

# **AÇÃO DA LUBRIFICAÇÃO NA TREFILAÇÃO DE ARAMES DE COBRE.** Tiago Filipe Soares da Cunha, Antônio de Pádua Lima Filho, João Batista Campos Silva – Engenharia Mecânica – Departamento de Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Campus de Ilha Solteira.

Nos processos de conformação, o atrito provoca deformações plásticas excessivas, aquecimento e desgaste prematuro do ferramental e microdefeitos resultando na fratura do material (Dieter, 1988). Como resultado, ocorre perda de eficiência devido à interrupção do processo, desgaste do ferramental e solicitação maior de potência do equipamento empregado.

Na trefilação, deformação plástica a frio, o material vai sendo encruado pelo aumento de densidade de discordâncias e assim a sua tensão de escoamento aumenta. Durante a deformação plástica a frio de metais dúcteis, a quantidade de microvazios vai aumentando devido à dificuldade de novas discordâncias geradas sofrerem deslizamento (Reed-Hill e Abbaschian, 1994). Os microvazios podem agrupar e degradar as propriedades mecânicas do material levando a falha catastrófica pela concentração de tensão no corpo do material.

A determinação dos esforços é vital no processo de trefilação e outros processos de conformação plástica dos metais e depende de variáveis tais como: geometria da ferramenta, lubrificação, temperatura e velocidade de processamento. Os métodos de análises nos processos de conformação plástica dos metais em ordem crescente de complexidade são: 1. método da energia de deformação uniforme; 2. método do elemento; 3. teoria do campo da linha de deslizamento; 4. soluções baseadas no limite superior e inferior ; e 5. métodos de elementos finitos, Dieter (1). Equações 1 e 2 mostram respectivamente o método da energia de deformação uniforme e o método do elemento utilizados neste trabalho, Dieter (1):

$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_f} = C \cdot \bar{\sigma} \ln \left( \frac{D_0}{D_f} \right)^2 \quad (1)$$

$$\sigma_t = \phi \bar{\sigma} \frac{1+B}{B} \left[ 1 - \left( \frac{D_f}{D_0} \right)^{2B} \right], B = \mu \cot \alpha. \quad (2)$$

$\sigma_t$ ,  $F_t$ ,  $A_f$  são respectivamente a tensão, força e área do material trefilado.  $D_0$  e  $D_f$  são os diâmetros inicial e final do arame.  $C \approx 1,5$  é um constante devido ao trabalho para superar o atrito na interface metal/fieira. O trabalho redundante é dado por  $\phi \approx 1,2$ .  $\mu$  é o coeficiente de atrito e  $\alpha$  é a metade do ângulo do cone de trabalho da fieira.

A magnitude da tensão de fluxo média  $\bar{\sigma}$  pode ser obtida através dos critérios de escoamento, Dieter (1988).

A tensão de trefilação relacionando a tensão de fluxo do material, o atrito e a geometria da fieira, foi descrita por Su (3) em seu trabalho como:

$$\sigma_t = \phi \bar{\sigma} (1 + \mu \cot g \alpha) \ln \left( \frac{D_o}{D_f} \right). \quad (3)$$

Esta equação é mais simples do que a Eq. (2) para estimar o coeficiente de atrito na trefilação de arames.

Arames de cobre encruado (ASTM B1) AWG 6 de diâmetro inicial de 4,0 mm foram preparados para serem trefilados através de fieiras feitas de carboneto de tungstênio e encapsuladas em aço ABNT 1040, Fig. (1) e Fig. (2). O processo de trefilação foi realizado a uma velocidade constante de  $7,8 \times 10^{-3}$  m/s até um diâmetro final de 1,3 mm passando assim por 10 fieiras tendo o grau de redução de área de aproximadamente 20%.

