



38th SENAFOR

22nd International Forging Conference - Brazil

8th International Sheet Metal Forming Conference/5th BrDDRG Congress

7th International Powder Metallurgy Conference Brazil

8th International Conference on Materials and Processes for Renewable Energy

Correlação entre o estado de tensões e a magnitude do springback variando a força do prensa-chapas / Correlation between the state of stresses and the magnitude of the springback by varying the blankholder force / 38th SENAFOR

Victor de Lima Silveira ⁽¹⁾

Olavo Carvalho Haase ⁽²⁾

Leandro Octaviano Chaves Barros ⁽³⁾

Pedro Malaquias Araújo Stemler ⁽⁴⁾

Ricardo A. M. Viana ⁽⁵⁾

Alisson S. Duarte ⁽⁶⁾

RESUMO

O presente artigo é uma extensão referente ao trabalho publicado no 37^o SENAFOR, no qual foi analisada a influência da força aplicada pelo prensa-chapas no resultado do springback de um componente estampado. Para a continuação da pesquisa, este estudo tem como objetivo mostrar os resultados das análises computacionais de tensão e deformação realizadas na parede do Hat Shape Bending para os três diferentes casos de atuação da força do prensa-chapas estudados anteriormente, 40 kN, 400 kN (constantes durante o processo) e a terceira situação com a força sendo variada durante a conformação. Após a investigação dos resultados de tensão e deformação, é possível entender porque ao utilizar a força do prensa-chapas variada durante o processamento se obtém um resultado de springback mais satisfatório.

Palavras Chave — Retorno elástico, Método dos Elementos Finitos, simulação, estampagem, conformação mecânica.

⁽¹⁾ Iniciação Científica, Escola de Engenharia da UFMG, victordelima17@ufmg.br;

⁽²⁾ Iniciação Científica, Escola de Engenharia da UFMG, olavohaase@ufmg.br;

⁽³⁾ Colaborador, SIXPRO Virtual&Practical Process, leandro.octaviano@sixpro.pro;

⁽⁴⁾ Assistente Técnico, SIXPRO Virtual&Practical Process, pedrostemler@ufmg.br;

⁽⁵⁾ Gerente Técnico, SIXPRO Virtual&Practical Process, ricardo@sixpro.pro;

⁽⁶⁾ Professor, Escola de Engenharia da UFMG e consultor técnico da SIXPRO Virtual&Practical Process, alisson@sixpro.pro.

ABSTRACT

The present paper is an extension of the last work published at 37th SENAFOR in which the blank holder force influence on the springback of a stamped part was studied. The objective of this study was to analyze computationally by FE method the stress and strain distribution over the Hat Shape Bending side wall, for the three different cases of Blank Holder Force used. A 40 kN and a 400 kN blank holder force was considered for simulation. In addition, a variable blank holder force was also investigated. After the stress and strain analysis, it was possible to comprehend why the variable use of the blank holder force has presented a better springback result, when compared to the other two cases studied.

1. INTRODUÇÃO

Em um processo de estampagem, após a retirada da chapa das ferramentas de conformação ocorre o chamado descarregamento. Dessa forma, o material acaba por recuperar a parcela de deformação elástica obtida durante o processo de conformação. Com isso, o componente muda sua geometria com o intuito de liberar as tensões internas devido a parcela elástica de deformação e assim encontrar uma nova posição de equilíbrio. A intensidade do springback, portanto da mudança de geometria da peça, está relacionada com as tensões internas presentes no produto após o cessar das forças de conformação [1].

A aplicação de aços de alta resistência em algumas áreas da indústria ganha cada vez mais espaço, como é o caso da área automotiva. Devido a crescente necessidade de redução de peso nas estruturas dos automóveis, os aços de maior resistência estão sendo preteridos em relação aos aços comuns para que, mesmo diminuindo a espessura da chapa, o componente consiga suportar o esforço solicitado na prática. Entretanto, como visto, para materiais mais resistentes o fenômeno de springback tem sua intensidade aumentada, o que torna mais importante ainda o estudo de técnicas e métodos de conformação que visem diminuir a intensidade desse fenômeno em peças estampadas [2].

