

COMPORTAMENTO DAS TRAJETÓRIAS DE DEFORMAÇÃO EM FLANGES CIRCULARES OBTIDOS PELO PROCESSO DE ESTAMPAGEM INCREMENTAL

Michael Miguel Furlanetti, michael.furlanetti@gmail.com

Luciana Montanari, montanar@sc.usp.br

Universidade São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Trabalhador Sãocharlens 400 – São Carlos – SP – CEP 13566-590

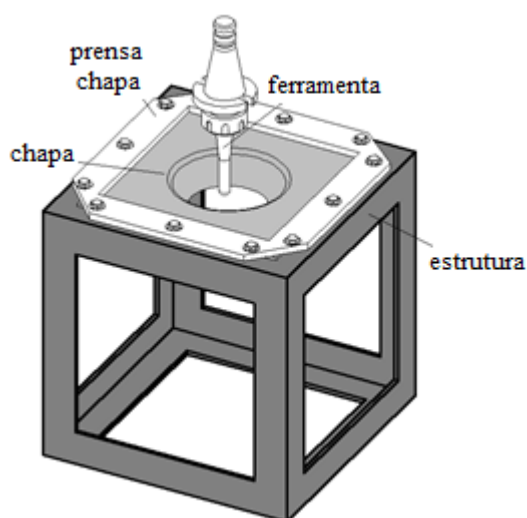
Resumo: O processo de estampagem incremental de chapas tem como características principais a sua flexibilidade e facilidade de implementação, sendo adequado para a fabricação de pequenas séries e protótipos. A deformação ocorre devido ao contato entre a ferramenta e a chapa, localmente e progressivamente, ao longo de uma trajetória pré-definida. Uma de suas aplicações consiste na fabricação de flanges circulares em chapas previamente furadas. Este trabalho trata de estudos em elementos finitos, usando o software LS-Dyna™, sobre a trajetória das deformações no processo de estampagem incremental para a fabricação de flanges circulares em chapas previamente furadas de liga de alumínio AA1050. A metodologia consiste em, inicialmente, realizar testes de contato e de linha para definir as condições de contorno da chapa e, em seguida, determinar as trajetórias de deformações. Os resultados para as deformações foram confrontados com os resultados obtidos experimentalmente por outros autores e permitiram verificar o comportamento da trajetória das deformações nos flanges. Através do modelo é possível prever o estado de deformações para o processo e, conseqüentemente, poderá ser útil como ferramenta de prevenção de falhas.

Palavras-chave: flanges circulares, estampagem incremental de chapas, mecânica da deformação

1. INTRODUÇÃO

O processo de estampagem incremental tem sido desenvolvido e amplamente investigado ao longo das últimas décadas, devido à sua capacidade de substituir as operações de estampagem convencional na fabricação de pequenas séries ou séries unitárias (JESWIET et al., 2005; ECHRIF; HRAIRI, 2011a).

Nesse processo a superfície da chapa permanece livre, somente as bordas permanecem presas a um dispositivo para evitar que se desloque durante o processo de deformação, como representado na Fig. 1(a). A deformação plástica ocorre pelo contato entre a ferramenta e a superfície da chapa, localmente e progressivamente (FRATINI et al., 2004 e EMMENS e BOOGAARD, 2009). Neste sentido há estudos direcionados ao processo de fabricação de flanges circulares em chapas previamente furadas sem matriz (CENTENO et al., 2012; SILVA et al., 2013). Para obtenção de flanges em chapas previamente furadas empregando o processo de estampagem convencional o custo e a complexidade do ferramental aumentam e, conseqüentemente, os custos do produto final (PETEK e KUZMAN, 2012), especialmente quando se trata de peças, cujos flanges se localizam em lugares difíceis para executar a operação (Fig. 1(b)).



(a)



(b)

Figura 1. Flanges circulares. (a) Fabricação pela estampagem incremental de chapas. Adaptado de Montanari et al. (2013). (b) Exemplo de aplicação de flanges (PETEK et al., 2011).