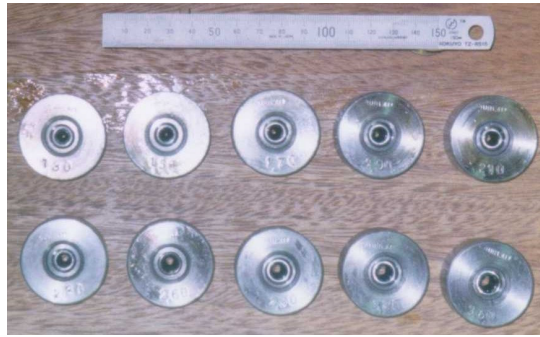


Figura 1. Fieira de Carboneto de tungstênio encapsuladas em Aço ABNT 1040

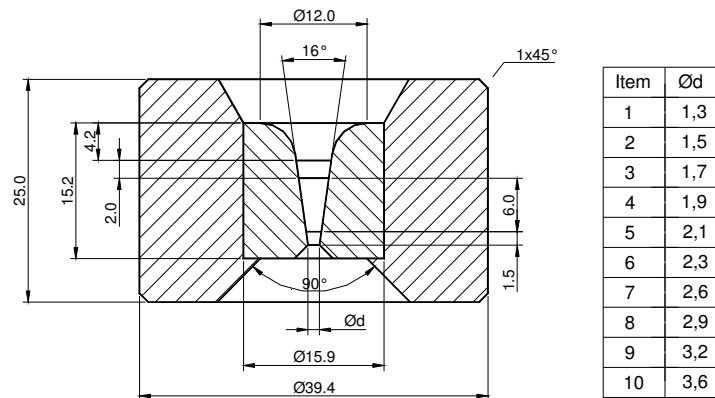


Figura 2. Geometria das Fieiras

A extremidade do arame foi reduzida através de limagem com o intuito de passar pela fieira e ser preso pela garra da máquina de trefilar. Um aparato de aquisição de dados e sinais foi montado a fim de se obter a força do processo de trefilação. O aparato experimental consistiu de um microcomputador, um osciloscópio de memória digital e um condicionador de sinais que possibilitaram a aquisição de dados obtidos por uma célula de carga de 500kgf ( $F(N) = 0,4826V$ ), Fig. (3). Esta célula de carga é acoplada no cabeçote de tração da máquina de trefilação.



Figura 3. Aparato Experimental.

Através do aparato experimental possibilitou-se levantar curvas Força (kN) X tempo (s) para todo o processo de trefilação, analisando assim o comportamento da força de trefilação ao longo do tempo. Nota-se que a medida que diâmetro do arame é diminuído, menor é a força de trefilação obtida com e sem lubrificação.

Como esperado, a força de trefilação empregada no arame na ausência de lubrificante foi maior que a força requerida quando o lubrificante foi empregado.

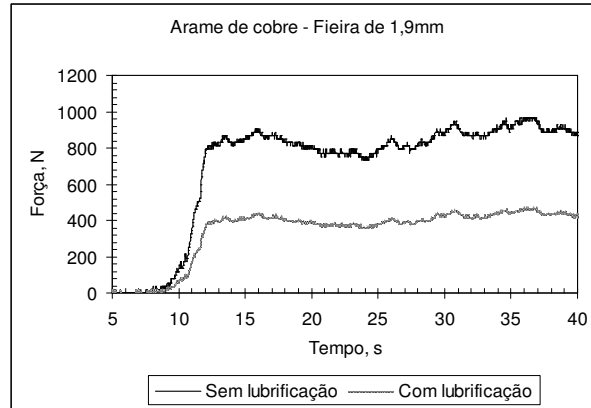


Figura 4. Oscilações das forças medidas experimentalmente durante a trefilação do arame de cobre com e sem lubrificação.

Oscilações na força de trefilação foram observadas nas condições com e sem lubrificação. Estas oscilações podem ocorrer por diversas razões. A primeira razão a ser destacada se deve pela falta de se criar um filme lubrificante contínuo, sendo isto muito comum quando são empregados lubrificantes líquidos, Bech et al (1999).

Essas oscilações nas cargas de trefilação podem também ser explicadas pela deformação não homogênea do arame próximos ao cone da fieira. Nessa região, a superfície do arame é mais severamente deformada do que no centro.

A variação do coeficiente de atrito ao longo do estiramento do arame pode causar essa variação de força. Outra possibilidade para explicar as oscilações da força de trefilação, estaria relacionada com a sensibilidade do osciloscópio usado na captura do sinal gerado pela célula de carga.

A tensão de trefilação aumenta devido à redução de área, Fig. (5). Os valores teóricos da tensão de trefilação para cada diâmetro de fieira foram calculados baseando na resistência a tração do arame de cobre obtidos no ASM Handbook, vol. 2, p. 253 (1990).

