

INFLUÊNCIA DO SEMI-ÂNGULO DA FIEIRA NOS PARÂMETROS DE ATRITO

Sérgio Ribeiro Rezende (*In memorian*)

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos 6627, Campus da Pampulha, B. Hte., Minas Gerais, Cep. 31270-901, junior@somatorium.com.br

Rogério Helvídio Lopes Rosa

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Coordenação de Ciências, Av. Amazonas 5253, sala 206, Campus I, B. Hte., Minas Gerais, 30480-000, hlopes@deii.cefetmg.br

Antônio Eustáquio de Melo Pertence

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos 6627, Campus da Pampulha, B. Hte., Minas Gerais, Cep. 31270-901, pertence@demec.ufmg.br

Haroldo Béria Campos

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos 6627, Campus da Pampulha, B. Hte., Minas Gerais, Cep. 31270-901, beriacampos@uol.com.br

Paulo Roberto Cetlin

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Rua Espírito Santo 35, Belo Horizonte, Minas Gerais, Cep. 31130-030, pcetlin@demet.ufmg.br

Resumo. Foi investigada a relação entre os parâmetros de atrito (coeficiente de atrito e fator de atrito) e o semi-ângulo da fieira, com núcleo de carboneto de tungstênio. Os parâmetros geométricos da fieira foram ajustados na busca de maior eficiência do processo de trefilação de barras de cobre comercial puro. Essas barras de cobre com diâmetro de 6,35 mm foram previamente recozidas. Para a trefilação, os principais parâmetros que interferem na eficiência do processo são a velocidade de processamento, a geometria da matriz e o atrito na interface metal-matriz. O atrito, na maioria dos processos de conformação, apresenta-se como um fator adverso, representando gasto suplementar de energia. Nesse trabalho foi utilizada lubrificação com graxa a base de bissulfeto de molibdênio. Foi adotado parâmetro geométrico Δ unitário para minimizar a heterogeneidade de deformação, sendo que as variáveis envolvidas são a redução de área e o semi-ângulo da fieira. O fator de atrito foi calculado através da formulação de Avitzur e o coeficiente de atrito foi calculado através da formulação de Baker e Wright. Como resultado desta metodologia, foi constatado que o fator de atrito é praticamente constante para semi-ângulos da fieira entre 2° e 9° e que o coeficiente de atrito também apresenta um comportamento quase constante, apresentando suave crescimento com o semi-ângulo.

Palavras chave: trefilação, atrito, semi-ângulo de fieira.

1. INTRODUÇÃO

A trefilação é um processo de conformação mecânica que se realiza pela condução de um fio (barra ou tubo) através de uma ferramenta externamente cilíndrica com um furo cônico no centro, determinada fieira⁽¹⁾.

O processo de trefilação consiste em forçar a passagem de uma barra através de uma fieira mediante a aplicação de uma força de tração à saída desta. O material deforma-se à medida que atravessa a fieira e, desta maneira, tem seu diâmetro reduzido. Como resultado, obtém-se um produto de seção menor e comprimento maior, com boa qualidade superficial e excelente controle dimensional⁽²⁾.

O processo de trefilação é classificado como um processo de compressão indireta. Aplica-se no fio (barra ou tubo) um esforço de tração que o faz passar pelo furo da fieira. Este furo, sendo

cônico, exerce uma reação sobre o material que tem reduzido a sua seção transversal. Esta reação aplica, portanto, esforços de compressão sobre as paredes do trefilado que reduzem a sua seção transversal⁽³⁾.

Comumente o processo de trefilação é realizado a frio, ocorrendo encruamento do material, levando à possibilidade de obtenção de produtos com propriedades mecânicas controladas. Este processo permite a obtenção de fios, barras e tubos com boa retilidade, estreitas tolerâncias dimensionais e acabamento superficial satisfatório⁽²⁾.

A trefilação é, na maioria das vezes, realizada em múltiplos passes. Assim, pode-se tornar necessário o recozimento do material após um determinado número de passes devido ao fato do material perder sua trabalhabilidade, não sendo mais "trefilável". O recozimento pode ainda ser utilizado para se conseguir um produto final com propriedades mecânicas controladas⁽⁴⁾.