Como pôde ser observado no trabalho apresentado no 37^o SENAFOR, ao se utilizar a força do prensa-chapas com o comportamento variado durante o estágio de conformação, é possível obter resultados mais satisfatórios de springback [1], constatação obtida com o auxílio da simulação computacional. Foi feita a comparação dos resultados de springback das três simulações realizadas, as quais possuíam todos os dados de entrada iguais e se diferenciavam apenas na condição de aplicação de força pelo prensa-chapas. Foram utilizadas uma força menor (40 kN), uma maior (400 kN) e uma condição variada. No caso de utilização de força do prensa-chapas variada durante o processo, foi possível visualizar que ao se variar a força proporcionando um aumento repentino no final do processo, provoca-se um estiramento na parede lateral do corpo de prova, o que vem a diminuir o retorno elástico apresentado pelo componente, garantindo um resultado de springback mais satisfatório dentre os casos analisados.

O presente artigo será uma extensão da pesquisa apresentada. Foram feitas as análises, com o auxílio do método de elementos finitos, das tensões e deformações na parede de uma chapa conformada pelo método do Hat Shape Bending, processo escolhido para o estudo e análise do fenômeno do springback. Todas as simulações foram realizadas no PAM-STAMP [3].

2. METODOLOGIA

Os dispositivos consistem em um pisador, um adaptador com 496,4 mm de comprimento interno e com raio de 8 mm, um aço de flangeamento com raio de conformação igual a 10 mm e um prensa-chapas. A folga entre o adaptador e o aço de flangeamento é de 1,8 mm. A chapa, por sua vez, possui formato retangular com dimensão de 650 x 30 mm. O deslocamento do aço de flangeamento durante a conformação foi de 50 mm. É possível visualizar também um plano de simetria do sistema, assim com apenas metade das geometrias foi possível analisar o processo de conformação. Dessa forma, as Figuras 2, 5 e 7 apresentam apenas uma das extremidades da chapa. Ao inserir menos elementos para a simulação o tempo computacional gasto diminui.

