



XXXVII IBERIAN LATIN AMERICAN CONGRESS
ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING
BRASÍLIA - DF - BRAZIL

LEMENTOS FINITOS APLICADO AO PROCESSO DE TREFILAÇÃO DE UMA LIGA DE COBRE ELETROLÍTICO

Norberto Martins

Daniel de Castro Maciel

Thais Roberta Campos

Gilmar Cordeiro Silva

Alysson Vieira Lucas

norbertoengmec@gmail.com

danielcastro.bh@yahoo.com.br

trcampos@pucminas.br

gilmarcord@gmail.com

avieira32@yahoo.com.br

Curso de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Avenida Dom José Gaspar, 500, Bairro Coração Eucarístico, Belo Horizonte, 30.535-901, Minas Gerais, Brasil.

Resumo. *O processo de trefilação consiste em submeter à passagem de um material (Tubos ou Barras), por um orifício (fieira), mediante a aplicação de uma força de tração. As principais vantagens são o excelente acabamento superficial, a ótima precisão dimensional, o ganho de resistência mecânica e a obtenção de alta velocidade de processamento. O lubrificante tem extrema importância no processo de trefilação, como redução do desgaste da ferramenta, aumento da produção, e melhora significativa no acabamento superficial do produto final. A busca por novas tecnologias é um desafio constante neste setor, sendo estudado por pesquisadores, novos materiais e ferramentas de simulação do processo. Com intuito de minimizar custos, prazos de desenvolvimento de projetos, os métodos*

tradicionalmente empíricos deram lugar a ferramentas que demandam menor necessidade de tempo. Desta forma, simulações numéricas computacionais permitem melhorar o processo e evitar construções de protótipos e teste desnecessários. Este trabalho visa comparar os resultados obtidos por processo de trefilação prático e simulado computacionalmente por meio de um Método de Elementos Finitos (MEF), através do software comercial ABAQUS, a fim de verificar os efeitos da variação da lubrificação (Graxa, vaselina e grafite), em barras de cobre com uma redução percentual de área de 12,32%.

Palavras Chaves: *Trefilação, Otimização, Métodos de Elementos Finitos, Ductilidade, Lubrificação.*

1 INTRODUCTION

Os desafios que os dias atuais impõe às indústrias metal mecânicas na busca de novos processos de fabricação, com um produto final de melhor qualidade, em um cenário globalizado cada vez mais competitivo, a implementação de novos métodos de trabalho, com aplicação de novas tecnologias, visando evitar perdas de matéria prima, o retrabalho, fazendo com que os fenômenos envolvidos nos processos de fabricação sejam controlados de forma eficaz e com isto, minimizar os custos de produção.

Dentro deste contexto, quando comparamos os processos de fabricação, que envolvem a deformação plástica, a trefilação se destaca pela alta capacidade de produzir de forma contínua, produtos com grande precisão dimensional, com ótimo acabamento superficial e com as propriedades mecânicas desejáveis. O processo de trefilação é caracterizado por tracionar a matéria prima (tubos, fios e/ou barras) através de uma matriz, conferindo ao produto final uma geometria e dimensão, conforme o desenho da ferramenta, conhecida como fieira.

Uma ferramenta de grande importância que vem evoluindo de qualidade nos últimos anos, são os softwares de modelagem e de simulação computacional, estão sendo usados para prever o comportamento, as características geométricas e os parâmetros dos processos de fabricação, minimizando os custos, melhorando a produtividade e colocando no mercado de consumo, um produto de melhor qualidade.

