

ANÁLISE COMPUTACIONAL DE TENSÕES RESIDUAIS GERADAS POR UM PROCESSO DE ESTAMPAGEM

Rafael de Brites Nascimento, rafaeldebrites@gmail.com¹
Guilherme Germano Braga, guilhermegbraga@gmail.com¹
Frederico Ozanan Neves, fred@ufsj.edu.br¹
Márcio Eduardo Silveira, mesilveira@gmail.com¹

¹Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170 – Centro, São João del Rei - MG

Resumo: O processo de conformação mecânica é muito utilizado na indústria em geral, no entanto na automobilística, o processo se torna mais presente e vem sendo objeto de estudo por muitos pesquisadores para a melhoria de seus produtos sem deixar de lado a confiabilidade dos mesmos. Na estampagem, como em outros processos de fabricação, podem ocorrer defeitos devidos aos diversos materiais e parâmetros utilizados, como por exemplo o tipo de lubrificante, que atua para prolongar a vida do ferramental, bem como melhorar o fluxo de material durante a estampagem. Além disso, devido à deformação do material, as peças estampadas possuem tensões residuais que podem ser benéficas ou não para a vida em fadiga das mesmas. Neste trabalho a simulação numérica é utilizada para avaliar o desempenho de quatro tipos de lubrificantes no processo de estampagem quanto a formação de tensões residuais. Os lubrificantes analisados foram o Renoform MZA20 (de base mineral), e os óleos de algodão, linhaça e mamona (de base vegetal). Os resultados obtidos nas simulações realizadas permitem concluir que os óleos de algodão e linhaça podem ser usados em substituição ao lubrificante mineral estudado. Além disso, pode-se ainda optar entre os lubrificantes de menor custo de aquisição, maior facilidade de descarte ou de menor impacto ambiental.

Palavras-chave: estampagem, lubrificantes, tensões residuais

1. INTRODUÇÃO

A estampagem é um processo de conformação mecânica que compreende um conjunto de operações pelas quais uma chapa plana é submetida a transformações de modo a adquirir uma nova forma geométrica, plana ou oca. A deformação plástica é feita com o emprego de prensas de estampagem, matriz e punção (CHIAVERINI, 1983). Para Ferrarini (2004) estampagem é o processo de fabricação de um produto a partir de uma chapa, com o objetivo de apresentar um formato desejado, sem defeitos ou falhas. O formato final do produto após o processo de estampagem é definido pelo ferramental e pelos parâmetros do processo que podem ser controlados.

A estampagem de chapas é um processo importante na fabricação moderna. Na indústria automotiva, por exemplo, quase todos os painéis da carroceria são fabricados por estampagem. O processo de estampagem, no entanto, devido à sua complexidade envolve muitos fatores tais como a deformação elástica e plástica de chapas, modelo da peça, fabricação e lubrificação das matrizes, prensa e outros (JIN e SHI, 2000).

Segundo Da Silva (2008) o atrito gerado entre o ferramental e a chapa devido ao lubrificante influencia diretamente na produção de fluxos irregulares de metal, formação de tensões residuais, qualidade superficial, desgaste prematuro das ferramentas, aumento de temperatura e energia necessária à deformação. Sendo que, os três primeiros fatores, fluxos irregulares, tensões residuais e acabamento superficial da peça podem acarretar em uma redução considerável da resistência à fadiga dos produtos finais.

As tensões residuais são normalmente consideradas tensões indesejadas pela dificuldade em prever sua magnitude e pela característica desfavorável de se combinarem com as demais componentes de tensões, especialmente nas situações que envolvem fadiga (CORDOVIL, 2001 apud SUTERIO, 2005). Já segundo Tekkaya (2000), tensões residuais e efeito mola estão entre questões bastante críticas. Estes fenômenos são devidos ao regime elástico do material após a deformação elasto-plástico. Portanto, um modelo matemático extremamente preciso, na parte elasto-plástico da deformação é necessário, uma vez que o estado de equilíbrio após a descarga depende das diferenças das tensões no regime plástico.

Para se evitar defeitos na peça final resultante de um processo de conformação, é importante ter um conhecimento profundo da distribuição de tensão gerada na estampagem, do comportamento mecânico dos materiais, e das condições dos equipamentos de conformação. Os ajustes dos parâmetros de estampagem, muitas vezes são feitos por tentativa e erro, o que causa um grande prejuízo de tempo e material. Assim a simulação numérica pode ser utilizada para otimizar todas as fases dos processos, com uma grande economia de tempo e redução de custos, Kobayashi, (1989).