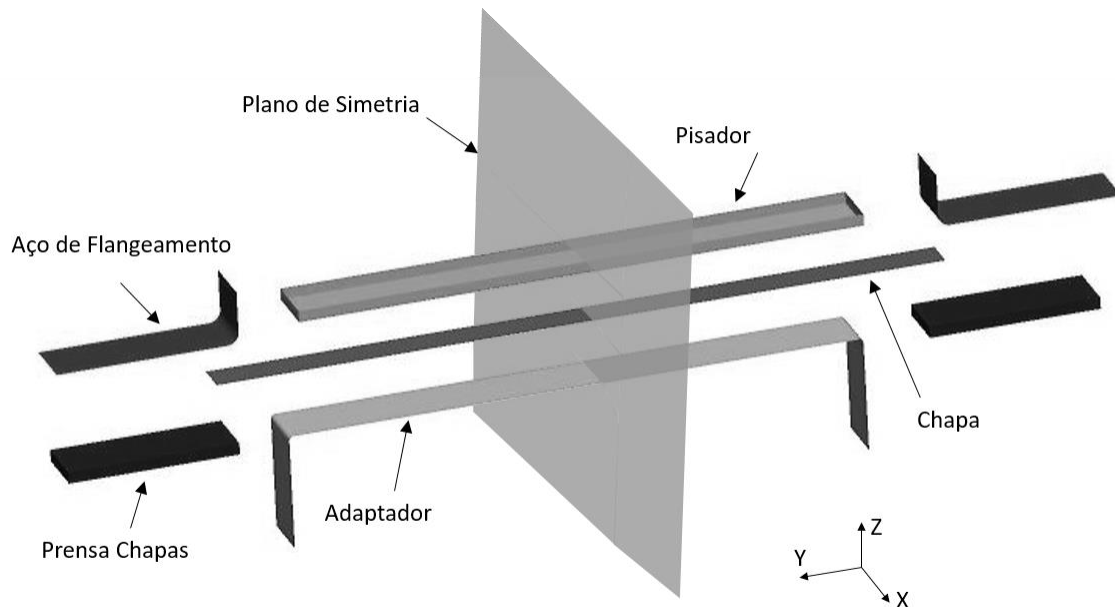


Figura 1: Esquema de conformação expandido

Para que a deformação aconteça, o pisador pressiona a chapa contra o adaptador com o intuito de impedir a sua flexão. Estes componentes permanecem fechados, enquanto o aço de flangeamento, juntamente com o prensa-chapas inferior, se desloca para baixo de maneira a causar o estiramento da chapa. A sequência de movimento do sistema está mostrada na Figura 2.

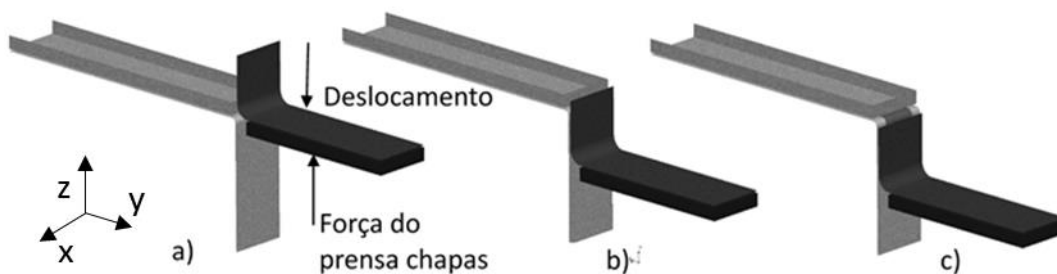


Figura 2: (a) Posicionamento inicial do sistema com a direção da força aplicada e do deslocamento durante a deformação; (b) momento intermediário de conformação; e (c) posicionamento final do sistema após a conformação.

Como mencionado anteriormente, neste artigo serão apresentados os resultados das simulações computacionais do processo escolhido provenientes do software PAM-STAMP, o qual tem seu funcionamento com base no método dos elementos finitos. As simulações possuem todos os dados de entrada iguais, diferindo apenas pelas condições de aplicação de força pelo prensa-chapas.

No PAM-STAMP, o número de elementos utilizados para a descrição da chapa foi igual a 7125, sendo que o tamanho do menor elemento foi de 1,17 mm, valores suficientes para descrever satisfatoriamente a geometria da peça. Foi considerada a espessura da chapa como sendo igual a 1,6 mm e o material utilizado para simulação foi o AISI 1050, presente no banco de dados do software PAM-STAMP. A curva do material utilizado obedece à equação mostrada na Equação 1.

$$\sigma \text{ (GPa)} = 0,38 + 1,80 \varepsilon^{0,20}$$

Equação 1: Descrição da curva de escoamento utilizada nos softwares.

As forças utilizadas foram escolhidas de maneira a abordarem diferentes condições de conformação. Foram consideradas uma força do prensa-chapas mais baixa, de 40 kN, uma força maior, de 400 kN, e uma terceira situação, utilizando essa força como sendo variável durante a conformação. A Figura 3 mostra a variação da força do prensa-chapas com o deslocamento do punção, para o terceiro caso.