2 TREFILAÇÃO

Com a finalidade de minimizar custos de fabricação, maximizar a produtividade, ser maior competitivo no mercado globalizado e evitar perdas de matérias prima com produtos que não atendam as especificações, os processos de conformação plástica vêm se modernizando cada vez mais ao longo dos últimos anos em pesquisas para melhorias contínuas, com relação aos parâmetros das variáveis de processos e a influência dos mesmos nos produtos acabados. Por isso, nos últimos anos verificaram-se grandes avanços nas técnicas de trefilação, através da automação e no aperfeiçoamento dos processos de tratamentos térmicos contínuos, melhorando a padronização e a qualidade dos produtos acabados. Trata-se de um processo mecânico que confere à material precisão dimensional, (Dieter, 1981), e melhores qualidades mecânicas. A trefilação é um processo de conformação plástica que se realiza pela operação de tracionar um fio (uma barra ou tubo) através de uma ferramenta denominada fieira, feita de um material com alta resistência ao desgaste,

empregando-se normalmente metal duro (carboneto de tungstênio), diamante (Natural ou policristalino), e também alguns materiais cerâmicos (óxido de zircônio, carboneto-nitreto de titânio, etc.), de formato externo cilíndrico e que contém um furo no centro por onde passa o fio. Esse furo, com diâmetro decrescente, apresenta um perfil na forma cônica.

Conforme Bresciani (2011), a fieira deve ser construída com a finalidade de possibilitar, que a mesma possa alcançar grandes produções sem que ocorra desgaste excessivos, que elevadas reduções possa ser alcançada, que o acabamento superficial seja de ótima qualidade e que obtenha precisão dimensional. A passagem do fio pela fieira provoca a redução de sua seção transversal. Como a operação é comumente realizada a frio, ocorre o encruamento com alteração das propriedades mecânicas do material do fio. Essa alteração se dá no sentido da redução da ductilidade e do aumento da resistência mecânica. Portanto, entre as diversas etapas da trefilação, pode ocorrer a necessidade de realizar tratamentos térmicos de recozimento, para diminuir o efeito do encruamento e para fornecer à peça ductilidade suficiente para a continuidade do processo. Os esforços preponderantes na deformação são esforços de compressão exercidos pelas paredes do furo da ferramenta sobre o fio, quando de sua passagem, por efeito de um esforço de tração aplicado na direção axial do fio e de origem externa. Como o esforço externo é de tração, e o esforço que provoca a deformação é de compressão, o processo de trefilarão é classificado como um processo de compressão indireta.

As características geométricas da fieira segundo Dieter (1981), tem as seguintes finalidades: A região (1) da Fig. 1, o ângulo é mais aberto para permitir uma melhor lubrificação, em (2), o material sofre escoamento devido as reações da fieira em virtude da tensão de tração, em (3) onde o ângulo é zero ocorre a calibração, que define a qualidade do produto final. E na região (4) onde o ângulo de saída é oposto ao da entrada, acontece retorno elástico do material e esse ângulo tem a finalidade diminuir as possibilidades de que ocorra abrasão caso a fieira esteja desalinhada.

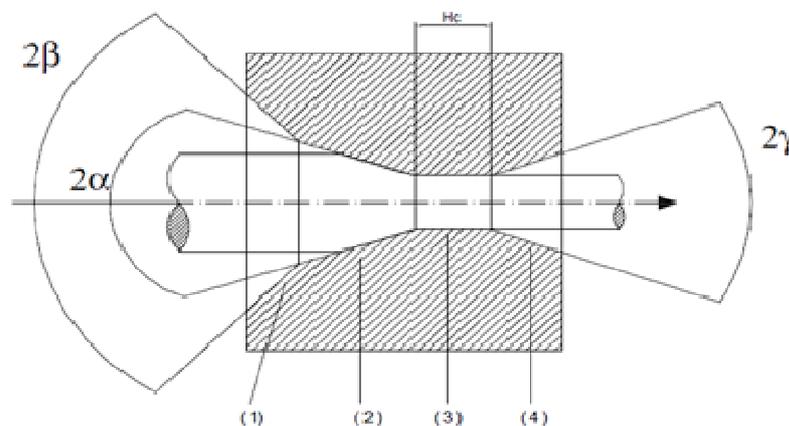


Figura 1. Descrição das regiões da fieira

Conforme Akikazu et. al. (2007) e Wang e Gong (2002), a deformação é alcançada através da combinação de tensões trativas e compressivas, que são criadas pela força de tração na saída da fieira e pela geometria da mesma. Considerando as tensões principais, podem ser utilizados diferentes critérios de falha. O escoamento de um metal é determinado pela movimentação entre os grãos da microestrutura, o que é regido pelas tensões cisalhantes.

