

ESTUDO DOS PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA NA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE ESTAMPAGEM

Leonardo Camilo dos Reis ⁽¹⁾

Paulo Roberto Cetlin ⁽²⁾

Túlio Magno Füzessy de Melo ⁽³⁾

Estevam Barbosa de Las Casas ⁽⁴⁾

Resumo

A simulação do processo de estampagem de chapas, com a utilização de métodos numéricos, requer dados de geometria do produto, do material empregado e do próprio processo. A utilização da simulação numérica tem por objetivo prever e visualizar a geometria deformada, determinar a espessura final da peça e outros resultados relevantes no processo de estampagem. Neste estudo foi realizada uma análise de sensibilidade da simulação numérica à variação de alguns parâmetros de simulação: tipo de elemento, tamanho do elemento e número de pontos de integração ao longo do elemento de casca, avaliando-se suas influências sobre o tempo de processamento e qualidade dos resultados obtidos. Os resultados dos modelos foram comparados e validados a partir da peça real. A geometria da peça representada pelo modelo e a metodologia adotada permitiram avaliar a influência dos parâmetros de simulação com elevada eficiência.

Palavras-chave: simulação numérica, conformação mecânica, estampagem

Study of the Parameters of Influence in the Numeric Simulation of Sheet Metal Forming

Abstract

The numerical simulation of the deep drawing of steel sheets requires data about product geometry, material properties and the process itself. Numerical simulation has been widely applied to predict and visualize the deformed geometry, final thickness of the work piece and other features typical of the forming process. This work discusses the sensitivity of numerical simulation by changing some parameters: element type, element size and integration points in elements shell. The influence of these parameters on processing time and quality of the results was also analyzed. The results of the models were compared and validated with the real pieces. The model geometrical and adopted methodology allowed evaluating the influence of the simulation parameters with high efficiency.

Key-words: numerical simulation, drawing, stamping

1. INTRODUÇÃO

A Usiminas tem adotado com sucesso técnicas de simulação numérica em diversas etapas de seus processos industriais. Estas técnicas têm contribuído, de forma notável, para redução de custos, otimização de processos, entendimento de fenômenos intrínsecos dos processos e melhoria da qualidade dos produtos.^(1,2)

A importância da simulação de estampagem de chapas é a redução do tempo

de *try-out* e dos custos associados ao desenvolvimento das ferramentas de estampagem.^(3,4) A simulação permite avaliar as regiões da peça que poderão sofrer trincas, enrugamento, redução de espessura e retorno elástico, propondo medidas corretivas das ferramentas antes de sua fabricação e sugerir ajustes do processo, tais como a utilização de lubrificantes e pressão de trabalho no prensa-chapas.

O objetivo do trabalho é analisar a sensibilidade da simulação numérica de estampagem à variação de alguns parâmetros: tipo de elemento, tamanho do elemento e número de pontos de integração ao longo do elemento de casca, avaliando suas influências sobre o tempo de processamento e a qualidade dos resultados obtidos.⁽³⁾

⁽¹⁾ Membro da ABM; Engenheiro Mecânico, M.Sc., Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas; Ipatinga, MG.

⁽²⁾ Membro da ABM; Engenheiro Mecânico, Dr., Prof. Titular da Escola de Engenharia da UFMG; Belo Horizonte, MG.

⁽³⁾ Membro da ABM; Engenheiro Mecânico, Dr.-Ing., Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da Usiminas; Ipatinga, MG.

⁽⁴⁾ Engenheiro Civil, Ph.D., Prof. Titular da Escola de Engenharia da UFMG; Belo Horizonte, MG.

Testes experimentais também foram realizados para determinar as propriedades mecânicas necessárias à simulação e para comparar os resultados numéricos com o produto real.

2. METODOLOGIA

2.1 Desenvolvimento do Modelo

Os modelos geométricos das ferramentas foram desenvolvidos no programa de CAD Unigraphics e transferidos para o software de modelamento matemático. Para a redução do tempo de processamento, considerou-se apenas um quarto da peça, o que foi possível devido a suas condições de simetria. A Figura 1 ilustra a geometria das ferramentas (matriz, prensa-chapas e punção) utilizadas na estampagem da peça.