Do ponto de vista tecnológico, há grande interesse em prever o esforço necessário e o semi-ângulo ótimo tanto quanto as propriedades mecânicas finais dos produtos trefilados, resultando em menor consumo de energia, maior produtividade em processos de trefilação, menor tensão de trefilação e maior redução por passe.

No presente trabalho apresenta-se uma metodologia para a determinação dos parâmetros de atrito, que reduz consideravelmente o número de ensaios experimentais em trefilação, através da fixação do parâmetro Δ em 1. Conseqüentemente, a trefilação se realiza na condição em que o trabalho associado à deformação não-homogênea (trabalho redundante) é minimizado, tendendo a zero. Nesta condição, cada semi-ângulo utilizado corresponderá a uma redução diferente. Admitindo não haver trabalho redundante, o metal experimentalmente um processo de deformação uniforme, equivalente ao do ensaio de tração simples. Por este motivo, o limite de escoamento médio para cada ensaio de trefilação poderá ser avaliado diretamente do ensaio de tração correspondente, simplificando a determinação do limite de escoamento médio \bar{Y} para cada ensaio de trefilação. O fator de atrito foi calculado através da formulação de Avitzur^(5, 6) e o coeficiente de atrito foi calculado através da formulação de Baker e Wright⁽⁷⁻¹⁰⁾, adotando-se o parâmetro Δ unitário para minimizar a heterogeneidade de deformação. Uma vez que na bibliografia utilizada encontram-se resultados para o coeficiente de atrito calculado através de outras metodologias, porém em condições experimentais distintas das adotadas nesse trabalho.

Para a investigação da relação entre os parâmetros de atrito (coeficiente de atrito e fator de atrito) e o semi-ângulo da fiação em trefilação, considerou-se que os principais parâmetros que interferem na eficiência do processo, além das características e propriedades de conformação do material trefilado, são a velocidade de processamento, a geometria da matriz e o atrito na interface metal-matriz.

Os parâmetros relativos à geometria da fiação são o semi-ângulo de trabalho e a redução de área no passe. A figura 1 representa uma fiação e o material trefilado, possibilitando uma visualização dos parâmetros geométricos básicos envolvidos, onde D_i é o diâmetro inicial ou de entrada, D_f é o diâmetro final ou de saída, α é o semi-ângulo de trabalho, d é o comprimento da região de contato matriz-metal, c é o comprimento do arco circular que passa pelo ponto médio da região de contato matriz-metal. O parâmetro Δ é definido pela razão c/d ⁽¹¹⁾.

Para o cálculo do fator de atrito foi utilizada a formulação de Avitzur, baseada no Método de Limite Superior⁽⁵⁻⁶⁾, que avalia independentemente os valores do trabalho redundante, do trabalho para deformação homogênea e do trabalho de atrito. Estes valores parciais do trabalho são somados e igualados ao trabalho realizado pela tensão de trefilação aplicada. Esta formulação está apresentada conforme a equação (1).

$$\frac{\sigma_t}{\bar{Y}} = 2f(\alpha) \ln\left(\frac{R_i}{R_f}\right) + \frac{2}{\sqrt{3}} \left[\frac{\alpha}{\sin^2(\alpha)} - \cot(\alpha) + m \cot(\alpha) \ln\left(\frac{R_i}{R_f}\right) + m \frac{L}{R_f} \right] \quad (1)$$

Em que L é o comprimento paralelo da fiação, R_i é o raio inicial ou de entrada da fiação, R_f é o raio final ou de saída da fiação e $f(\alpha)$ está apresentada conforme a equação (2).

$$f(\alpha) = \frac{l}{\sin^2 \alpha} \left\{ 1 - \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{11}{12} \sin^2 \alpha} + \frac{l}{\sqrt{11 \cdot 12}} \cdot \ln \left[\frac{1 + \sqrt{\frac{11}{12}}}{\sqrt{\frac{11}{12} \cos \alpha + \sqrt{1 - \frac{11}{12} \sin^2 \alpha}}} \right] \right\} \quad (2)$$