Além disso, o emprego do fluido lubrificante adequado deve garantir que as condições finais do produto tenham maior confiabilidade e assim reduzir os riscos de falha mecânica. Desta forma, a simulação numérica se torna uma ferramenta importante para o desenvolvimento de uma peça estampada, pois com o uso da mesma, é possível além de

proporcionar um melhor dimensionamento do ferramental, antecipa diversos parâmetros que podem servir para uma melhoria antecipada da peça final. Como exemplo, pode ser citado as deformações durante o processo, que pode nos fornecer uma análise qualitativa das tensões residuais.

De acordo com Oliveira (2015) o lubrificante é qualquer película de um gás, líquido ou um sólido que se interpõe entre duas superfícies, com o objetivo de diminuir os esforços e desgastes provenientes do movimento relativo entre elas. O filme lubrificante que separa a superfície dos corpos é geralmente muito fino, algumas vezes sendo de difícil observação. A espessura dessas películas lubrificantes pode ir de 1 a 100 microns.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para análise computacional foi utilizado o software de simulação numérica via Métodos dos Elementos Finitos (adquiridos através de uma parceria com a empresa Altair), que possui o pré-processamento Hyperform (usado em simulação de processos de conformação), solver Radioss (software com formulação explícita, robusta o suficiente para lidar com todas as não-linearidades - geométrica, material e de contato, presentes nesta simulação) e pós-processamento Hyperview (para visualização e análise dos resultados).

A simulação numérica foi feita em duas etapas. Em ambas as etapas, foi utilizado um pacote dedicado ao processo de estampagem dentro do software Hyperworks®. Este pacote é o Hyperform, onde é possível gerar o pré processamento da estampagem de uma forma mais rápida e simples, no entanto, este pacote só proporciona análises de chapas em formato de casca, ou seja, não possibilita avaliar as variações dos parâmetros ao longo da espessura da chapa de forma eficiente.

Neste primeiro momento foram realizadas simulações prévias que geraram resultados importantes para a definição das ferramentas e a geometria do blank. Para a segunda etapa, foi utilizado o Radioss, pacote que proporciona uma gama de ferramentas para o pré processamento da estampagem com elementos sólidos, apresentando assim melhores resultados dos parâmetros ao longo da espessura da chapa estampada. No entanto, esta etapa apresentou alto custo computacional e o tempo de simulação.

A princípio uma simulação do processo de estampagem foi realizada através do pré-processamento Hyperform com os seguintes dados de entrada:

- Deslocamento do punção de 48 mm para baixo (direção negativa do eixo Z) e após o processo 30 mm para cima para a remoção do contato do punção;
- Coeficiente de atrito de 0,125 (padrão de entrada no Hyperform), usado no contato de peça e ferramental;
- Material com densidade de 7,8 kg/m³; módulo de elasticidade de 210 GPa; coeficiente de Poisson 0,3 (aço de baixo carbono selecionado na biblioteca do software);
- Espessura do blank de dois milímetros;

A matriz e punção usadas na simulação foram modeladas como elementos em casca e rígidos, evitando assim um tempo computacional elevado bem como permitindo que somente o blank sofreria deformação. A matriz foi definida com posição fixa e o punção com deslocamento apenas no eixo Z. A quantidade de elementos gerados foi de 2.512 (tipo casca 2D com seis graus de liberdade por nó).

Para o processo de simulação em 2D, foi usada uma montagem enxuta, com a finalidade de simplificar a análise, reduzir o tempo e memória usada durante o processamento da estampagem. Foram usados parâmetros automáticos de malha, sendo adotado elementos de 2mm, Figura 1. Este processo foi necessário, pois serviu como base para correções realizadas nos parâmetros, geometria e malha antes que se iniciasse a simulação em elementos 3D.

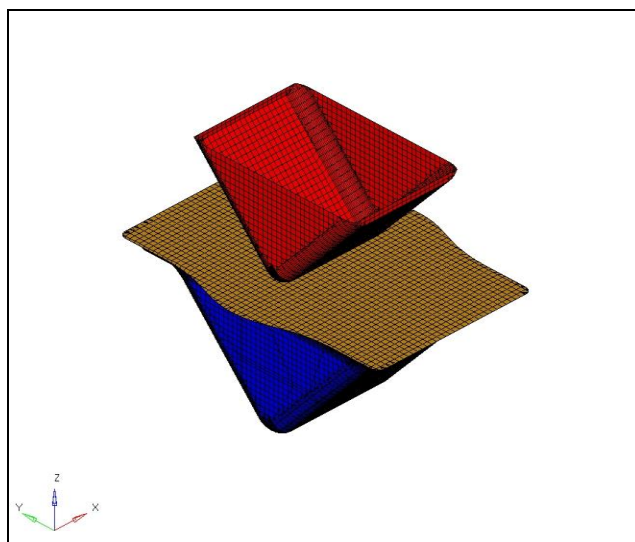


Figura 1: Modelo de estampagem com chapa em 2D.