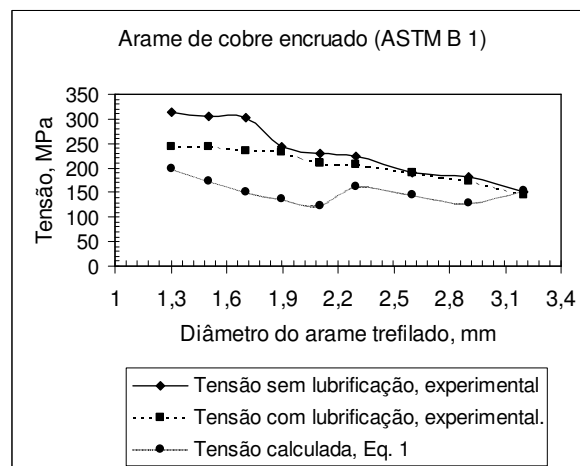


Figura 5. Força e tensão de trefilação dos arames obtidas experimentalmente e comparadas com os valores calculados.

Equação (2) pode ser resolvida para se calcular o coeficiente de atrito no processo de trefilação, uma vez que as demais variáveis naquela equação tem sido medidas. Entretanto, na variável  $\mu$ , Eq. (2) é uma equação transcendental, que pode ser resolvida por tentativa e erro, ou por algum método

apropriado. No caso do presente trabalho tem sido utilizado o Mathcad13© (© 1986-2005 Mathsoft Engineering & Education, Inc.) para obtenção do coeficiente de atrito.

Equações (2) e (3) fornecem valores bem próximos para o coeficiente de atrito para os arames de cobre, Fig. (6). Equação (3) tende a ser conservativa obtendo valores do coeficiente de atrito ligeiramente superiores aos obtidos pela Eq. (2).

O atrito para este material tende a seguir uma distribuição quase senoidal. Este fenômeno pode ser explicado pela característica metalúrgica do material, pelo grau de aderência e continuidade superficial do lubrificante sobre a superfície do material como anteriormente discutido.

O atrito atinge um valor máximo quando o encruamento do arame atinge um alto grau, para ser novamente diminuído pela liberação de discordâncias bloqueadas.

Desse modo, as fieiras que tenham um maior valor de  $\mu$  naturalmente causariam danos superficiais na superfície do arame trefilado e desgaste prematuro do ferramental. Estas então seriam as fieiras a sofrerem repolimento e ou substituição com maior frequência.

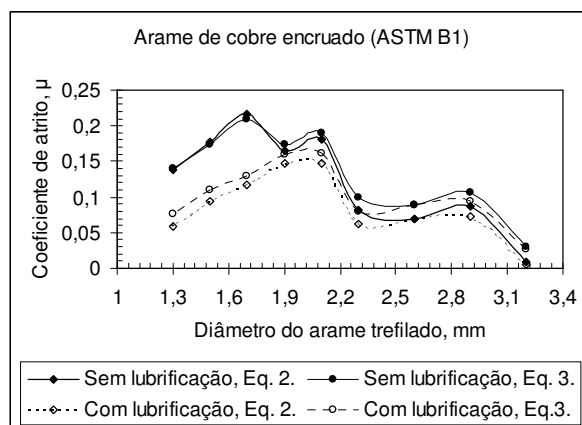


Figura 6. Variação dos valores do coeficiente de atrito calculados em relação ao diâmetro do arame trefilado, com e sem lubrificação.

O emprego de um agente lubrificante diminui a taxa de carregamento assim como a intensidade da força/tensão de trefilação. Assim, menor desgaste do ferramental e menor energia resultam.

Os valores dos coeficientes de atrito calculados pelas Equações 2 e 3 estão bem próximos e possibilitou acompanhar a sua variação ao longo da redução progressiva dos arames.

A distribuição senoidal da variação do atrito com o diâmetro das fieiras possibilita prever quais as futuras trocas de fieiras necessárias.

Alguns cuidados devem ser tomados ao se interpretar os dados obtidos no que se diz respeito as oscilações na força de trefilação, pois como discutido anteriormente, esta pode ter origem em muitos fatores.

Equação 1 forneceu dados satisfatórios para prever a tensão de trefilação para os diversos graus de redução.

## Referências Bibliográficas

- DIETER, G. E., 1988, "Mechanical Metallurgy", McGraw-Hill Book Company, London.
- BECH, J., BAY, N.; ERIKSEN, 1999, "Entrapment and escape of liquid lubricant in metal forming". Wear, 232, p. 134-139.
- SU, Y.Y., 1997, "Enhanced boundary lubrication by potential control during copper wire drawing". Wear, 210, p. 165-170.
- LEE, Y.S.; HAHM, S.Y., 1997, "Mechanical property changes in drawing/extrusion of hardening viscoplastic materials with damage". Int. J. Mech. Sci., v. 39, n. 5, p. 565-573.
- REED-HILL, R.E.; ABBASCHIAN, R., 1994, "Physical Metallurgy Principles", PWS Publishing Company, US.