Portanto, o início da deformação plástica pode ser determinado pela tensão máxima cisalhante baseada no critério de Tresca.

2.1 Simulação numérica

De acordo com Rodrigues (2013), com o avanço dos softwares de simulação, que tem como ferramenta o método de elementos finitos (MEF), possibilitou ganho no tempo de fabricação e no número de peças a ser feito até que se tenha resultado da peça final.

O processo passa por basicamente 3 fases: Primeiro um pré-processamento onde são feitas as definições de material, geometria e tipo de malha a ser utilizada. Uma segunda fase é a análise onde é definido as condições de fronteira como força aplicada, zonas de engastamento, etc. Por fim o pós-processamento onde é realizado a leitura dos dados finais o qual representa com exatidão os resultados reais, mas com ressalva das fases 1 e 2 serem bem definidos.

De acordo com Arfa (2013), o método por elemento finito se aplicou na estampagem incremental pela necessidade de prever possíveis falhas ou regiões com defeitos, além de reduzir o tempo entre tentativa e erro na indústria. Em seu trabalho buscou realizar a comparação entre os parâmetros de força de deformação, a espessura final, distribuição da deformação plástica, e o volume da peça em uma liga de alumínio Al 3003, utilizando o programa ABAQUS para o experimental. A Fig. 2 ilustra a ferramenta sobre a chapa discretizada.

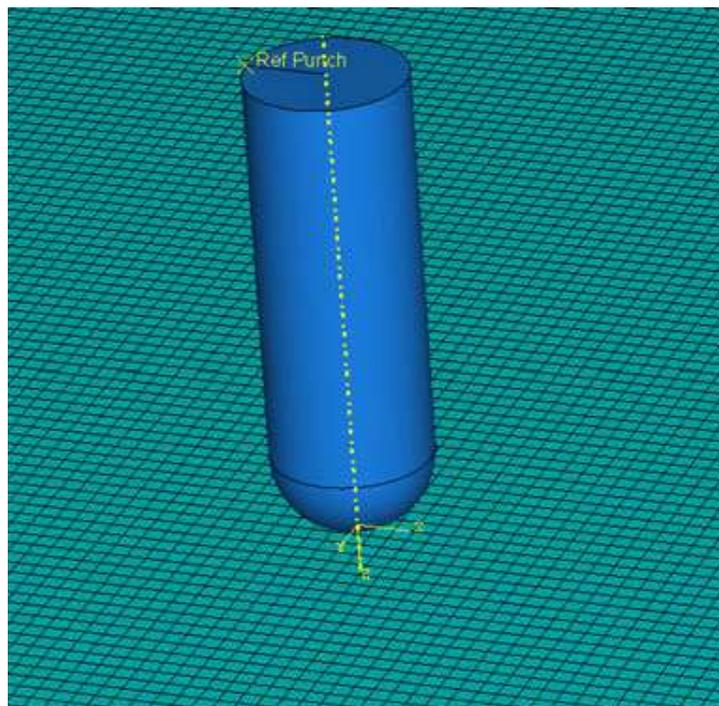


Figura 2. Simulação elementos finitos

A Fig. 3 ilustra o resultado encontrado da simulação de um processo de estampagem incremental onde houve a variação do ângulo, observa-se que houve uma diminuição da espessura no fundo do modelo, à medida que houve uma variação do ângulo.