Na segunda etapa da simulação, foi utilizado o pré-processamento pela interface Hypermesh. Alguns parâmetros de entrada foram os mesmos da simulação em 2D, como: deslocamento do punção (48mm) e espessura do blank em 2mm, no entanto modelado como elementos sólidos. Os parâmetros de atrito e propriedade dos materiais foram alterados conforme os propostos para tal estudo, sendo utilizado como material do blank o aço SAE 1020. Já os lubrificantes em análise foram de base mineral e vegetal, sendo eles Renoform MZA 20, algodão, linhaça e mamona. A Tabela 1 apresenta os dados de coeficiente de atrito para cada um dos fluidos, vale ressaltar que tais dados foram extraídos dos trabalhos desenvolvidos por Menezes (2015), Tayer (2011) e Oliveira (2015).

Tabela 1: Coeficientes de atrito dos lubrificantes utilizados no processo de estampagem.

Lubrificante	Coeficiente de atrito
Algodão	0,06890
Linhaça	0,06897
Mamona	0,37900
Renoform MZA 20	0,0345

Para uso dos dados de tensão em função da deformação do material, deve ser feito um tratamento nos dados para fazer a remoção do regime elástico do material, mantendo assim somente o comportamento plástico do mesmo. Vale salientar também que qualquer degrau ou pico na curva deve ser corrigido para que se possa evitar erros de leitura das propriedades do material pelo software de simulação numérica. A Figura 2 ilustra a curva verdadeira do regime plástico do aço 1020 utilizado. Os dados do regime elástico são calculados automaticamente pelo software com base na lei de Hook.

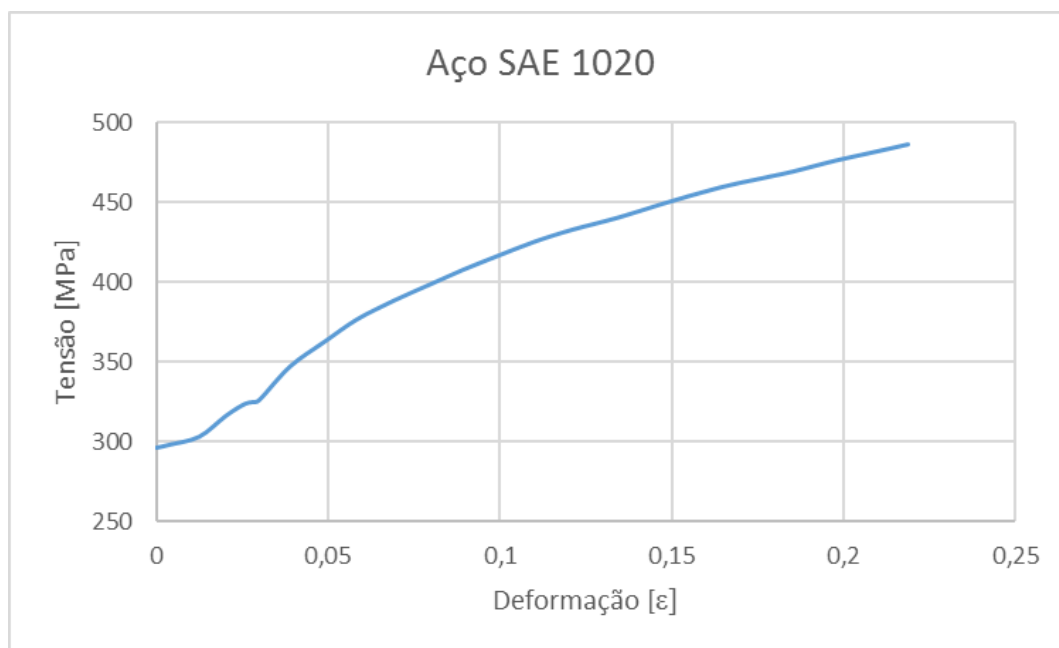


Figura 2: Curva do material para uso na simulação numérica

Como citado anteriormente os parâmetros para a simulação em 3D se mantiveram quase os mesmos, sendo necessário fazer algumas alterações de propriedades para que o software interpretasse o material como um sólido e não mais como uma casca. Para discretizar a chapa foram usados elementos hexaédricos de 2mm, com 5 elementos ao longo da espessura, neste caso foram criados 35471 elementos, que representa mais de 14 vezes o número de elementos da análise em 2D. A Figura 3 ilustra a montagem do sistema para o processo de estampagem e os 5 elementos ao longo da espessura da chapa.

