

# ANÁLISE EXPERIMENTAL DA EVOLUÇÃO DE DEFEITOS LONGITUDINAIS LOCALIZADOS NA SUPERFÍCIE DE BARRAS DE COBRE DURANTE O PROCESSO DE TREFILAÇÃO<sup>1</sup>

*Frederico de Castro Magalhães<sup>2</sup>  
Dickson Alves de Souza<sup>3</sup>  
Maria Teresa Paulino Aguilár<sup>4</sup>  
Antônio Eustáquio de Melo Pertence<sup>5</sup>  
Haroldo Béria Campos<sup>5</sup>  
Paulo Roberto Cetlin<sup>6</sup>*

## **Resumo**

Como em todo processo de fabricação, os produtos finais de trefilação de seção circular não estão isentos de defeitos. Há caso em que defeitos pré-existent na matéria-prima, principalmente no fio máquina, são realçados ao longo do processamento do material, mas também pode ocorrer o surgimento de novos defeitos, durante o processo de trefilação. A previsão da evolução dos defeitos superficiais na trefilação é de importância, a fim avaliar a sua presença ou não no produto final. O presente artigo analisa experimentalmente a evolução de um defeito longitudinal e superficial, em barras de cobre, ao longo de sete passes de trefilação. O defeito inicial apresenta uma seção transversal retangular com 1mm de largura, profundidade de 0,9mm e comprimento de 15mm.

**Palavras Chave:** Trefilação; Cobre; Defeitos superficiais e longitudinais; Elementos finitos.

## **EVOLUTION OF LONGITUDINAL SUPERFICIAL DEFECTS DURING SUCCESSIVE AXISYMMETRIC DRAWING PASSES**

### **Abstract**

As in all manufacturing processes, the products resulting from axisymmetric drawing are not exempt of defects. These can originate in the initial stock to be drawn or be created during the drawing itself. The prediction of the evolution of superficial defects during axisymmetric drawing is important in order to evaluate their importance in the final drawn product. The present paper analyzes experimentally the evolution of a longitudinal superficial defect in copper bars along seven successive drawing passes. The initial defect had a rectangular cross-section 1mm wide and 0.9mm deep, and displayed a length of 15mm.

**Key words:** Drawing; Copper; Surface and longitudinal defects; FEM

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 4º Seminário de Trefilação: Arames, Barras e Tubos de Metais Ferrosos e Não-ferrosos, 26 e 27 de novembro de 2013, São Paulo, SP.*

<sup>2</sup> *Dr., Pós-doutor do Dept. de Enga. Metal. e de Materiais da UFMG. fredmag@br.inter.net, Belo Horizonte, Brasil.*

<sup>3</sup> *Engenheiro Metalurgista, UFMG. disouzam@yahoo.com.br, Belo Horizonte, Brasil.*

<sup>4</sup> *Dr. Profa. Titular, Depto. de Enga. Mat. e Construção da UFMG, teresa@ufmg.br, Belo Horizonte, Brasil. Belo Horizonte, Brasil.*

<sup>5</sup> *Dr. Prof. Associado, Depto. de Enga. Mecânica da UFMG, pertence@ufmg.br, beriacampos@uol.com.br, Belo Horizonte, Brasil.*

<sup>6</sup> *Dr. Prof. Titular, Depto. de Enga. Mecânica da UFMG, pcetlin@demec.ufmg.br, Belo Horizonte, Brasil.*

# 1 INTRODUÇÃO

Perante o atual processo de globalização, onde uma empresa precisa diferenciar-se de seus concorrentes a fim de não apenas sobreviver, mas prosperar em um mercado acentuadamente competitivo, a redução de seus custos operacionais e a melhoria na produtividade/qualidade de seus produtos é essencial.<sup>(1)</sup> Para isso, exige-se um controle adequado das variáveis de processamento, como a qualidade da matéria-prima, que deveria se apresentar isenta de defeitos internos e superficiais.