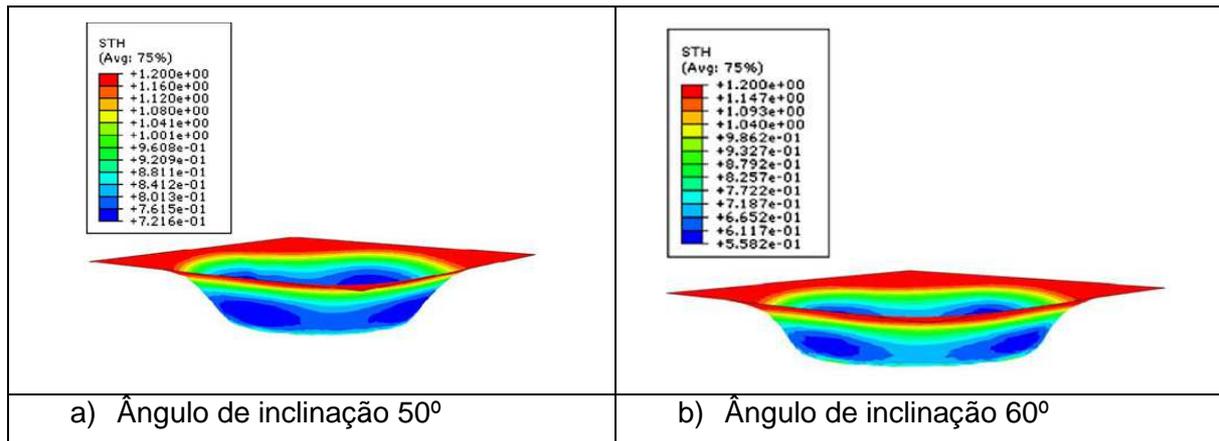


Figura 3. Simulação da espessura do material

2.2 Metodologia

O trabalho experimental desenvolvido nesta pesquisa foi dividido em três etapas: em uma etapa referente à fabricação dos corpos de prova, outra referente aos diversos ensaios de caracterização mecânica do material e por fim a simulação do processo através do programa ABAQUS.

A geometria dos corpos-de-prova utilizados nos ensaios de trefilação está mostrada na Fig. 4.

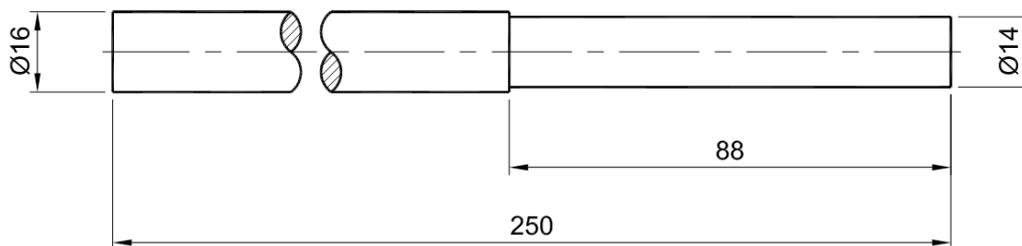


Figura 4. Geometria dos corpos de prova utilizados nos ensaios de trefilação

Nos ensaios de trefilação foi utilizada uma bancada de trefilação do laboratório de conformação mecânica que se encontra na PUC-Minas campus Contagem. A Fig. 5 ilustra o equipamento utilizado.



Figura 5. Bancada de Trefilação

Foi realizado o ensaio de tração no material para chegar nos parâmetros de setup do programa ABAQUS, sendo encontrado tensão de escoamento = 63 Mpa, tensão de ruptura= 260 Mpa, Poisson = 0.34, e Módulo elástico = 115 Mpa. A Fig. 6 mostra a curva força x deformação do material trefilado.