O primeiro trabalho de pesquisa sobre fabricação de flanges circulares a partir de chapas previamente furadas por estampagem incremental foi realizado por Cui e Gao (2010). O trabalho trata da influência da trajetória da ferramenta e a sua implicação nos limites de conformação da liga de alumínio AA1060. A partir daí outros pesquisadores deram inícios a novas investigações. Centeno et al. (2012) e Silva et al. (2013) estudaram os mecanismos de deformação e como ocorre a falha na estampagem incremental de chapa para a liga de alumínio AA1050 H111 e o titânio comercialmente puro de grau 2, respectivamente. Centeno et al. (2012) afirmam que nos casos cujo diâmetro do pré-furo é pequeno, o seu efeito pode ser negligenciado e a conformabilidade pode ser avaliada pelos ensaios realizados com geometrias padrões de cones, sem o furo inicial. No entanto, nos casos em que o diâmetro do pré-furo é grande, a deformação existente na periferia do furo influencia na maneira como a deformação evolui no processo.

Silva et al. (2013) concluíram que o processo de fabricação de flanges por estampagem incremental apenas apresenta coeficiente limite à deformação mais favorável que o processo de fabricação de flanges por estampagem convencional quando a CLF (curva limite à fratura) se encontra muito acima da CLE (curva limite à estricção) no espaço das deformações principais. E foi dentro desse contexto que Montanari et al. (2013) desenvolveram trabalhos experimentais e estudaram a trajetória das deformações e a fratura em flanges circulares obtidas pelos processos de estampagem com diferentes diâmetros de furos previamente fabricados para a liga de alumínio AA1050 H111.

Há diversos trabalhos que tratam do emprego de elementos finitos para analisar e/ou identificar diversos parâmetros do processo. Por exemplo, Oleksik et al. (2006) e Cofaru et al. (2008) analisam aspectos do processo como regiões de concentração de tensão e mostram a influência do diâmetro da ferramenta no processo. Yamashita et al. (2007) analisam a fabricação de geometrias padrão piramidais e mostram a influência da trajetória da ferramenta nas forças de deformação exercidas pela ferramenta. Dejardin et al. (2009) apresentam a possibilidade de simular o retorno elástico da peça sofrido no final do processo. A geometria padrão analisada é o cone. Qin et al. (2010) analisam as deformações no processo e concluem que a diminuição do passo na direção Z influencia de forma positiva na geometria final da peça. Já Thibaud et al. (2012) modelam uma pequena pirâmide em uma chapa de cobre e mostram como a variação do passo na direção em Z da ferramenta influencia a espessura de parede obtida na peça final. Echraf e Hrairi (2011b) identificam a importância do ângulo de parede e que o uso de estratégias multi-passagens favorece a obtenção de paredes com ângulos acentuados. Por sua vez, Li et al. (2014) estudaram o efeito da dimensão da ferramenta, o atrito entre a chapa e a ferramenta.

Todos os autores citados usaram em suas pesquisas o *software* LS-Dyna™. Um resumo dos parâmetros empregados na modelagem por elementos finitos é apresentado na Tab. 1.

Tabela 1. Parâmetros empregados na simulação da estampagem incremental

	Oleksik et al. (2006) and Cofaru et al. (2008)	Yamashita et al. (2008)	Dejardin et al. (2010)	Qin et al. (2010)	Echraf; Hrairi (2011b)	Thibaud et al. (2012)	Chera et al. (2013)	Cui et al. (2013)	Li et al. (2014)
Condição contorno	Prensa chapa	T.G.L.	-	T.G.L.	Prensa chapa	T.G.L.	Prensa chapa	T.G.L.	T.G.L.
Coeficiente de atrito	-	0	0,3	-	0,1	0,2	0,08	0,08	0,18
Algoritmo de contato	<i>Automatic Surface to Surface</i>	-	-	-	-	<i>Classic Penalty Method</i>	-	-	-
Tipo elemento	<i>Shell 163</i>	<i>Solid</i>	<i>Shell</i>	<i>Shell 163</i>	<i>Shell 16</i>	<i>Solid</i>	<i>Shell 163</i>	<i>Shell</i>	<i>Shell</i>
Dimensão elemento [mm]	3x3	0,25x0,25x0,125	5x5	2,5x2,5	-	0,283x0,283x0,21	4x4	1x1	1,5x1,5
Graus de liberdade elemento	-	-	6	-	-	-	-	5	-
Formulação elemento	Belytschko -Tsai	-	Belytschko -Tsai	-	Hughes-Liu	Hughes-Liu	Belytschko -Tsai	Hughes -Liu	-
Elementos na espessura	5	2	5	-	5	3	11	5	-
<i>Shear Factor</i>	5/6	-	-	-	-	-	5/6	-	-
<i>Hourglass Control</i>	0,1	-	-	-	-	-	0,1	-	-
Material	-	-	Al 1050	Al 1050	Al 1050 H111	Cu	Aço	Aço	Al 7075-O