Como em todo processo de fabricação, os produtos finais de trefilação de seção circular não estão isentos de defeitos. Há casos em que defeitos pré-existentes na matéria-prima, principalmente no fio-máquina, são realçados ao longo do processamento do material, mas também pode ocorrer o surgimento de novos defeitos, durante o processo de trefilação, no bobinamento e no transporte do arame.<sup>(2)</sup> Quando estes tipos de defeitos superficiais não ocasionam a ruptura do produto durante a sua trefilação, podem ser prejudiciais na produção subsequentes de produtos conformados a frio, especialmente fixadores (parafusos, rebites, pregos, porcas etc.), onde podem se abrir de uma forma inaceitável, levando ao sucateamento dos mesmos.

A falta de qualidade do produto gera prejuízo, pois quando um produto apresenta defeitos, haverá um gasto adicional por parte da empresa para a sua correção ou na produção de uma nova peça. Dessa forma, faz-se necessário o conhecimento técnico adequado da matéria prima, para maximizar seu potencial de uso e minimizar os problemas no controle dos parâmetros do processo produtivo.<sup>(3)</sup> Assim, o estudo da evolução de determinados defeitos superficiais durante o processo de trefilação é de relevância industrial.

O presente trabalho analisa experimentalmente a evolução de um defeito longitudinal, com seção transversal retangular, introduzidos artificialmente na superfície de uma barra de cobre, com comprimento de 15mm, profundidade de 0,9mm e largura de 1mm. A evolução deste defeito foi acompanhada ao longo de sete passes sucessivos de trefilação em um dispositivo especialmente confeccionado para máquinas de ensaios universais.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 Caracterização do Material

Para avaliar a evolução do defeito superficial foi escolhido o cobre eletrolítico, com a composição química mostrada na Tabela 1. Esse material foi adquirido na forma de barras de 12,7mm de diâmetro e 3 a 4m de comprimento. A escolha deste material teve como motivos: a sua importância no setor industrial, em 2012 foram consumidos 20,5 milhões de toneladas<sup>(4)</sup> e o de dispensar o uso de lubrificantes durante a sua trefilação. A dureza média do material como recebido foi HV 834±5MPa.

**Tabela 1.** Composição química do corpo de prova de cobre

Cu	Pb	Fe	Zn	Ni	Al	Mg
99,9%	0,018%	0,010%	0,012%	0,005%	0,049%	0,007%

## 2.2 Ensaio de Trefilação

O processo de trefilação foi realizado com um dispositivo especialmente confeccionado para a máquina de ensaios Instron (Figura 1), empregando fiéis de carboneto de tungstênio (WC), com semi-ângulo de  $(5\pm 0,2)^\circ$  e com o comprimento do paralelo igual a 15% do diâmetro de saída. Em cada passe de trefilação (sete no total), a barra de cobre foi submetida a uma redução de área de 10%. Em todos os passes, a velocidade foi de 0,67mm/s, e nenhum lubrificante foi empregado entre as fiéis e o material. sete.



Figura 1. Dispositivo montado para a trefilação em máquina de ensaio universal.

## 2.3 Defeitos Introduzidos Artificialmente

Para a confecção dos defeitos superficiais foi utilizado uma fresa de topo, tipo W, de metal duro, diâmetro nominal de 1mm, em um centro de usinagem vertical Romi Discovery 400, a uma velocidade de 6.000rpm, avanço de 200mm/min e com uma profundidade de corte de 0,02mm. A Figura 2 mostra o aspecto final do defeito (corte A-A'). As dimensões finais foram: comprimento 6,5mm, profundidade 0,6mm e largura 1mm.