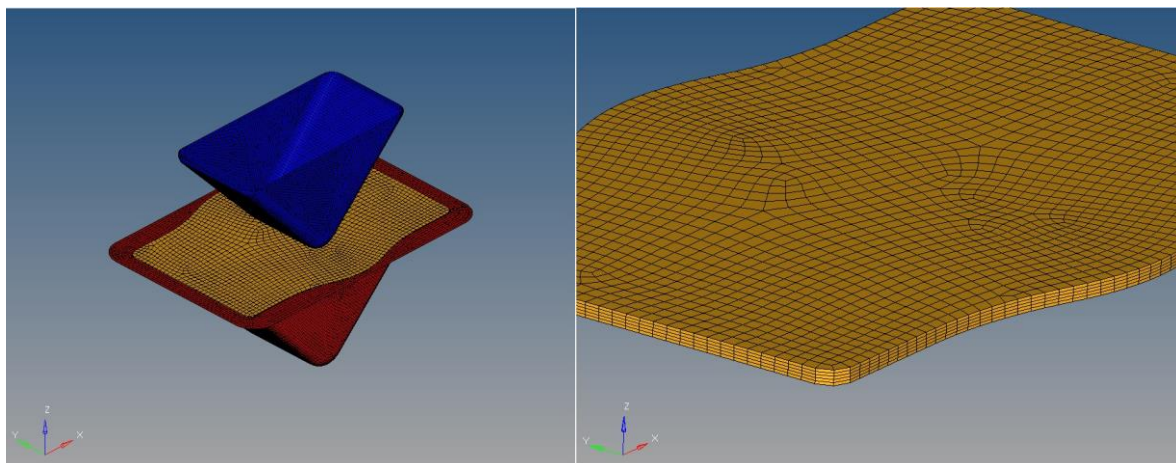


Figura 3: Modelo em 3D e chapa com elementos ao longo da espessura.

3. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 4 apresenta uma análise de tensão de von Mises para a chapa em 3D, modelada com as propriedades retiradas do aço SAE 1020 e com os lubrificantes propostos, mais especificamente o Renoform MZA 20. Nela, as tensões apresentadas são referentes ao processo, ou seja, enquanto ainda existe contato da chapa com a matriz e punção.