Comportamento do material	3 Parâmetros Barlat	I.	I	-	I.	I.	A. T.	A. T.	I.
Coefficiente anisotropia	R00 = 1,04 R45 = 0,86 R90 = 0,72	-	-	-	-	-	0,997	1,85	-
Diâmetro ferramenta [mm]	12-20	2	10	17,5	12	-	10	6	30
Tipo elemento ferramenta	-	Rígido	Rígido	Rígido	Rígido	Rígido	-	Rígido	Rígido
Espessura chapa [mm]	1	0,25	1	-	1	0,21	0,4	1	1,016
Dimensão chapa [mm]	R=60	14,5x14,5	300x300		R=82,5	17x17	200x200	R=190	300x300
Incremento na profundidade [mm]	-	1	0,2	2	0,5	0,104	0,1	1	0,5
Velocidade [mm/min]	-	600000-1200000	500	-	-	1300	-	5000	1000
Escala na massa	-	sim	-	sim	-	-	-	-	sim

T.G.L. – Todos os Graus de Liberdade

A. T. – Anisotropia Transversal

I – Isotrópico

Este trabalho tem como objetivo validar um modelo em elementos finitos para a fabricação de flanges em chapas previamente furadas pela estampagem incremental sem matriz, usando o *software* LS-Dyna™. Seu uso permitirá prever o comportamento das deformações durante o processo. Os resultados da simulação serão comparados aos valores experimentais apresentados em Montanari et al. (2013) para as mesmas condições.

A determinação das condições de contorno, tamanho do elemento, formulação, aspectos da malha dos elementos e aspectos geométricos foi baseada de acordo testes realizados (contato e linha) e com os dados da Tab. 1.

2. METODOLOGIA

Inicialmente foi definido o tipo de simulação a ser implementado e criou-se o modelo do material. O material é o AA1050. A maioria dos materiais, após atingir o limite elástico, possui como tendência o crescimento da curva tensão-deformação. Desse modo, a tensão de escoamento aumenta de acordo com a deformação, caracterizando o efeito conhecido como encruamento. Pelo fato da deformação na estampagem incremental sem matriz ser localizada a escolha da lei de encruamento se torna muito importante para a determinação das forças envolvidas. Como a ferramenta segue uma trajetória complexa, ela carrega e descarrega cada elemento diversas vezes durante o ciclo. Há vários modelos idealizados para descrever o comportamento elasto-plástico do material. Neste trabalho foi utilizado o modelo elasto-plástico bilinear apresentado por Lopes et al. (2003) para curva tensão x deformação da liga de alumínio AA 1050. A curva tensão x deformação sofre influência da taxa de deformação aplicada no valor de 0,001/s.

Para analisar aspectos como a rigidez do contato, as condições de contorno utilizadas, sua influência sobre a seção da chapa e o tamanho do elemento utilizado foi realizado um teste de contato simples, onde uma esfera é comprimida contra uma seção de chapa e é analisado o comportamento da distribuição de tensão. Em todos os ensaios a esfera foi forçada a penetrar na chapa com velocidade constante de 180mm/min, até a profundidade de 3mm no tempo de 1s.

Foi possível verificar que ao aumentar o número de elementos aumenta o tempo de simulação. Além disso, a distribuição de tensão na peça é influenciada pelo número de elementos. A melhor aproximação com a geometria da ferramenta ocorreu para o coeficiente de rigidez de contato no valor de 0,001 (Fig. 2). Contudo, o valor de tensão máxima encontrado nas simulações é semelhante.