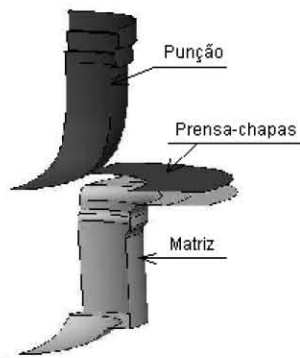


Figura 1. Geometria das ferramentas para estampagem.

2.2 Propriedades do Material

O material utilizado na análise do *blank* foi considerado homogêneo e isotrópico, sendo suas propriedades físicas e mecânicas obtidas à temperatura ambiente. A peça é conformada em chapa de aço NBR 5906 EPA, com espessura de 3,85 mm. Os valores de propriedades mecânicas empregadas na análise de simulação de estampagem encontram-se listados na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades do aço empregado nas análises de estampagem.

Aço	E (GPa)	Poisson	LE (MPa)	n (encroamento)	k (MPa)
NBR 5906 EPA	207	0,30	273	0,218	595

O modelo de material teórico utilizado leva em consideração a curva de tensão por deformação efetiva do material, obtida em ensaio de tração.

2.3 Condições de Contorno

As condições de contorno impostas ao *blank* foram restrições aos deslocamentos e rotações, nos graus de liberdade dos nós localizados nas regiões de simetria. Para a matriz, restringiram-se

todos os graus de liberdade, enquanto que para o punção e o prensa-chapas liberou-se apenas o movimento de translação vertical. (5,6,7)

3. VALIDAÇÃO DO MODELO

A validação do modelo da carcaça do compressor foi realizada a partir da medição da penetração radial final do *blank*, isto é, a diferença entre o raio inicial do *blank* e o raio final do produto após a conformação. Outro fator avaliado foi a variação da espessura final da carcaça ao longo de uma seção longitudinal, comparando-se os valores reais com os obtidos no modelo básico, Figura 2.

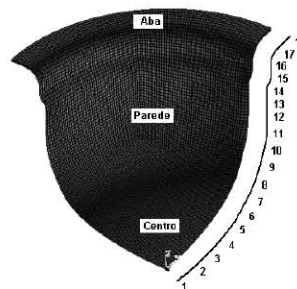


Figura 2. Localização dos pontos de avaliação ao longo de uma seção transversal da parede da carcaça.

A Figura 3 mostra a distribuição de espessura da chapa deformada e a penetração do *blank*. Os valores negativos apresentados na figura são devidos à orientação dos eixos do sistema de coordenadas utilizado na construção do modelo.

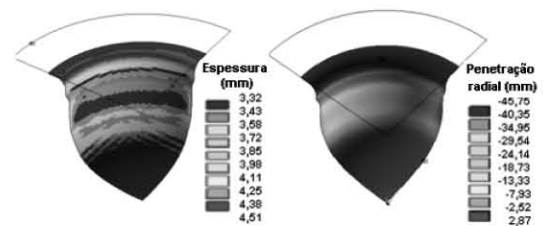


Figura 3. Distribuição de espessura e penetração radial do *blank*.

Na Tabela 2 compara-se a penetração radial do *blank* obtida com o modelo e com a peça real estampada.

Tabela 2. Comparação entre o modelo e a peça real estampada.

Resultados	Simulação	Peça real
Penetração radial (mm)	43,0	42,8
Diâmetro final da carcaça (mm)	224,0	224,4

A Figura 4 mostra os valores das espessuras obtidas com o modelo e seus valores reais ao longo dos pontos indicados na Figura 2.