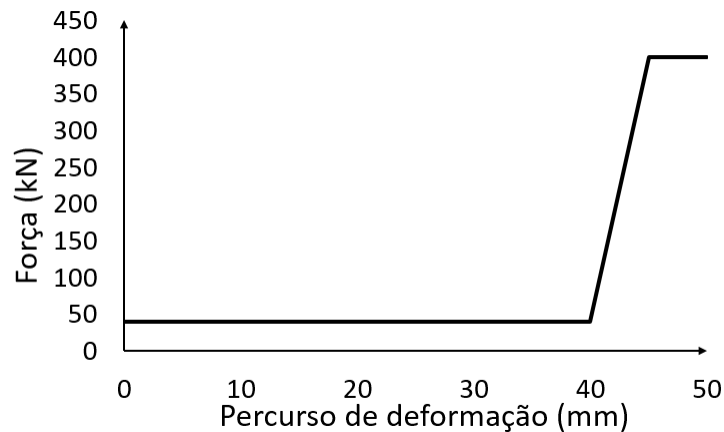


Figura 3: Variação da força do prensa-chapas no decorrer do deslocamento do aço de flangeamento

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4 foi feita a sobreposição dos resultados do retorno elástico para os diferentes casos de aplicação de força escolhidos, utilizando-se 40 kN, 400 kN e uma atuação com carga variada, resultados já mostrados no trabalho passado. Além dos resultados obtidos pela simulação, inseriu-se a geometria de uma chapa estampada sem o fenômeno do springback, possibilitando assim a obtenção de uma referência para comparação dos resultados.

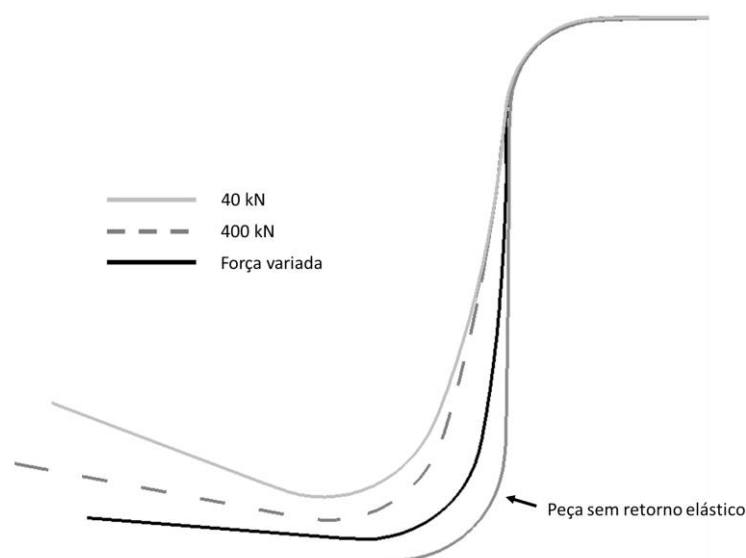


Figura 4: Retorno elástico obtido através da simulação para os três diferentes casos comparado com o formato da peça sem esse fenômeno.

Faz-se necessário entender como o springback acontece. As ações de dobramento e desdobramento da chapa durante a conformação geram tensões internas no componente, assim,

após o descarregamento o componente libera essas tensões internas com o objetivo de procurar uma nova posição de equilíbrio.

Uma interpretação mais detalhada da parede lateral do Hat Bending foi realizada para os três casos simulados. As análises foram realizadas no PAM-STAMP e os valores de tensão foram obtidos para um mesmo ponto da chapa em diferentes momentos de conformação, como mostrado na figura 5. O ponto escolhido foi selecionado de modo a representar o comportamento das tensões em três momentos distintos da conformação: quando o deslocamento do aço de flangeamento é igual a 40 mm, 45 mm e 50 mm. A Figura 6 evidencia o comportamento das tensões internas em cada simulação realizada. É possível visualizar que, no momento em que o deslocamento do aço de flangeamento é igual 40 mm, o caso em que se utiliza a força do prensa-chapas igual a 400 kN apresenta o melhor resultado de springback, dentre as simulações realizadas. Entretanto, no final do processo, quando o aço de flangeamento tem um deslocamento igual a 45 mm e 50 mm, o aumento da força aplicada pelo prensa chapas, no caso de aplicação de força variada, eleva a restrição ao escoamento da chapa e, assim, concentra tensões de tração na parede do Hat Shape, o que vem a diminuir o momento interno presente no componente.