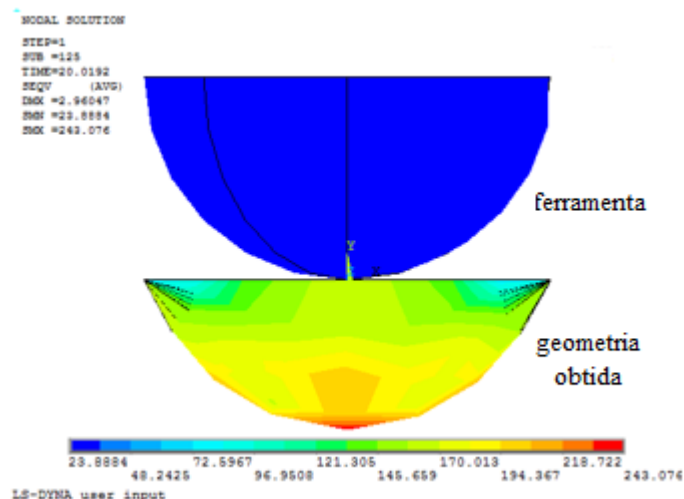


Figura 2. Teste de contato

O teste de deformação em linha foi usado para determinar a velocidade da ferramenta e o uso de fatores de massa e tempo. A finalidade desse teste é melhorar e acelerar as simulações. Essa metodologia é baseada na metodologia usada por Henrard (2009). O teste em linha é mais complexo do que o teste de contato por considerar o movimento lateral da ferramenta e aproxima-se mais do processo de estampagem incremental sem matriz. Inicialmente foram realizadas simulações com o intuito de acelerar o processo. Para isso foi aplicado o recurso do escalonamento de massa com o objetivo de aumentar o incremento de tempo, reduzindo o número de iterações e, por consequência, o tempo total de simulação, seguindo a condição de estabilidade de Courant. O teste em linha mostra que, ao acelerar o processo, ocorre uma variação nas deformações da chapa, resultando em problemas de convergência do modelo matemático, comprometendo o resultado encontrado, por isso, tais artifícios não foram utilizados nas simulações das geometrias de flanges.

Para a geração das trajetórias de cone a serem inseridas no *software* LS-Dyna™ foi elaborada uma rotina em MATLAB™. A rotina permite ao usuário entrar com os parâmetros de geometria do cone desejado. O programa trata o problema em coordenadas polares (θ , r , z) e gera os vetores, cujas posições são os pontos da trajetória, e então as converte para coordenadas cartesianas (x , y , z).

O objetivo principal de efetuar o estudo através de simulações numéricas foi o de reproduzir a estampagem incremental de chapas sem matriz para a fabricação de flanges, segundo estratégias de deslocamento da ferramenta e determinar a trajetória de deformações. Para tanto, foi estudado o caso de flanges que obtiveram sucesso ($\psi_f = 90^\circ$). Onde ψ_f é o ângulo máximo de estampagem.

O caso de sucesso é do flange com furo inicial $D_0 = 121\text{mm}$ (MONTANARI et al. (2013)). A estratégia utilizada em Montanari et al. (2013) foi a multi-passagem, sendo que o ângulo de estampagem aumentou progressivamente com variação de $\psi_i = 5^\circ$, tendo como ângulo inicial ($\psi_i = 65^\circ$) até atingir o ângulo $\psi_f = 90^\circ$ (parede reta). O valor do ângulo inicial foi obtido após ensaios realizados por Silva et al. (2013) com geometria de cone truncado.

Foram analisadas as regiões R1, R2, R3 e R4 para flanges com $D_0 = 121\text{mm}$, indicadas na Fig. 3.