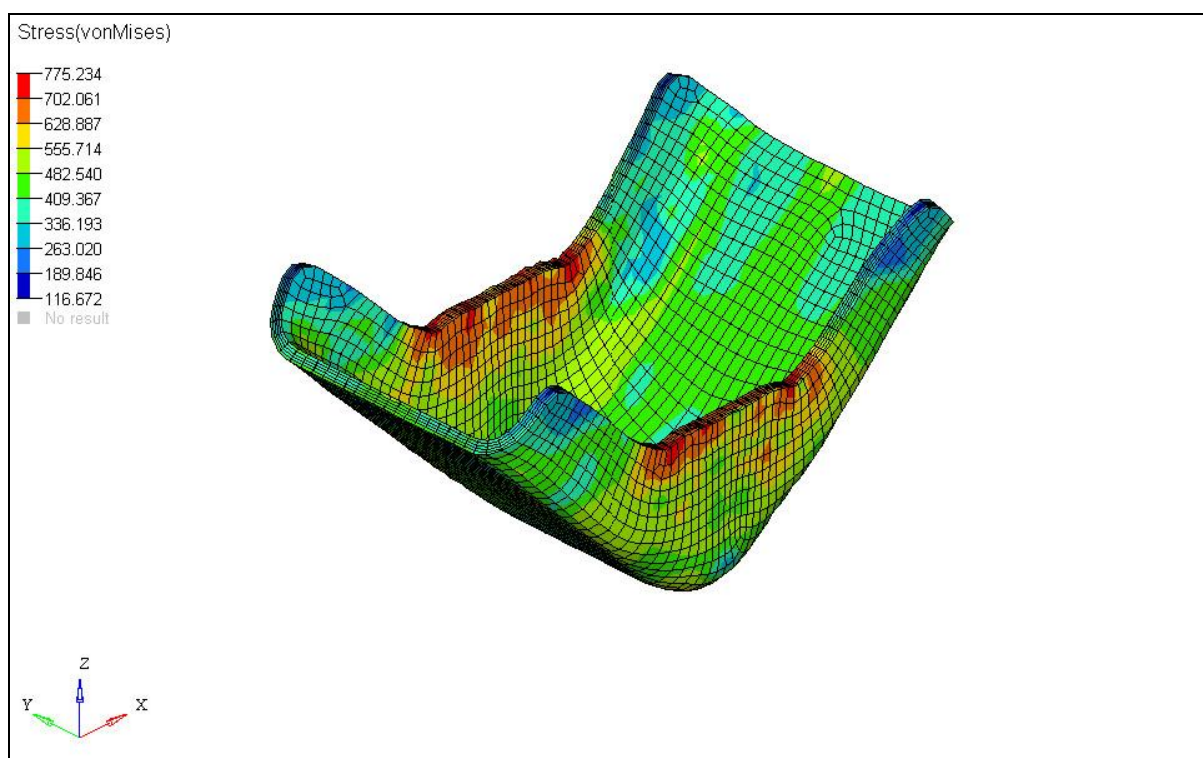


Figura 4: Análise de tensões em chapa em 3D.

Com a análise não linear das propriedades, torna-se necessário após a remoção do punção, o relaxamento das tensões geradas durante o processo, para que desta forma, sejam expressas tensões residuais retidas. Para isso foi necessário realizar o spingback do material ao mesmo tempo em que um parâmetro de amostecimento foi adicionado na simulação. Desta forma as tensões espessas ao fim da simulação não apresentaria nenhuma flutuação, isso é ilustrado na Figura 5, onde a tensão se estabiliza em torno de 70 Mpa para o lubrificante Renoform MZA 20.

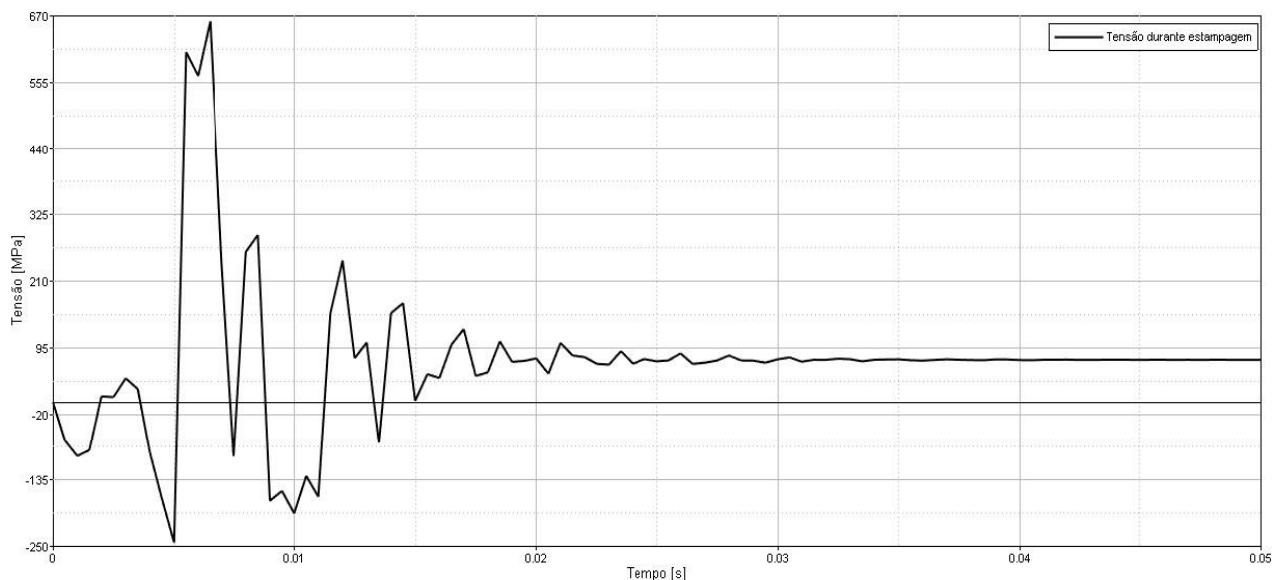


Figura 5: Tensão residual amortecida

Para simplificação da análise, foram adotados três elementos da malha para comparação dos resultados, como mostrado na Figura 6. Estes pontos foram selecionados na região de deformação mais intensa na peça, e possivelmente em local onde ocorreria uma fadiga prematura de acordo com as tensões residuais geradas.