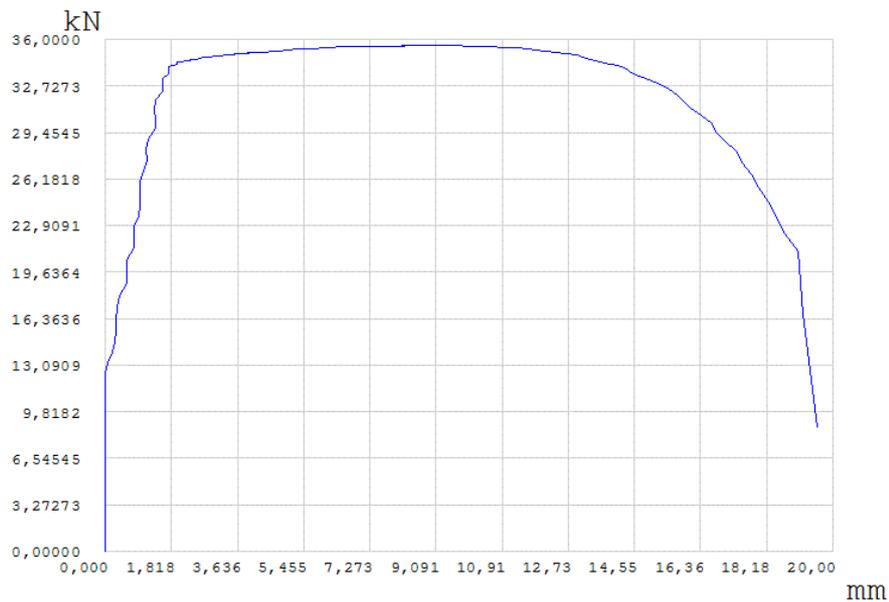


Figura 6. Tensão deformação

Posterior foi realizado a simulação dos dados no programa Abaqus.

2.3 Resultados

No modelo MEF simulado foi considerado a feira como uma superfície com rigidez. Com coeficiente de atrito igual a 0,22. Tensão de Von Misses: Valor máximo de 260 Mpa, a Fig. 7 ilustra a simulação.

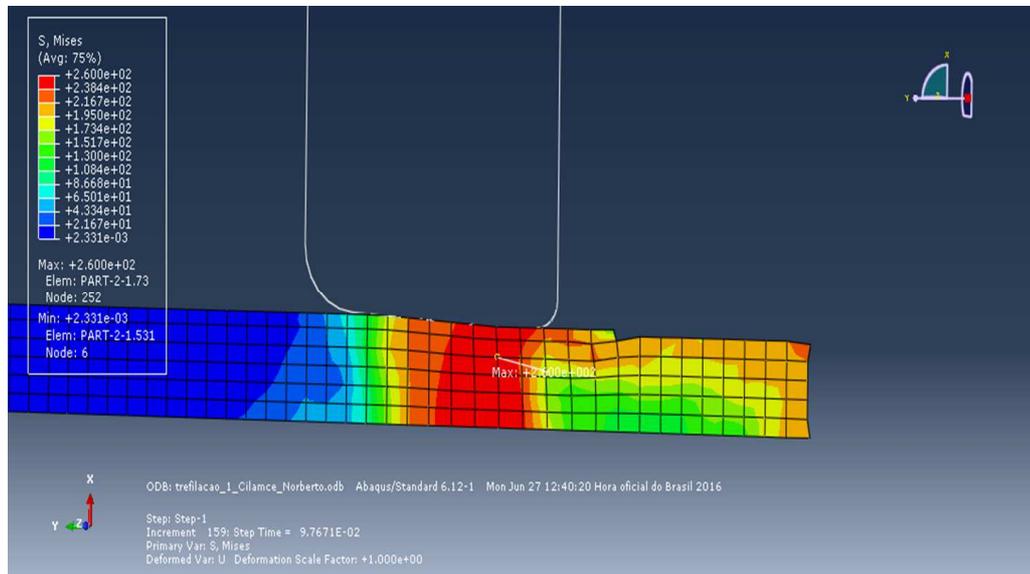


Figura 7. Tensão de Von Misses

A Fig. 8 apresenta o resultado do comprimento simulado foi de 208,072 mm.

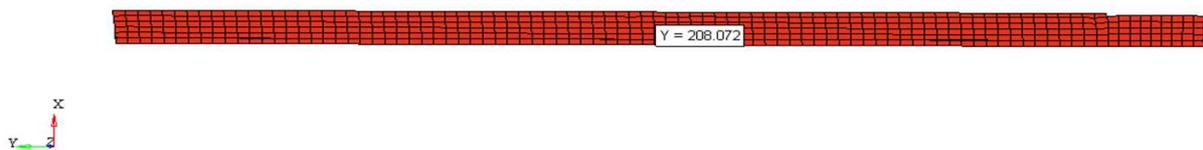


Figura 8. Comprimento final

Foram produzidos 3 corpos de prova nas mesmas condições da simulação, sendo calculado a média e desvio padrão do comprimento final dos corpos de prova. A média foi de 190,7 mm desvio padrão de 1,43. A Fig. 9 apresenta o gráfico comparativo entre o resultado encontrado na simulação e o real.