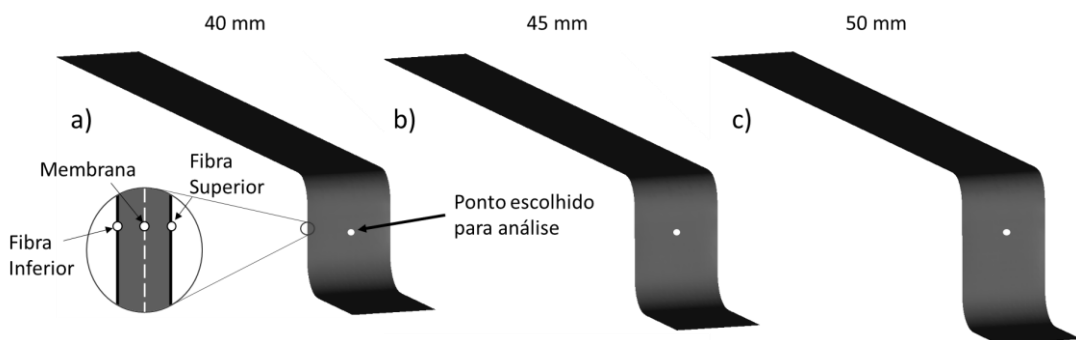


Figura 5: Ponto escolhido para análise quando o deslocamento do aço de flangeamento é igual a **(a)** 40 mm; **(b)** 45 mm; **(c)** 50 mm.

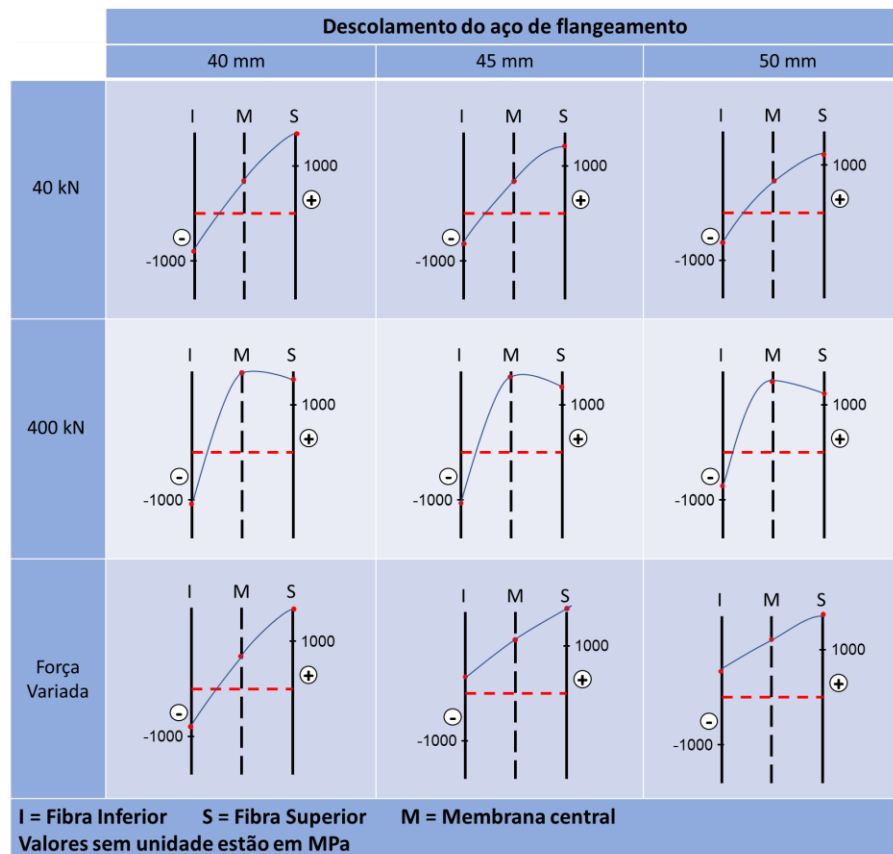


Figura 6: Distribuição do momento interno ao longo da espessura da chapa de acordo com o deslocamento do aço de flangeamento.