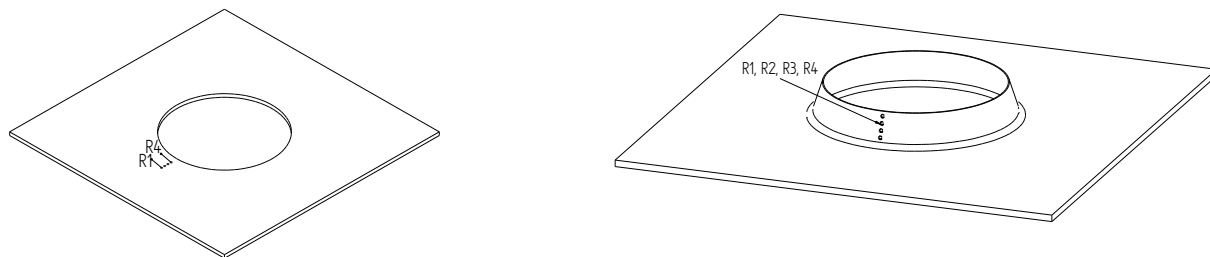


Figura 3. Regiões R1, R2, R3 e R4

Na Tab. 2 estão as condições de contorno, tamanho do elemento, formulação, aspectos da malha dos elementos e aspectos geométricos utilizados nas simulações.

Tabela 2. Condições utilizadas nas simulações de flanges

Condições de contorno	Todos os graus de liberdade restritos na extremidade
Coeficiente de atrito	0,1
Algoritmo de contato	Automatic surface to surface
Tipo de elemento	Shell 163
Número de elementos - chapa	400
Graus de liberdade do elemento	12
Formulação do elemento	S/R Co-rotation
Elementos na espessura	5 elementos
Shear factor	$\frac{5}{6}$
Hourglass control	0,1
Material	Liga de alumínio AA 1050
Modelo de encruamento	Isotropia planar
Coeficiente de anisotropia médio	0,84
Diâmetro da ferramenta	8mm
Tipo do elemento da ferramenta	Rígido
Espessura da chapa	1mm
Dimensões da chapa	250mm × 250mm
Incrementos na profundidade da ferramenta	0,2mm / volta
Escala de tempo e de massa	Não utilizado

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modo como ocorre a deformação é mais bem compreendido pelo acompanhamento e medição dos valores de deformação dos pontos das regiões selecionadas (R1, R2, R3, R4) ao longo da direção meridional, correspondentes a diferentes regiões da peça em diversas fases intermediárias de deformação (isto é, vários ângulos de estampagem (ψ_n)). Assim, na Fig. 4 são apresentados os gráficos do comportamento das deformações para a todas as regiões.

Nos gráficos de deformação subsequentes as elipses tracejadas representam níveis de deformação equivalente. Para a sua execução assume-se que os elementos não apresentam rotação, ou seja, a componente de deformação maior (ε_1) e a componente de deformação menor (ε_2) estão alinhadas com os eixos X e Y locais dos elementos da malha, respectivamente.

A deformação equivalente ε_{eq} , determinada pelo critério de plasticidade de Hill quadrático (Hill, 1948), é calculada de acordo com a eq. 1.