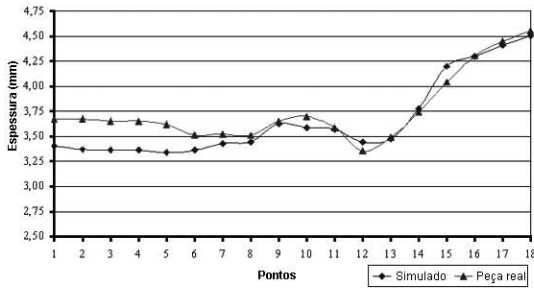


Figura 4. Espessuras na parede obtidas com o modelo da peça real.

Comparando-se os resultados, o modelo apresentou um erro máximo de 7,9% nos pontos 3 e 4. As diferenças são compreensíveis porque os modelos levarem em consideração:

- propriedades dos materiais ideais;
- coeficiente de atrito constante;

4. INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO

Tipo do Elemento

Simulou-se o mesmo modelo com dois tipos de elementos: volume e casca, SOLID164 e SHELL163, respectivamente. Na Figura 5 tem-se a penetração radial do *blank* para os dois tipos de elementos usados.

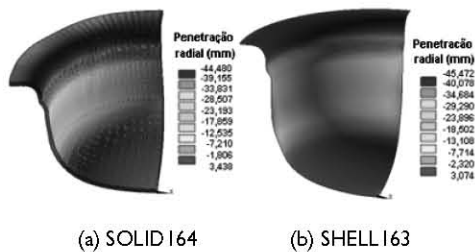


Figura 5. Penetração radial do *blank*.

A penetração radial máxima do *blank* e o tempo de processamento são mostrados na Tabela 3. O tempo de processamento refere-se ao tempo de obtenção da convergência quando foi utilizado elemento de casca. Já na Tabela 4, compararam-se os valores das deformações principais e espessura dos modelos com a peça real, obtidos nas regiões localizadas no centro, na parede lateral e na aba do *blank* depois de conformado, conforme mostrado na Figura 2.

Tabela 3. Valores da penetração do *blank* e tempo de processamento.

Resultados	Simulado		Peça real
	SHELL163	SOLID164	
Penetração radial (mm)	43,0	38,4	42,8
Tempo de processamento (h)	2,5	8,75	-

Tabela 4. Valores das deformações principais e espessura.

Regiões de avaliação		Aba	Parede	Centro
Laboratório	Esp. (mm)	4,55	3,53	3,45
	ϵ_1 (%)	21,00	41,70	19,70
	ϵ_2 (%)	-34,30	-36,70	-8,33
Elemento SHELL163	Esp. (mm)	4,50	3,48	3,40
	ϵ_1 (%)	16,90	47,80	16,70
	ϵ_2 (%)	-32,90	-32,90	-9,80
Elemento SOLID164	Esp. (mm)	-	-	-
	ϵ_1 (%)	15,80	45,50	16,50
	ϵ_2 (%)	-29,20	-29,50	-11,90

A utilização de elementos sólidos não é muito indicada na simulação do processo de estampagem pelo fato do tempo de processamento ser muito elevado quando comparado com o elemento de casca. Além disso, este elemento não fornece diretamente a variação da espessura após deformação. Observando a penetração do *blank* e as deformações principais para os dois tipos de elementos, com as mesmas características de simulação, observa-se uma melhor precisão nos resultados obtidos com o elemento de casca.

4.1 Tamanho do Elemento

O modelo da carcaça foi simulado diversas vezes, alterando-se o tamanho dos elementos de casca do *blank*. Foram utilizados elementos quadrados de tamanhos variados e avaliado o tempo de simulação para cada modelo.

Na Tabela 5, compararam-se os valores da penetração do *blank* e da espessura obtida com os modelos com o valor real.

Tabela 5. Valores da penetração do *blank*, espessura e tempo de processamento dos modelos.