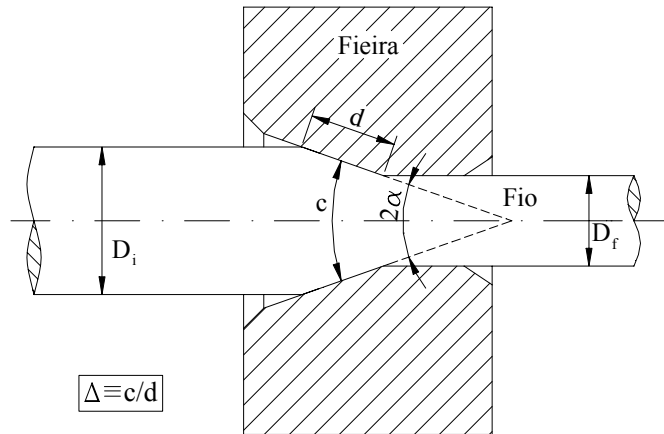


Figura 1. Parâmetros geométricos básicos do processo de trefilação.

Para o cálculo do coeficiente de atrito de Coulomb, μ , foi utilizada a formulação de Baker e Wright, baseada no Método dos Blocos⁽⁹⁾ e considerando uma relação empírica simples entre o trabalho redundante e o parâmetro geométrico Δ , a partir dos dados de Wistreich⁽¹²⁾. A equação (3) expressa a formulação obtida por Baker e Wright para o cálculo do coeficiente de atrito, μ .

$$\sigma_t = \bar{Y} \cdot [1 + \mu \cdot \cot(\alpha)] \left[\frac{\Delta}{4,4} + 0,8 \right] \left[\ln \left(\frac{1}{1-r} \right) \right] \quad (3)$$

2. METODOLOGIA

Utilizou-se como material cem (100) barras trefiladas de cobre comercial puro com diâmetro inicial de 6,35 mm e comprimento de 300 mm e com a rugosidade e acabamento superficial característicos deste tipo de processamento. As condições superficiais das barras foram mantidas uniformes em todos os ensaios de trefilação, sendo a rugosidade das amostras checada através do parâmetro Ra, fornecendo $Ra = 0,36 \pm 0,03 \mu\text{m}$.

Em um lote contendo 100 barras de cobre, o material foi previamente recozido para eliminar os efeitos de encruamento devido ao processamento original de trefilação. O recozimento de recristalização a 550 °C por 100 minutos em forno a vácuo foi realizado em todos os corpos de prova objetivando uma uniformidade das propriedades mecânicas das barras, um aumento da ductilidade do cobre e uma melhoria em sua conformabilidade. O recozimento foi verificado através do teste de dureza Vickers para pressão de 10 kPa com um intervalo de tempo de impressão de 30s para 10 amostras retiradas aleatoriamente de barras diferentes do lote recozido. O valor médio de dureza Vickers obtido para as barras de cobre avaliadas foi de 46, que caracteriza estado de recozimento para o material em questão⁽¹⁾.

Nos ensaios de trefilação, as barras de cobre foram limpas utilizando-se éter sulfúrico e, após a limpeza, foi aplicada sobre a superfície das barras uma camada de graxa à base de bissulfeto de molibdênio. Este procedimento mantém boas condições de escoamento com lubrificação uniforme.

As fieiras de metal duro utilizadas nos ensaios tinham núcleo de tungstênio e matriz a base de cobalto. As fieiras foram confeccionadas tendo diâmetro inicial ou de entrada igual a 7,30 mm, comprimento paralelo da fieira, L, igual à metade do diâmetro inicial ($D_i = 6,35\text{mm}$) e diâmetro final

ou de saída calculado mantendo o parâmetro Δ unitário para a faixa de semi-ângulos da fieira entre 1 e 9° ⁽¹³⁾, conforme a equação (5).

$$D_f = \frac{D_i(\Delta - \alpha)}{(\Delta + \alpha)} \quad (5)$$

Os valores experimentais dos parâmetros α e L foram obtidos através de gráficos gerados pelo equipamento *Conturograph*, da Divisão de Trefilaria de Companhia Siderúrgica Belgo-Mineira, os quais traçam um perfil ampliado das fieiras utilizadas. O diâmetro final ou de saída da fieira foi avaliado diretamente a partir dos corpos de prova (barras de cobre) utilizando-se micrômetro de resolução 0,001 mm.