Dentre as situações propostas para análise, ao se utilizar a força do prensa-chapas como sendo variável durante a conformação, é possível obter um menor momento interno resultante. Menores magnitudes de momentos internos implicam em menores intensidades de springback. Dessa forma, os resultados da Figura 6 servem de suporte e vão de encontro aos resultados obtidos e mostrados na Figura 4, a qual evidencia o menor springback ao utilizar a força do prensa-chapas variada. Além disso, é mostrado que ao se utilizar uma maior força do prensa-chapas, é obtido um menor momento interno resultante e, portanto, um resultado de springback mais satisfatório quando comparado à utilização de uma força menor.

É possível visualizar na Figura 7 os valores dos momentos internos finais obtidos pela diferença dos valores de tensão entre a fibra superior e a fibra inferior para os três casos simulados. Quando esta análise é realizada, pode-se visualizar que, diferente do resultado final apresentado, a utilização de uma menor força do prensa-chapas proporciona um menor momento interno quando comparado a utilização de uma maior força. A explicação dessa incompatibilidade de resultados se deve à necessidade de se interpretar também a tensão presente na membrana da parede conformada. Como evidenciado na Figura 6, o fato de a tensão final presente na membrana ser similar à tensão final presente na fibra superior (análises para a utilização da força do prensa-chapas igual a 400 kN) faz com que a intensidade do momento interno final seja minimizada. Como é apresentada a curva interpolada dos momentos internos na Figura 6.

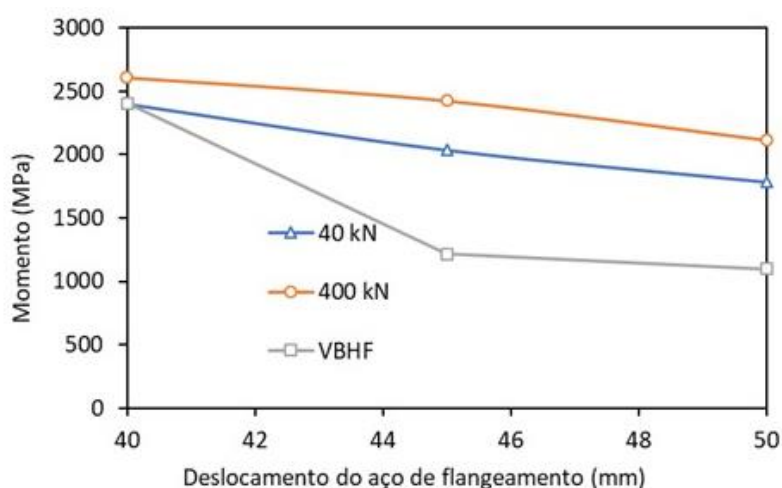


Figura 7 - Variação dos momentos internos finais obtidos pela diferença dos valores de tensão entre a fibra superior e a fibra inferior para os casos de força do prensa-chapas igual a **(a)** 40 kN; **(b)** 400 kN e **(c)** variada.

A explicação de se obter um menor springback ao se utilizar a força variada está no comportamento das tensões ao longo do período de deformação. Inicialmente, com uma força menor, há menor resistência ao escoamento da chapa. Esta etapa dura um tempo maior, pois tem o intuito facilitar a conformação do componente. No final da conformação existe um aumento repentino da força do prensa-chapas, o qual tem o intuito de provocar um estiramento na parede lateral do Hat Shape e assim diminuir o momento interno resultante da conformação [1;4].

