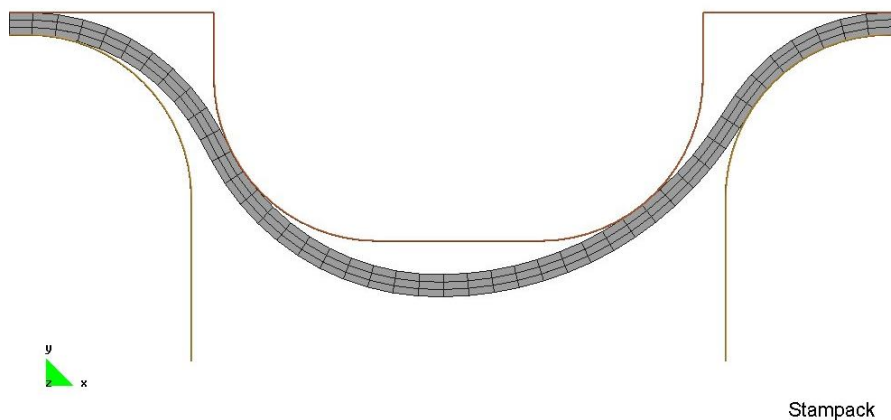


Figura 9: Efeito da conformação da chapa no freio para um valor de μ igual a zero.

Um outro resultado interessante diz respeito ao comportamento geral de um freio retangular, que tende a exibir os efeitos de um freio convencional, porém com um raio de curvatura maior. Para valores menores de μ este efeito é evidente, pois a chapa mantém-se afastada do freio. Porém, para maiores valores de μ a chapa, devido ao aumento do atrito com as ferramentas, passa a conformar mais próximo do freio, enfatizando a flexão extra que um freio retangular submete a chapa. Estes efeitos estão representados nas figuras 9 e 10.

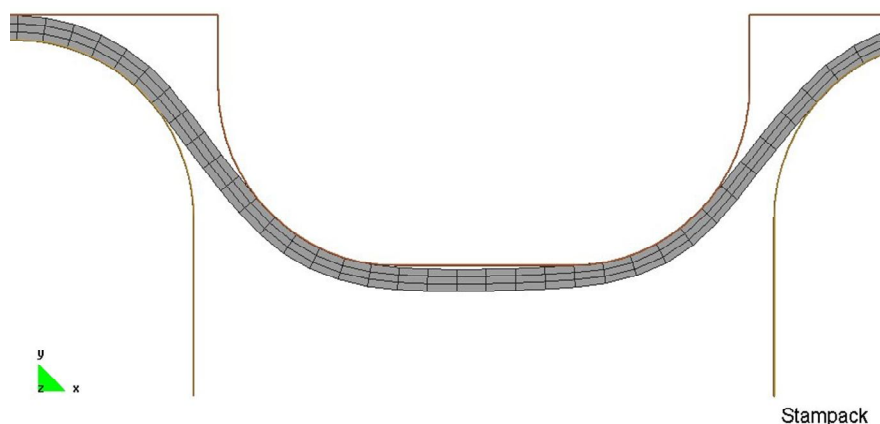


Figura 10: Efeito da conformação da chapa no freio para um valor de μ igual a 0,13.

4. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho, embora preliminares, comprovam como era esperado, o aumento da Força de Restrição do freio de estampagem com o aumento do coeficiente de atrito. Estes resultados são ainda qualitativos e, portanto não é possível fazer uma comparação com dados experimentais e/ou numéricos disponíveis na literatura.

Em uma fase posterior deste projeto, será feita uma análise mais detalhada dos efeitos de todas as variáveis na FR dos freios retangulares. Estes resultados poderão então ser validados e comparados com os resultados de outros autores.

Usando a metodologia desenvolvida por Duarte (2007) será possível encontrar uma equação governante, que leve em conta todas as variáveis que afetam a FR neste tipo de freio. Esta metodologia permitirá também a correção do problema devido à instabilidade dos cálculos para altos valores de μ .

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFM – Instituto Fábrica do Milênio – e ao convênio FEMEC – CIMNE pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- Duarte, E. N., 2007, “Estudo Analítico-Numérico de Freios de Estampagem em Chapas Metálicas”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia.
- Goo, B. Y., Keum, Y. T., 2000, “Expert Drawbead Models for Sectional FEM Analysis of Sheet Metal Forming”, *Journal of Materials Processing Technology* 105, pp 7-16.
- Nine, H. D., 1982, “New Drawbead Concepts for Sheet Metal Forming”, *Journal of Applied Metal Working*.
- Nine, H. D., 1978, “Mechanics of Sheet Metal Forming, Material Behaviour and Analysis”, Koistinen, D. P. and Wang, N-M, pp. 179-221, New York, NY.

INFLUENCE OF FRICTION COEFFICIENT IN THE RESTRICTION FORCE DUE TO A FLAT-BOTTOM DRAWBEAD IN SHEET METAL FORMING

Bernard Muffato Pereira

Federal University of Uberlândia, Av. João Naves de Ávila 2121, Uberlândia – MG, Brazil.
bernardmuffato@gmail.com

Écio Naves Duarte

enduarte@mecanica.ufu.br

Sonia A. Goulart de Oliveira

sgoulart@mecanica.ufu.br

***Abstract:** In order to achieve a better part quality in sheet metal forming it is essential to effectively control the material flow into die cavity. This control can be attained by the blankholder, the drawbeads or both. When a higher restraining force is required the use of drawbeads is necessary, even though it may cause excessive deformations. Other disadvantages are in the die try-outs, used to determinate the Drawbead Restraining Force (DBRF). To solve these problems accurate drawbeads concepts are necessary. This study, about rectangular drawbeads, will provide an analysis over the share of the force due to friction on the total restriction force provided by these drawbeads geometry. In order to attain these results, two models were developed: one with the drawbead and another without it. The simulations were run by the code STAMPACK[®] using the finite element method. The results obtained are analyzed for the variation of the resultant restriction force with the friction coefficient (μ).*

***Keywords:** rectangular drawbeads, restraining force, finite element method, sheet metal forming, friction coefficient.*