Foi levantado um gráfico de pares de ponto tensão verdadeira - deformação verdadeira para as barras de cobre em seu estado recozido. Para levantamento deste gráfico foram ensaiados, em uma máquina universal de ensaios INSTRON, cinco corpos de prova e foram obtidos dados após início da estricção. Para determinação da tensão de escoamento média (\bar{Y}) do cobre para cada ensaio de trefilação foram utilizadas duas soluções, uma para deformações inferiores a deformação uniforme e outra para deformações superiores a esse valor.

- Para deformações inferiores a deformação uniforme foi utilizada uma técnica numérica. Devido ao grande número de pontos, o método numérico permitiu resultados com alta confiabilidade. O método numérico utilizado foi a integração através da regra do trapézio, utilizando a equação.

$$\bar{Y} = \int \frac{1}{2} \Delta x [\sigma(\varepsilon_0) + 2\sigma(\varepsilon_1) + 2\sigma(\varepsilon_2) + \dots + 2\sigma(\varepsilon_{n-1}) + \sigma(\varepsilon_n)] \quad (6)$$

Em que $\varepsilon = 2 \ln\left(\frac{D_i}{D_f}\right)$ e $\Delta x = \varepsilon/n$.

- Para deformações superiores a deformação uniforme, ao número reduzido de pontos, não foi viável calcular a integral numericamente, entretanto, a integral analítica forneceu resultados satisfatórios. Utilizando esse procedimento a tensão de escoamento média foi obtida através da equação.

$$\bar{Y} = \int \frac{1}{2} \Delta x [\sigma(\varepsilon_0) + 2\sigma(\varepsilon_1) + 2\sigma(\varepsilon_2) + \dots + 2\sigma(\varepsilon_{n-1}) + \sigma(\varepsilon_n)] + \int_{\varepsilon_u}^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon \quad (7)$$

Destaca-se novamente que esta estratégia de avaliação do limite de escoamento médio em trefilação através da curva de escoamento do ensaio de tração está relacionada ao parâmetro Δ ser unitário. Esse fato minimiza o trabalho redundante e proporciona que o metal trefilado experimente um processo de deformação uniforme, equivalente ao do ensaio de tração simples, portanto, não sendo submetido a efeitos de mudança de caminhos de deformação⁽¹⁴⁾ e as conseqüências que essa mudança de trajetória poderia acarretar⁽¹⁵⁾.

A avaliação da tensão de trefilação, σ_f , foi realizada através de trefilações controladas utilizando-se uma máquina universal de ensaios INSTRON. Durante cada trefilação, os dados de carga em função do deslocamento do trefilado foram obtidos através de célula de carga acoplada a uma placa de aquisição de dados. Estes dados foram tratados e armazenados em planilha eletrônica na forma de pares de pontos carga-deslocamento do trefilado. Os dados de carga-deslocamento considerados, para a avaliação da tensão de trefilação, correspondem aos da região de patamar, onde a carga permanece aproximadamente constante, conforme apresentado na figura (2). Esta escolha elimina a região inicial (1) na qual ocorre uma instabilidade devido ao encruamento do

metal realizado durante o apontamento da barra para sua introdução na fieira. Eliminou-se a região final (2) por esta representar o término do ensaio e não a situação de processo em regime estável. A tensão de trefilação para cada ensaio corresponde à carga de trefilação dividida pela área de seção transversal do trefilado. Como exemplo, o gráfico da carga em função do deslocamento do trefilado durante a trefilação para um semi-ângulo da fieira de 3° é apresentado na figura (2).