Tamanho do elemento (mm)	Tempo de processamento (h)	Penetração radial (mm)	Espessura (mm)		
			Aba	Parede	Centro
1,5	10,49	43,0	4,52	3,50	3,40
2,5	2,50	42,8	4,50	3,48	3,39
4,0	0,59	42,9	4,49	3,46	3,38
5,0	0,32	43,5	4,51	3,41	3,40
Peça Real	-	42,8	4,55	3,53	3,45

Nestas simulações, a variação do tamanho do elemento não afetou significativamente os resultados, como verificado na Tabela 5. Isto indica que se pode trabalhar com uma malha mais grosseira, obtendo resultados com maior rapidez, sem comprometer sua qualidade.

4.2 Número de Pontos de Integração

Foram simulados três casos com 2, 3 e 15 pontos de integração. O aumento de pontos tende a melhorar a qualidade dos resultados dos modelos, mas requer maior tempo de processamento.

Para o modelo estudado, o aumento do número de pontos de integração não afetou significativamente os resultados, conforme observado na Tabela 6.

Tabela 6. Resultados dos modelos em função do número de pontos de integração do elemento de casca.

Pontos de integração	Tempo de processamento (h)	Penetração radial (mm)	Espessura (mm)		
			Aba	Parede	Centro
2	2,50	42,2	4,49	3,43	3,43
3	1,90	42,8	4,50	3,48	3,39
15	1,25	43,1	4,51	3,50	3,42
Peça Real	-	42,8	4,55	3,53	3,4

5. CONCLUSÕES

A metodologia desenvolvida permitiu avaliar com eficiência a influência dos parâmetros de simulação do processo de estampagem.

De acordo com os resultados da simulação, observou-se que a geometria deformada apresenta condição similar à da peça real.

A utilização de elementos sólidos (SOLID164) na simulação de estampagem com o programa LS-DYNA não é recomendada para o caso analisado, pois o tempo de simulação aumenta aproximadamente em 3,5 vezes.

De maneira geral, o programa atende às necessidades de simulação do processo de estampagem de chapas, podendo prever problemas e avaliar alternativas de solução ainda na fase de projeto. As respostas podem ser obtidas de maneira rápida, eficiente e com precisão. Esta tecnologia vem trazer uma importante contribuição aos esforços da Usiminas em fornecer engenharia de aplicação de seus produtos junto aos clientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO FILHO, G.M. Obtenção dos parâmetros de escoamento de aço em distribuidores de lingotamento contínuo através de simulação numérica. In: SEMINÁRIO SOBRE FUSÃO, REFINO E SOLIDIFICAÇÃO DOS METAIS, 30., 1999, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: ABM, 1999.
2. ARAÚJO FILHO, G.M., MARQUES FILHO, D. Simulação numérica do perfil térmico de canal de corrida com sistema de refrigeração. In: SEMINÁRIO DE REDUÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO, 29., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: ABM, 1998.
3. REIS, L.C. **Estudo dos parâmetros de influência na simulação numérica de estampagem de chapas.** 2002. 126 p. Dissertação (Mestrado em Metalurgia Física) - Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2002.
4. REIS, L.C.; BORGES, R.N. Implantação da simulação numérica do processo de estampagem na Usiminas. In: SEMINÁRIO DE ELEMENTOS FINITOS, 10., 2000, São Paulo. São Paulo: SMARTTECH, 2000. 1 CD-ROM.
5. GALBRAITH, P.C.; HALLQUIST, J.O. Shell element formulations in LS-DYNA3D: their use in modelling sheet metal forming. **Journal of Materials Processing Technology**, v.50, n.1-4, p. 158-167, Mar. 1995. (International Conference on Numerical Simulation of 3-D Sheet Metal Forming, 2., 1993, Isehara, Japão)
6. LAS CASAS, E.B.; ROJEK, J.; SILVA, A.L. Equivalent drawbeads: computer modeling and experiments. In: NUMISHEET'99 - INTERNATIONAL CONFERENCE AND WORKSHOP ON NUMERICAL SIMULATION OF 3D SHEET FORMING PROCESSES, 1999, Besançon, França. **Proceedings...** Basançon, 1999. p.249-254
7. BATHE, K. J. **Finite element procedures in engineering analysis.** New York: Prentice-Hall, 1982.