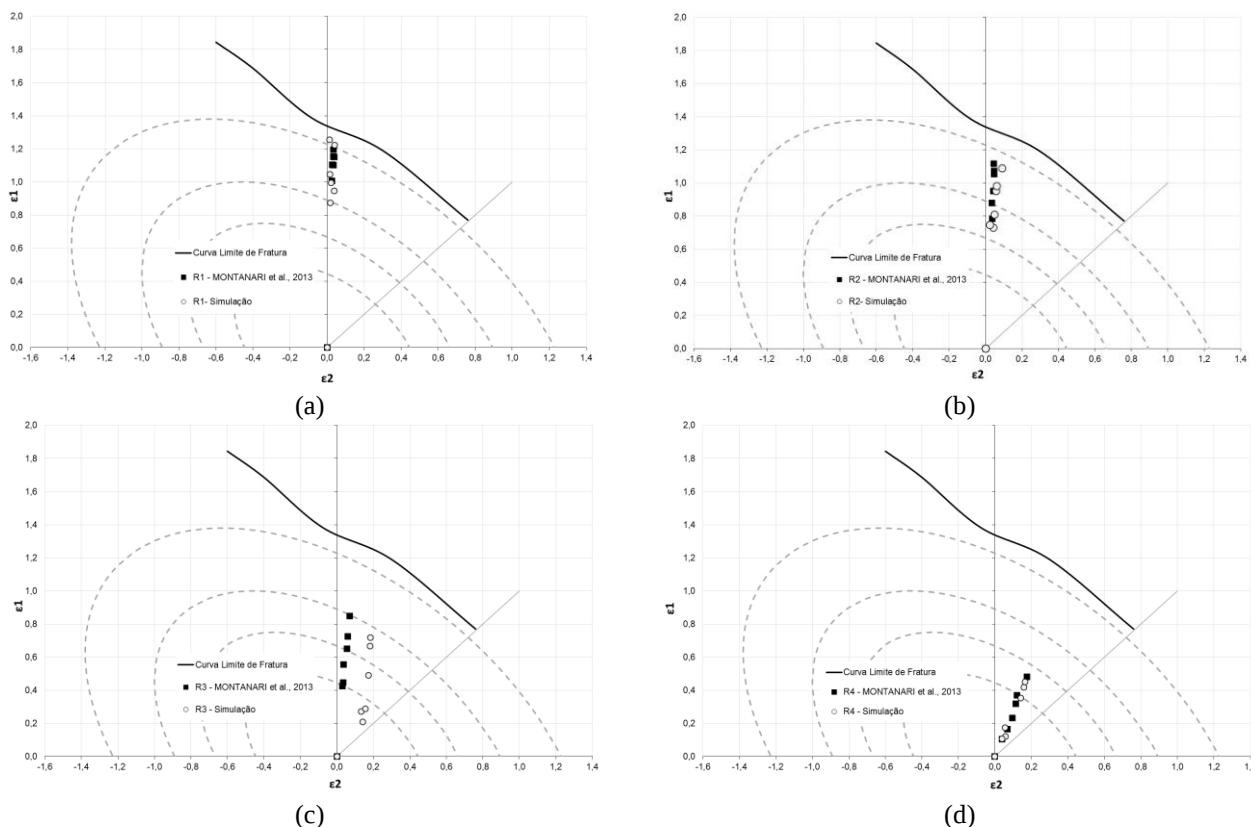
$$\varepsilon_{eq} = \sqrt{\frac{2}{3} \frac{(2+r)}{(1+2r)^2} [r(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - r\varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_1 - r\varepsilon_3)^2]} \quad \text{eq. 1}$$

Onde:

ε_{eq} = deformação equivalente

r = coeficiente de anisotropia normal médio

ε = deformação verdadeira, sendo que $\varepsilon_1 > \varepsilon_2 > \varepsilon_3$



Diâmetro inicial $D_0 = 121\text{mm}$
Figura 4. Comportamento das deformações.

Observa-se na Fig.4 (a) e (b) que a deformação na região R1 tende para a deformação plana $\varepsilon_2 \cong 0$ e apresentam nível de deformação mais elevado que os resultados experimentais e ultrapassa a deformação equivalente. Já para a região R2, os resultados do modelo em elementos finitos descrevem eficientemente a tendência dos pontos e o nível de deformações. Assim como na região R1, é evidente que as deformações ocorrem sob a condição deformação plana. Já para a região R3 há ligeiro aumento dos valores de ε_2 . Como os valores de ε_2 são pequenos e os níveis de deformação se apresentam no mesmo patamar e, tal como os valores experimentais, tendem para ao estado plano de deformações. A região R4 por sua vez, os resultados do modelo em elementos finitos descrevem bem a tendência dos pontos e o nível de deformação atingido. A região R4 apresenta o comportamento de deformação biaxial.

Assim como nos resultados experimentais, através das simulações com elementos finitos, é possível verificar que para todas as regiões as deformações se iniciam da origem e crescem monotonicamente até os valores máximos, sem mudança de trajetória, o que condiz com os resultados de Silva et al. (2013), que afirmam que na estampagem incremental a fratura não se dá em decorrência da estrição.

4. CONCLUSÕES

A estampagem incremental de chapas é um processo que cresce em importância à medida que aumenta a necessidade por novos processos flexíveis de fabricação.