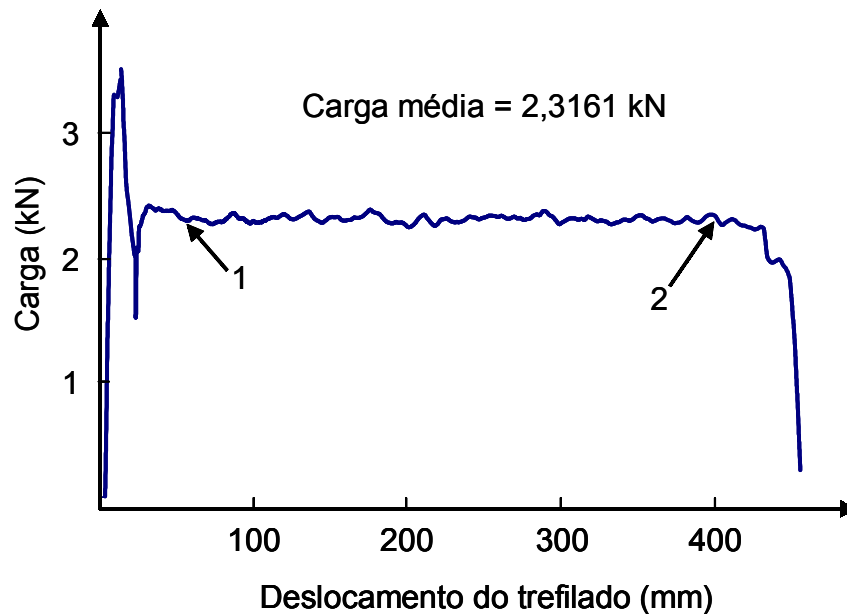


Figura 2. Gráfico da carga em função do deslocamento do trefilado durante a trefilação (semi-ângulo da fieira de 3°).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pode-se dizer que os parâmetros experimentais foram levantados usando fieiras com semi-ângulo entre 2° e 9° sempre com parâmetro Δ unitário, conseqüentemente, minimizando a heterogeneidade de deformação. Utilizando esses fatores levantados experimentalmente o fator de atrito foi calculado através da formulação de Avitzur e o coeficiente de atrito foi calculado através da formulação de Baker e Wright. A seguir são apresentados os resultados experimentais referentes à metodologia proposta.

A figura 3 mostra o gráfico do fator de atrito, m , em função do semi-ângulo da fieira, α , a partir da formulação de Avitzur.

Observando o gráfico da figura anterior, pode-se concluir que o fator de atrito se manteve constante com o semi-ângulo de fieira. Para o caso em estudo, foi encontrado um valor médio de 0,064 com desvio padrão de 0,004. Esse resultado está de acordo com Wilson⁽¹⁶⁾, o qual afirma que o coeficiente de atrito é usualmente considerado uma propriedade da peça, do material da ferramenta e do lubrificante, e é independente da geometria da ferramenta e velocidade de escorregamento na interface. Por outro lado Baker e Wright⁽⁹⁾ afirmam que o tipo de lubrificante e o material da matriz têm significativa influência no coeficiente de atrito e que baixos ângulos da matriz reduzem o atrito devido à condução de maior quantidade de lubrificante para a zona de deformação. Através da formulação proposta por esses autores foram obtidos os valores apresentados no gráfico da figura 4.

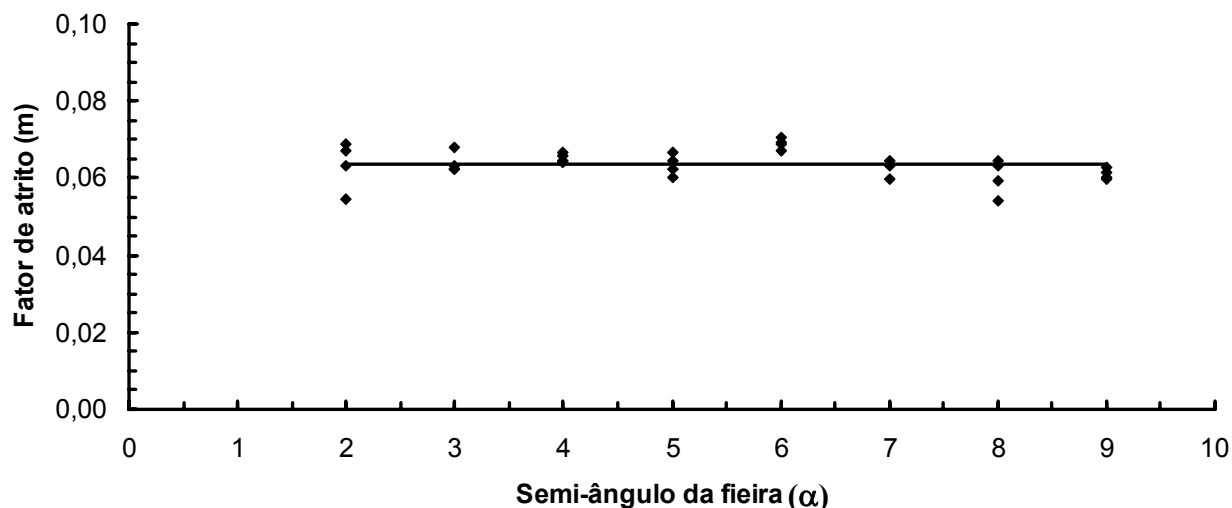


Figura 3. Fator de atrito versus semi-ângulo da fieira segundo a formulação de Avitzur.