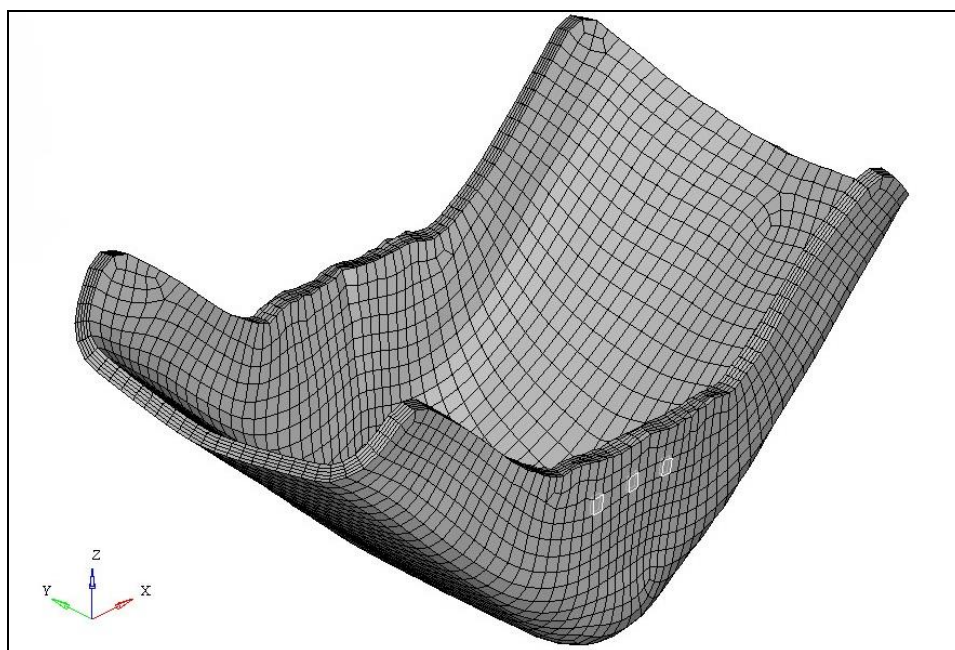


Figura 6: Pontos para comparação da deformação.

A Figura 7 ilustra as deformações nas direções X e Z, com os diferentes tipos de lubrificantes simulados. Pode-se perceber que na direção de X que o elemento apresenta deformações de compressão e na direção de Z as deformações são de natureza trativa, como já esperado.