Um meio de prever o comportamento de um sistema sob solicitação e de um corpo sob deformação plástica pode ser através de elementos finitos. Neste trabalho foi empregado o *software* LS-Dyna™ para prever a trajetória das deformações na estampagem incremental para a fabricação de flanges em chapas previamente furadas.

No que diz respeito à metodologia, foram realizados testes (linha e contato) que visavam otimizar o processo quando do emprego de elementos finitos. Foram realizados os testes de contato e de linha que permitiram definir as condições de contorno da chapa e impediu, por exemplo, acelerar o processo, pois usar este artifício influenciaria nos resultados obtidos. Portanto, é recomendado que antes das simulações se faça testes como esses.

O modelo de elementos finitos foi usado para determinar o comportamento das trajetórias de deformação. Foi possível verificar que as deformações são caracterizadas pelo início na origem e crescimento monotônico até os valores máximos. A parede do flange sofre deformação plana, enquanto na extremidade da aba e no canto há deformação biaxial. Estes resultados corroboram os resultados obtidos por Montanari et al. (2013). O crescimento monotônico também vem ao encontro dos resultados obtidos por Silva et al. (2013) que afirmam que na estampagem incremental de chapas a falha por fratura se dá sem a prévia ocorrência de estrição.

Portanto é possível afirmar que o emprego do método de elementos finitos para analisar o comportamento das deformações e a região onde ocorrerá a fratura é eficiente, por isso, promissor.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve apoio financeiro do CNPq e FAPESP.

6. REFERÊNCIAS

- Centeno, G.; Silva, M. B.; Cristino, V. A.; Vallellano, C.; Martin, P. A. F. Hole-flanging by incremental sheet forming. "International Journal of Machine Tools & Manufacture", n. 59, p. 46 – 54, 2012.
- Chera, I.; Bologna, O.; Racz, G.; Breaz, R.; Crenganis, M. FEM researches regarding incremental forming process. "Fascicle of Management and Technological Engineering", p. 53 – 58, 2013.
- Cofaru, N.; Oleksik, V.; Pascu, A. Finite element simulations regard different alternatives of the single point incremental forming process. "Proceedings of the 1st Wseas International Conference on Visualization, Imaging and Simulation", p. 167 – 172, 2008.
- CUI, Z.; Cedric Xia, Z.; Rena, F.; Kiridenaa, V.; Gaob, L. Modeling and validation of deformation process for incremental sheet forming. "Journal of Manufacturing Processes", p. 236 – 241, 2013.
- CUI, Z.; GAO, L. Studies on hole-flanging process using multistage incremental forming. "CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology", n. 2, p. 124 – 128, 2010.
- Dejardin, S.; Thibaudb, S.; Gelina, J. C.; Michela, G. Experimental investigations and numerical analysis for improving knowledge of incremental sheet forming process for sheet metal parts. "Journal of Materials Processing Technology", p. 363 – 369, 2010.
- Echraf S.B.M.; Hrairi, M. Research and progress in incremental sheet forming processes. "Materials and Manufacturing Processes", n. 26, p. 1404 – 1414, 2011a.
- Echraf, S. B. M.; Hrairi, M. Process simulation and quality evaluation of incremental sheet forming. "Iium Engineering Journal, Special Issue, Mechanical Engineering", p. 185 – 196, 2011b.
- Fratini, L.; Ambrogio, G.; Di Lorenzo, R.; Filice, L.; Micari, F. Influence of mechanical properties of the sheet material on formability in single point incremental forming. "CIRP Annals - Manufacturing Technology", p. 207 – 210, 2004.
- Henrard, C. "Numerical simulations of the single point incremental forming process". 2009. 224 f., Universidade de Liège, Liège, 2009.
- Hill, R. A theory of yielding and plastic flow of anisotropic metals. "Proceedings of the Royal Society of London" (Series A), n. 193, p. 281 – 297, 1948.
- Jeswiet, J.; Micari, F.; Hirt, G.; Bramley, A.; Duflou, J.; Allwood, J. Asymmetric single point incremental forming of sheet metal. "CIRP Annals - Manufacturing Technology", p. 84 – 114, 2005.
- Li, Y.; Liu, Z.; Daniel, W. J. T. (Bill), Meehan, P. A. Simulation and experimental observations of effect of different contact interfaces on the incremental sheet forming process. "Materials and Manufacturing Processes", n. 29, p. 121 – 128, 2014.
- Lopes, A. B.; Barlatb, F.; Gracioc, J. J.; Ferreira Duarted, J. F.; Rauche, E. F. Effect of texture and microstructure on strain hardening anisotropy for aluminum deformed in uniaxial tension and simple shear. "International Journal of Plasticity", v. 1, n. 19, p.1 – 22, 2003.
- Montanari, L.; Cristino, V. A.; Silva, M. B.; Martin, P. A. F. A new approach for deformation history of material elements in hole-flanging produced by single point incremental forming. "The International Journal of Advanced Manufacturing Technology", n. 69, p.1175 – 1183, 2013.
- Oleksik, V.; Breaz, R. E.; Pascu, A. M. Finite element method simulation for rectangular parts obtained by incremental sheet metal forming process. "Proceedings of the 15th International Conference on Manufacturing Systems – Icmas", p. 407 – 410, 2006.
- Petek, A.; Kuzman, K.; Fijavž, R. Backward drawing of necks using incremental approach. "Key Engineering Materials"; v. 473, p. 105 – 112, 2011.
- Petek, A.; Kuzman, K. Backward hole-flanging technology using an incremental approach. "Journal of Mechanical Engineering", v. 58, n. 2, p. 73 – 80, 2012.
- Qin, Q.; Wu, D. P.; Li, M.; Zang, Y. Numerical simulation on the effect of process parameters for incremental sheet forming. "Advanced Materials Research". Beijing, p. 158 – 161, 2010.
- Rice, J. R., Tracey, D.M. On the ductile enlargement of voids in triaxial stress fields. "Journal of the Mechanics and Physics of Solids", 1969.
- Silva, M. B.; Teixeira, P.; Reis, A.; Martins P. A. F. On the formability of hole-flanging by incremental sheet forming. "Journal of Materials Design and Applications", n. 227, p. 91 – 99, 2013.