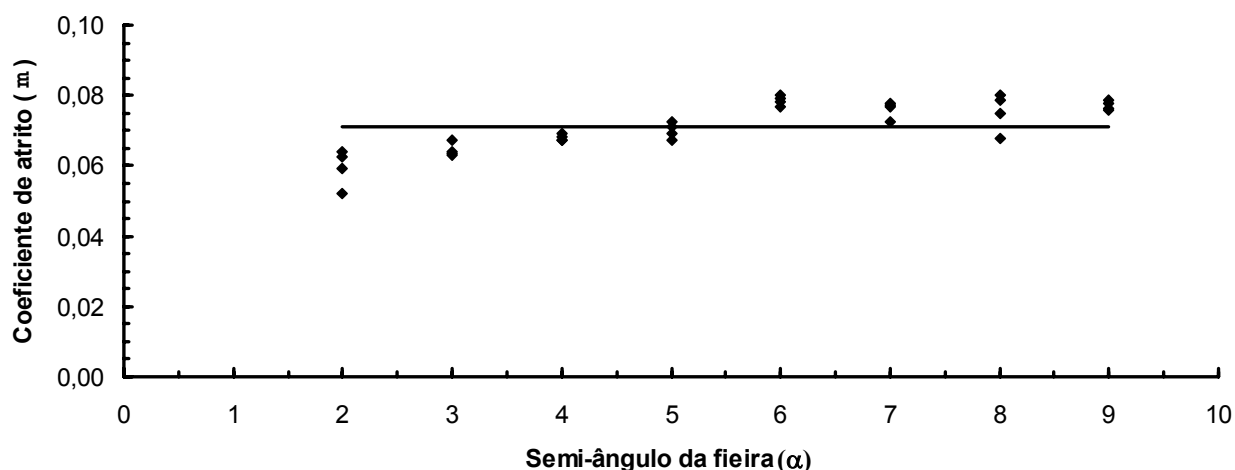


Figura 4. Coeficiente de atrito versus semi-ângulo da fieira segundo a formulação de Baker e Wright.

Observando o gráfico da figura 4, e considerando que o coeficiente de atrito se manteve constante, foi encontrado um valor médio de 0,071 com desvio padrão de 0,007. No entanto, se for feita a regressão linear para os valores do gráfico, o resultado é um ligeiro crescimento do fator de atrito com o semi-ângulo, como mostrado no gráfico da figura 5 e através da seguinte equação:

$$\mu = 0,0576 + 0,0025\alpha \quad (8)$$

Os resultados levantados neste trabalho corroboram com a afirmativa de Wilson⁽¹⁶⁾, mas não com a de Baker e Wright⁽⁷⁻¹⁰⁾.

Deve-se salientar que a afirmativa de Baker e Wright⁽⁹⁾ foi feita baseada em um trabalho experimental realizado com apenas dois valores de semi-ângulo de fieira, a saber, 4,5 e 9,5°, sob influência direta do fator de trabalho redundante, já que não foi considerada a condição de parâmetro Δ unitário. Além disso, como o parâmetro Δ foi diferente do valor unitário, o caminho de deformação do material trefilado é diferente do caminho de deformação do material apenas tracionado, o que pode levar a subestruturas de deslocação distintas. Conseqüentemente a obtenção da tensão de escoamento média para o material trefilado, levantada através do gráfico tensão-deformação obtido através de ensaios de tração, é um procedimento, no mínimo, limitado. Este

conjunto de fatores pode ter influenciado a constatação realizada por Baker e Wright⁽⁹⁾ de que o coeficiente de atrito aumenta de 50% com o aumento do semi-ângulo de 4,5 para 9,5°, comportamento não observado neste trabalho, em que para a mesma faixa de valores de semi-ângulo foi observado um aumento de 13% no coeficiente de atrito.