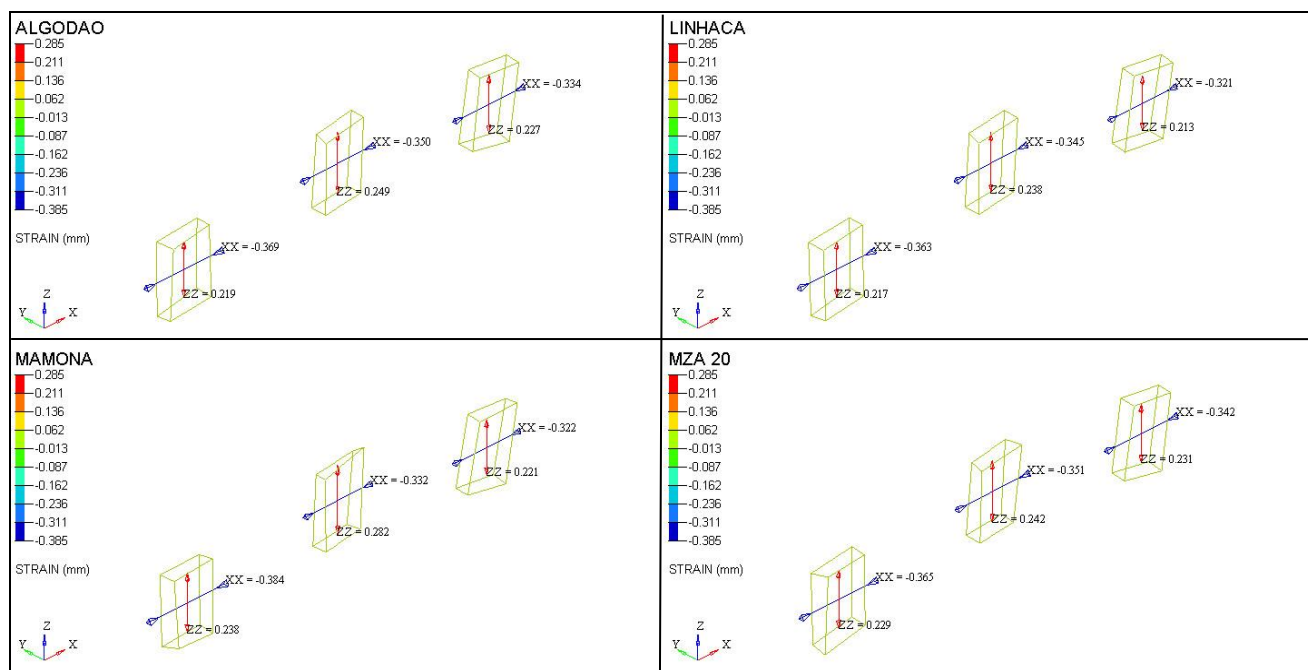


Figura 7: Deformações do Aço SAE 1020.

Por fim, as tensões residuais foram medidas em apenas um nó (428) para cada tipo de lubrificante, como ilustra a Figura 8. Neste caso as tensões apresentadas estão na direção X, onde representaria uma maior influência na durabilidade da peça quando em uso. Os resultados foram: 69,294 MPa para a simulação com óleo de algodão, 68,454 MPa para linhaça, 82,147 MPa para mamona e 73,417 MPa para o Renoform MZA 20.