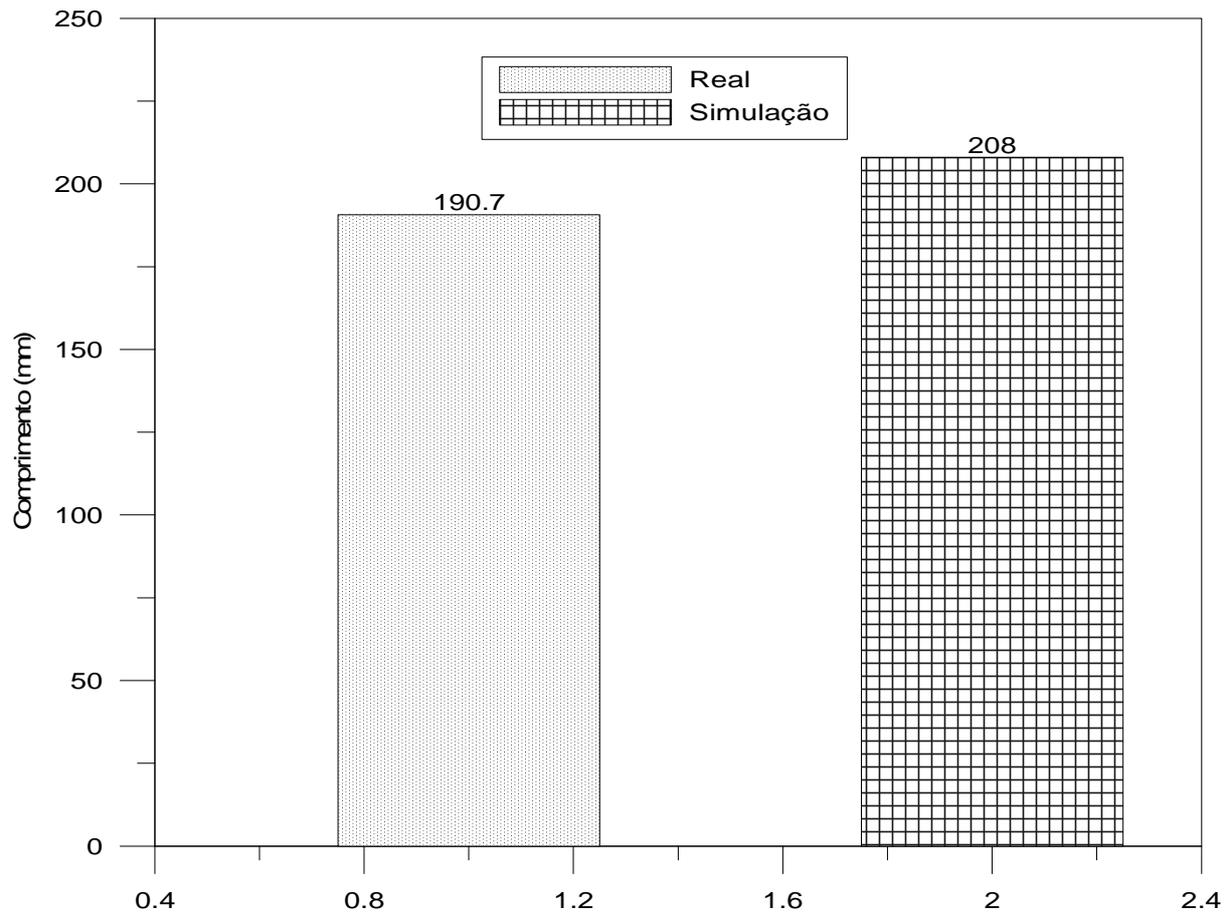


Figura 9. Comprimento final

3 CONCLUSÃO

Conforme os dados encontrados no presente estudo, efetuando-se o comparativo entre os valores de comprimentos finais, ou seja, comprimento do corpo de prova após a conformação por trefilação, entre o ensaio com o corpo de prova físico e o modelo numérico pelo método de elementos finitos, observou-se um comprimento final maior no modelo numérico, sendo esse com o valor de 208 mm, ante um valor encontrado de 190.7 mm do ensaio físico, apresentando-se uma diferença da ordem de 9%.