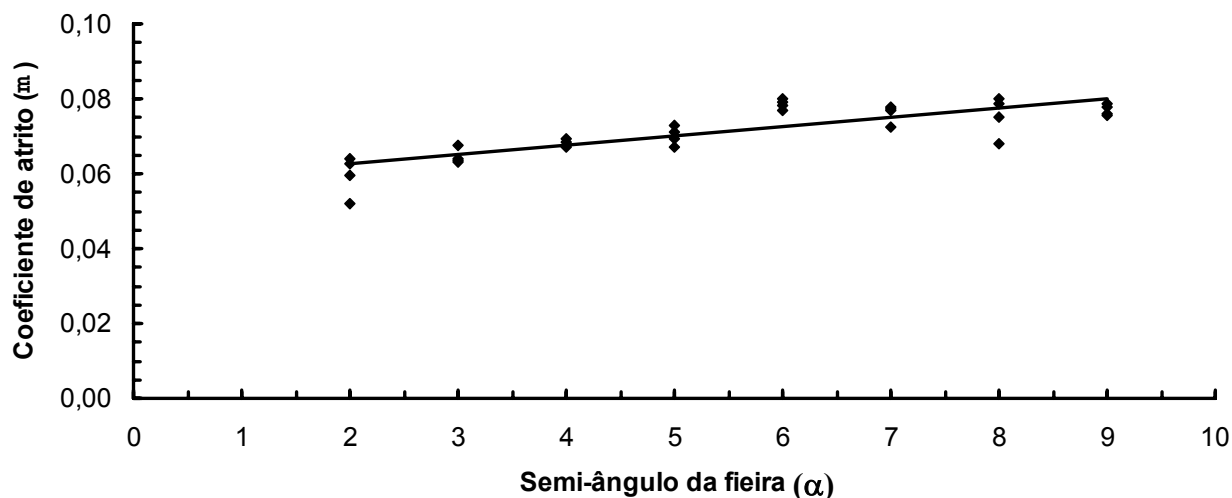


Figura 4. Coeficiente de atrito versus semi-ângulo da fieira segundo a formulação de Baker e Wright.

No presente trabalho deve-se destacar que, a consideração do parâmetro Δ unitário minimiza os efeitos da deformação redundante sobre a avaliação do trabalho redundante realizada pelo método dos blocos em relação ao método do limite superior. Destacamos ainda que a determinação da tensão de escoamento média foi realizada por integração direta dos dados experimentais.

A associação das vantagens resultantes da consideração do parâmetro Δ unitário, da integração numérica para obtenção da tensão de escoamento média e de uma faixa mais ampla de semi-ângulos da fieira permitiu uma avaliação mais realística para a relação entre os fatores de atrito e os semi-ângulos de fieira.

A metodologia utilizada no presente trabalho permitiu uma redução considerável da variabilidade dos fatores de atrito, usualmente não observada na literatura.

4. CONCLUSÕES

A metodologia empregada neste trabalho se mostrou consistente tanto na avaliação do fator de atrito quanto do coeficiente de atrito. Foi possível concluir que o fator de atrito é constante para distintos valores de semi-ângulos de fieira. No caso do coeficiente de atrito, não observado essa mesma constância. Acreditamos que este fato esteja relacionado às limitações do método dos blocos em relação ao método do limite superior.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Belgo Bekaert pelo fornecimento das fieiras e aos órgãos de fomento à pesquisa, CNPq, CAPES e FAPEMIG, pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. METALS HANDBOOK, Forming and Forging – Wire, Rod and Tube drawing, v. 14, 9ª Ed., 1988.