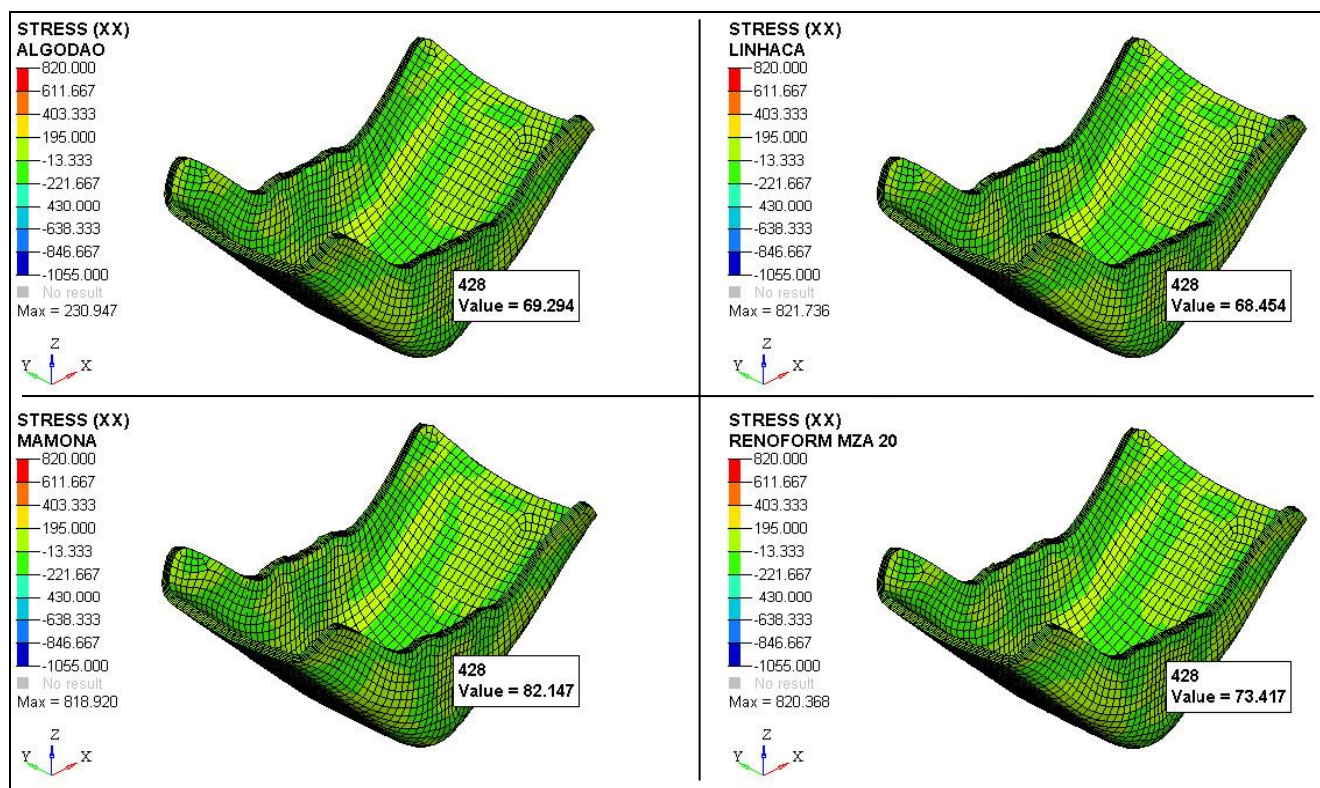


Figura 8: Tensões residuais na direção X

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- Os pontos avaliados sofreram deformação de natureza compressiva no eixo X e trativa no eixo Z. Tal comportamento corresponde ao esperado, devido ao dobramento que impõe uma compressão no eixo X e o estiramento que este sofre no eixo Z.
- Os resultados de tensão residual após o processo, avaliado por simulação numérica, mostraram comportamento como esperado, sendo de natureza trativa no eixo X e compressiva no eixo Z. Essas tensões são contrárias às tensões percebidas ao longo da deformação do material.
- Os resultados indicam que os lubrificantes algodão e linhaça apresentaram tensões residuais próximas ao Renoform MZA 20. Assim, é possível concluir que é possível utilizar estes dois lubrificantes vegetais em substituição ao lubrificante mineral estudado. Além disso, pode-se ainda optar entre os lubrificantes de menor custo de aquisição, de descarte ou de impacto ambiental. Já o óleo de mamona, apresentou tensão trativa mais elevada, o que levaria a uma qualidade inferior da peça estampada quando comparada com o uso dos outros lubrificantes.

5. REFERÊNCIAS

- Chiaverini, V. Aços e Ferros Fundidos. 4ed. Associação Brasileira de Metais, São Paulo, 1983.
- Ferrarrini, J. L.; Caracterização de Chapas Metálicas para Estampagem. 2004. Dissertação (mestrado em engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- Jin, J; Shi, J., Diagnostic feature extraction from stamping tonnage signals based on design of experiments, transactions of ASME, Journal of Manufacturing Science and Engineering v.122, 360-369, 2000.
- Da Silva, G. C; G. D. C. e Carvalho; J. I. Junior. (2008) Método Numérico Avalia a Influência do Coeficiente de atrito na Estampagem. Revista Corte & Conformação de Metais – Junho 2008. Editora Aranda. Pag. 78 -90.
- Suterio, R. Medição de tensões residuais por indentação associada à holografia eletrônica. 2005. 170f. Tese (Doutorado Engenharia Mecânica) – Departamento de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Tekkaya, A. E. State-of-the-art of simulation of sheet metal forming. Journal of Materials Processing Technology, v. 103, n. 1, p. 14–22, 2000.
- Kobayashi, S., Oh, S.I. and Altan, T., 1989, “Metal Forming and the Finite-Element Method”, Oxford University Press, New York, USA.
- Oliveira T.L.L., Estudo do escoamento plástico de compósitos metálicos na extrusão direta a frio. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São João del Rei, 2015.
- Menezes S.H., Influência do lubrificante na estampagem de um aço ARBL. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de São João del Rei, 2015.
- Tayer, S.S., Estudo da Influência do Lubrificante na Estampagem de Aço Eletro galvanizado. 132 p. Dissertação de Mestrado (Engenharia Mecânica), Universidade Federal de São João del Rei – MG, 2011.

6. DIREITOS AUTORAIS

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

RESIDUAL STRESS IN COMPUTATIONAL ANALYSIS GENERATED BY FORMING PROCESS

Rafael de Brites Nascimento, rafaeldebrites@gmail.com¹
Guilherme Germano Braga, guilhermegbraga@gmail.com¹
Frederico Ozanan Neves, fred@ufsj.edu.br¹
Márcio Eduardo Silveira, mesilveira@gmail.com¹

¹Universidade Federal de São João del Rei, Praça Frei Orlando, 170 – Centro, São João del Rei - MG

Abstract: *Mechanical forming is a process common in the hole industry, however in the automobile industry, this process is more present and there are many research in this field with the aim to improve your products and make its more trustworthy. In the forming process, as in others manufacturing process, may arise many defects due a materials and parameters used, for example the lubricant used, that's make the tools life bigger, as well as the flux of material during the forming process. Besides that, due a material strain, the parts show residual stress that's can be beneficent or not for the fatigue life. In this article the numerical simulation is used to evaluate the behavior of four kind of lubricant in the forming process to form residual stress. The lubricant used was Renoform MZA 20 (mineral base), and cotton oil, linseed and castor (vegetable base). The obtained results in numerical simulation allow conclude that the cotton oil and linseed could be used to replace the mineral lubricant. Besides that, we can see that the choice can be done to save cost, facilitate the discard or less environmental impact.*

Key words: *forming, lubricante, residual stress*