A diferença encontrada entre os resultados do modelo numérico e do ensaio físico se deve provavelmente por variáveis físicas com maior dificuldade de controle, como atrito entre o corpo de prova e a fieira, heterogeneidade das propriedades do material e tensões residuais devidas do processo de obtenção do corpo de prova.

Contudo, pode-se concluir que mesmo com a diferença apresentada de 9% do comprimento final, o modelo numérico por elementos finitos é uma boa ferramenta para a previsibilidade da obtenção do produto final e assim, pode-se otimizar o processo de trefilação, diminuindo os gastos com materiais e tempo de processo.

Como estudos futuros, pretende-se estudar a influência dos parâmetros citados acima e verificar o quanto os mesmos afetam para uma melhor correlação entre o modelo físico e o virtual.

ACKNOWLEDGEMENTS

Os autores agradecem, generosamente, à Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERENCES

- Akikazu, N., Takaki, Y., Maszuri, K., 2007. *Behaviour of Residual stress and strawing stress in conical-type and Cauch-type die drawing FEM simulation and Improvement*. Wire JournalInternational, pp. 72.
- Altan, T., Chandrasekharan, S., Palaniswamy, H., J, N., Ngaile, 2005. *Evaluation of stamping lubricants at various temperature levels using the ironing test*. International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 45, pp. 379-388.
- Ettore, B, F., 1997. *Conformação Plástica do Metais*. Ed. Da Unicamp, 5º edição, Campinas, São Paulo, Brasil, pp. 383.
- Corrêa, E, C, S., 2004. Aspectos do Encruamento de Metais Previamente Deformado a Frio. Escola de Engenharia da UFMG, Tese de Doutorado em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, pp. 233.
- Dieter, G, E., 1986. *Metalurgia Mecânica*. Ed. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, Brasil, pp. 561.
- Ettore, B, F. 2011. *Conformação Plástica do Metais*. 6 ed. 1 ed. dig. São Paulo.
- Wang, Z., Gong, B., 2002. Residual stress in the forming of materials. Handbook of Residual stress and Deformation of steel. G. E. Totem, ASM International, pp. 141.

- Rodrigues, P, F, Das., 2013. Aplicação da estampagem incremental no fabrico de moldes: Estudo de viabilidade técnico-económica para industrialização, 91f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto Integrado em Engenharia Mecânica. Porto.
- Gomes, D, J, C., 2011. Determinação de resistência à fadiga em aços ABNT 4140 em vidas super longas (giga ciclos). Dissertação Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- Helman, H., Cetlin, P, R., 2013, *Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais*, vol. 2, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, pp. 263.
- Keeler, S., 2001. *The Barrier Lubricants Are Coming Magazine Metal Forming*. pp. 72-73.
- Klann, Ruin, 2000. ‘*Lubricants for high-Speed Stamping. Magazine Metal Forming*’, pp. 30-33.
- Martinez, G. A. S., 2004. Comportamento da lubrificação no tribo-sistema de trefilação a altas velocidades. Tese Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, do Departamento de Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, São Paulo, Brasil.
- Morais, W. A., 2003. *Conformação Plástica dos Metais*. Universidade Santa Cecília, São Paulo, Brasil.
- Nunes, R, M., 2008. Análise de Tensões Residuais no Processo de Trefilação Combinada do Aço AISI 1048 visando minimizar distorções pós processamento. Universidade Federal do Rio Grande de Sul, Dissertação do Título de Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, Brasil, pp. 100.
- Oliveira, C, J, d., 2004. Avaliação da influência de sistemas de filtragem aplicados à topografia de superfície em usinagens. Dissertação Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- Stoeterau, R. L., “ *Tribologia* ”, Universidade Federal de Santa Catarina, Apostila, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.
- Van, V, L, H., 2004. *Princípio de ciência dos materiais*. Ed. Edgard Blucher, São Paulo, Brasil, pp. 413.