2. CAMPOS, H. B.; CETLIN, P. R. Application of tensile testing to redundant deformation evaluation in bar drawing. In: Mechanical Testing of Materials- Conference, 1994, Melbourne, Victoria, **Anais...** Vitória: Mechanical Testing of Materials- Conference, 1994, p. 65-68.
3. DIETER, G. E. Atrito e lubrificação. In.: **Metallurgia Mecânica**, Guanabara II, 1976, RJ, cap. 15, pp.477-486.
4. RIENDEAU, M. P., MATAYA, M. C. and MATLOCK, D. K., Controlled drawing to procedure desirable hardness and microstructural gradients, **Metallurgical and materials transactions**, V. 28A, February, 1997.
5. AVITZUR, B. **Metal Forming: Process and Analysis**. New York, McGraw - Hill Book Company, 1968; Robert Krieger, revised ed., 1979.
6. AVITZUR, B. Flow through dies update - 1989. **Wire Industry**, p. 243-249, April 1989.
7. BAKER, B. and WRIGHT, R. N. Surface evaluation of copper wire. **Wire journal international**. V. 12, pp. 51 - 55, 1990.
8. BAKER, B. and WRIGHT, R. N. Drawing research with a high speed single die block. **Wire journal international**. V.4, pp. 71-73, 1992a.
9. BAKER, G. and WRIGHT, R. N. Friction Coefficients in Laboratory Simulation of Magnet Wire Drawing. **Wire Journal International**, v. 25, n. 6, pp. 67-72, 1992b.
10. BAKER, G. and WRIGHT, R. N. Speed effects in magnet wiredrawing. **Wire Journal International**, v.10, pp. 58-62, 1993.
11. WISTREICH, J. G. The Fundamentals of wire drawing. **Metallurgical Reviews**, v. 10, n. 3, pp.97-142, 1958.
12. WISTREICH, J. G. Investigation of the mechanics of wire drawing. **Proc. Inst. Mech. Eng.**, v. 169, pp. 654-665, 1955.
13. CETLIN, P. R. Redundant deformation factor evaluation through the hardness profile method in round section bar drawing. **ASME Journal of Engineering Materials and Technology**, v.106, p. 147-151, 1984.
14. RAUCH, E. F. The Flow Law of Mild Steel under Monotonic or Complex Strain Path, **Solid State Phenomena**, Vol. 23 & 24, pp. 317-334, 1992.
15. LOPES, A. B.; RAUCH, E. F. and GRÁCIO, J. J. Textural VS Structural Plastic Instabilities in Sheet Metal Forming, **Acta Mater.**, Vol. 47, N° 3, pp. 859-866, 1999.
16. WILSON, W. R. D. Friction and Lubrication in Bulk Metal Forming Process, **J. of App. Metalworking**, vol.1,n°1, pp. 7 - 19, 1979.

INFLUENCE OF THE SEMI- DIE ANGLE IN THE FRICTION PARAMETERS

Sérgio Ribeiro Rezende (*In memoriam*)

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos 6627, Campus da Pampulha, B. Hte., Minas Gerais, Cep. 31270-901, junior@somatorium.com.br

Rogério Helvídio Lopes Rosa

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Coordenação de Ciências, Av. Amazonas 5253, sala 206, Campus I, B. Hte., Minas Gerais, 30480-000, hlopes@deii.cefetmg.br

Antônio Eustáquio de Melo Pertence

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos 6627, Campus da Pampulha, B. Hte., Minas Gerais, Cep. 31270-901, pertence@demec.ufmg.br

Haroldo Béria Campos

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento Engenharia Mecânica, Av. Antônio Carlos 6627, Campus da Pampulha, B. Hte., Minas Gerais, Cep. 31270-901, beriacampos@uol.com.br

Paulo Roberto Cetlin

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais,
Rua Espírito Santo 35, Belo Horizonte, Minas Gerais, Cep. 31130-030, pcetlin@demet.ufmg.br

***Abstract.** The relation was investigated enters the friction parameters (friction coefficient and friction factor) and the semi-angle of the wire-drawing die, with nucleus of tungsten carbide. The geometric parameters of the wire-drawing die had been adjusted in the search of bigger efficiency of the process of wire drawing of bars of pure commercial copper. These bars of copper with diameter of 6,35 mm previously had been annealed. For the wire drawing, the main parameters that influence the efficiency of the process are the speed of processing, the geometry of the matrix and the friction in the interface metal-matrix. The friction, in the majority of the conformation processes, is presented as an adverse factor, representing additional expense of energy. In this work the molybdenum disulfide base was used lubrication with grease. It was adopting geometric parameter Δ unitary to minimize the heterogeneity of deformation, being that the involved variable are the reduction of area and the semi-angle of the wire-drawing die. The friction factor was calculated through the formularization of Avitzur and the friction coefficient was calculated through the formularization of Baker and Wright. As result of this methodology, it was evidenced that the friction factor is practically constant for semi-angles of the wire-drawing die between 2° and 9° and that the friction coefficient also presents an almost constant behavior, presenting soft growth with the semi-die angle.*

Keywords: wire drawing, friction, semi-die angle.