- Thibaud, S.; Ben Hmida, S. R.; Richard, F.; Malécot, P. A fully parametric toolbox for the simulation of single point incremental sheet forming process: Numerical feasibility and experimental validation. "Simulation Modelling Practice and Theory", p. 32 – 43, 2012.
- Yamashita, M.; Gotoh, M.; Atsumi, S. Numerical simulation of incremental forming of sheet metal. "Journal of Materials Processing Technology", p. 163 – 172, 2008.

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

STUDY OF THE BEHAVIOR OF DEFORMATIONS IN HOLE-FLANGING PRODUCED BY INCREMENTAL SHEET FORMING USING FINITE ELEMENTS

Michael Miguel Furlanetti, michael.furlanetti@gmail.com

Luciana Montanari, montanar@sc.usp.br

University of São Paulo, Engineering School of São Carlos – Mechanical Engineering
Av. Trabalhador Sãocharlens 400 – São Carlos – SP – CEP 13566-590

Abstract: *The main features in incremental sheet forming process are flexibility and ease of implementation suitable for the manufacture of small batch parts and prototypes. The deformation occurs due to the contact between the tool and the sheet locally and progressively along a predefined tool path. This work studies about finite elements, using the LS-Dyna™ software, applied to deformation path in hole-flanging produced by incremental sheet forming. The investigation was carried out using aluminum alloy AA1050. The methodology consists of, first, performing tests and contact line of the sheet to define the boundary conditions and then determining the deformation paths. The results for the strains were compared with the results obtained experimentally by other authors and helped confirm the trajectory of the behavior of the deformations on the hole-flange. This result confirms the absence of local necking along plane strain directions and it's possible to predict the state of deformation in the process and therefore may be useful as failure prevention tool.*

Keyword: hole-flanging, single incremental sheet forming, deformation mechanics

8. DIREITOS AUTORAIS

The authors are responsible for the content of these papers.