As deformações tangenciais simuladas, referentes a um mesmo elemento em diferentes momentos da conformação, estão apresentadas na figura 8. É possível visualizar o comportamento da deformação do elemento no momento inicial da conformação, em um momento intermediário (no qual o elemento passa pelos raios de conformação) e no momento final, quando o elemento se situa na parede já conformada. Quando o elemento passa pelo raio de conformação do aço de flangeamento, na fibra inferior ele se alarga e na fibra superior ele é reduzido. Após essa passagem, surge a necessidade de o elemento se deformar na direção contrária com o intuito de se ajustar na parede conformada. Esse ajuste leva ao surgimento de tensões compressivas na fibra inferior e trativas na fibra superior.

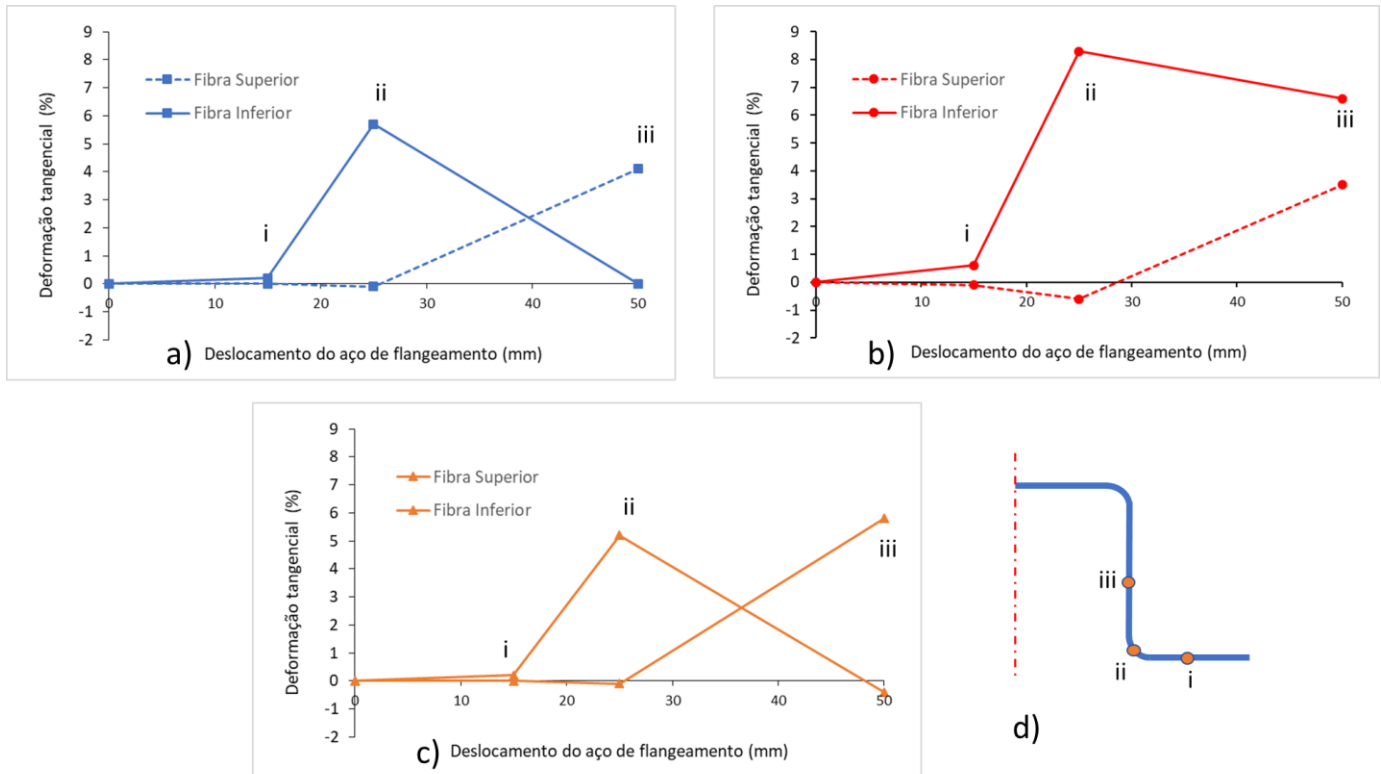


Figura 8 - Variação da deformação tangencial nas fibras internas e externas no decorrer do processo para os casos de força do prensa-chapas igual a (a) 40 kN; (b) 400 kN; (c) variada; (d) Indicação das posições de medição: (i) antes do dobramento; (ii) durante o dobramento e (iii) após o dobramento;

Ainda, ao analisar a Figura 8, é possível verificar que, dentre as simulações realizadas, maiores valores de deformação foram obtidos ao se utilizar a maior força do prensa-chapas, igual a 400 kN, enquanto menores valores de deformação foram encontrados ao se utilizar a menor força aplicada pelo prensa-chapas, igual a 40 kN. Isso ocorre uma vez que uma maior força aplicada pelo prensa-chapas implica em uma maior restrição ao escoamento da chapa e a uma maior concentração de tensões nos raios críticos [5].

É importante notar que a utilização da força variada proporcionou menores valores de deformação, quando comparada à utilização da maior força do prensa-chapas, o que se torna mais uma vantagem da utilização desse método. Se for aplicável no processo, a utilização da força do prensa-chapas variada garante menores valores de deformação no componente e, portanto, menor chance de ruptura para essa mesma conformação, além de apresentar um melhor resultado de springback, como já mostrado.

O questionamento da utilização da força do prensa-chapas variada durante o processo se dá quanto a implementação dessa técnica no meio industrial. Para que essa aplicação seja possível, tem-se a necessidade de um sistema de conformação o qual possibilite a variação da força do prensa-chapas no decorrer do deslocamento da matriz, o que não é um artifício muito comum nas prensas utilizadas na indústria, muito devido ao alto custo relacionado a esse maquinário. Atualmente, o sistema de carga do prensa-chapas se dá por ação de mola, por um sistema pneumático ou de um cilindro de nitrogênio.

4. CONCLUSÃO

Diante do exposto, concluiu-se que ao realizar um estiramento na chapa no momento final de conformação, é possível minimizar o momento interno presente no material obtido através do dobramento e desdobramento característicos do processo. Assim, dentre as simulações realizadas para se avaliar a influência da força do prensa-chapas no springback de uma peça estampada, a utilização da força do prensa-chapas variada apresentou um resultado mais satisfatório, ou seja, menor variação geométrica.

A utilização da força do prensa-chapas variada consegue combinar melhores resultados de springback e de deformação (menor springback), proporcionando menores valores de deformação para chegar em sua geometria final. Muitas vezes isso pode ser considerado uma vantagem, tendo em vista que pode significar que o material ficou mais longe de sua condição de ruptura.

A aplicação do método de utilização da força do prensa-chapas variado depende da possibilidade de a empresa fabricante adquirir uma prensa capaz de variar a força do prensa-chapas durante a conformação, tendo em vista que esse mecanismo não se trata de um maquinário simples e de baixo custo.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Lima, V., Haase, O., Stemler, P., Viana, R., Duarte, A. (2017). Springback dependence on the blank holder force. 37th SENAFOR.
- [2] Chongthairungruang, B., Uthaisangsuk, V., Suranuntchai, S., & Jirathearanat, S. (2013). Springback prediction in sheet metal forming of high strength steels. *Materials & Design*, 50, 253-266.
- [3] ESI Group. Pam-Stamp, version 2017.0. Paris, France (2017). 1 CD-ROM.
- [4] A. Fallahiarezoodar, E. McLaughlin, T. Gupta, T. Altan (2018). Reducing springback in hat-shape bending with variable BHF using a servo-hydraulic cushion. *Stamping Journal* (March/April).
- [5] Palaniswamy, H., Thandapani, A. K., Kulukuru, S., & Altan, T. (2004, June). Prediction of blank holder force in stamping using finite element analysis. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 712, No. 1, pp. 910-915). AIP.