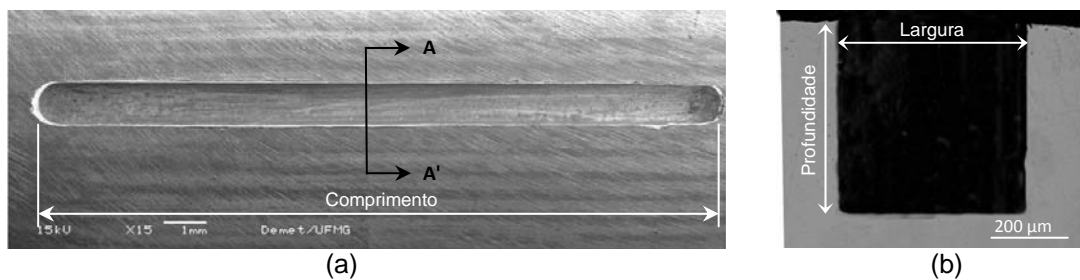
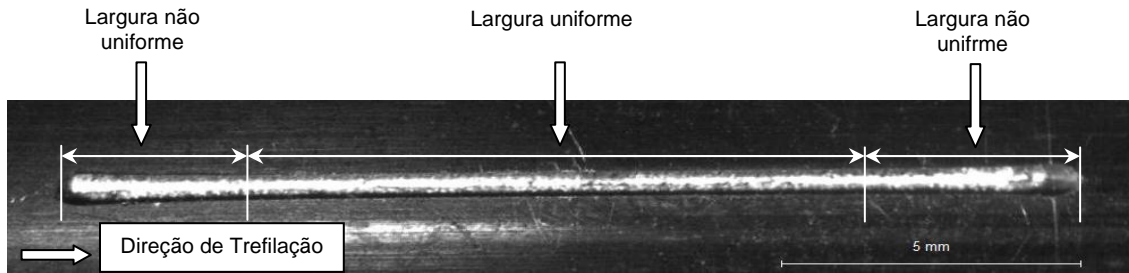


Figura 2. (a) Vista de topo do defeito (b) perfil do defeito.

## 2.4 Evolução dos Defeitos Longitudinais

A Figura 2 exibe a vista de topo do defeito longitudinal após o primeiro passe de trefilação. Percebe-se que sua largura não é uniforme ao longo do comprimento, remetendo ao formato de um cotonete. A explicação desse comportamento está baseada nas descontinuidades dos extremos dos defeitos. Após a cada passe de trefilação foram avaliados, experimentalmente, o comprimento e a largura do defeito longitudinal. A seta, localizada no canto inferior direito da Figura 3, indica o sentido de trefilação.

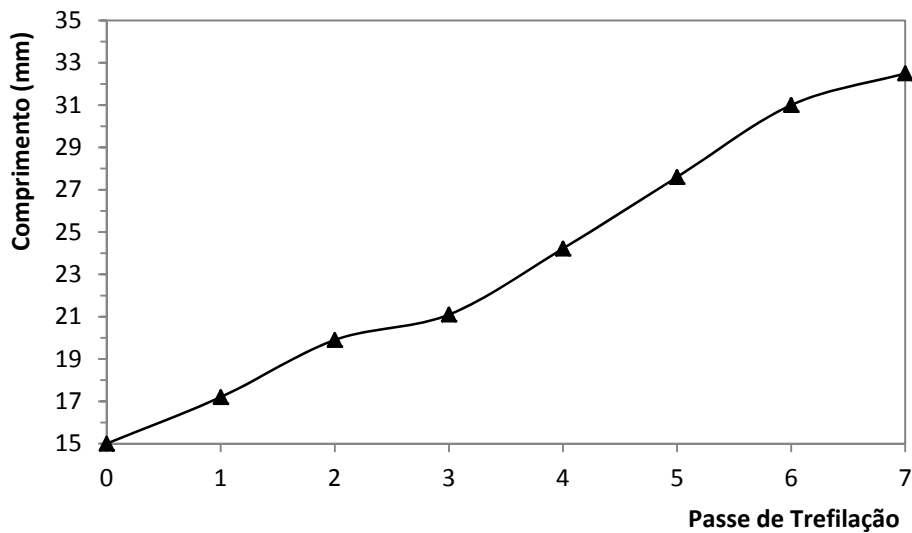


**Figura 3.** Largura irregular do defeito, ao longo do comprimento, depois do primeiro passe de trefilação (microscópio ótico).

Para avaliar a evolução geométrica da seção transversal do defeito (experimental) ficou definido que os cortes deveriam ser realizados no ponto médio ao longo do comprimento do defeito, utilizando um disco de diamante, em baixa velocidade, e amostra preparada para a metalografia.

### 3 DISCUSSÃO

O gráfico da Figura 4 mostra a evolução do comprimento do defeito ao longo dos sete passes sucessivos de trefilação.

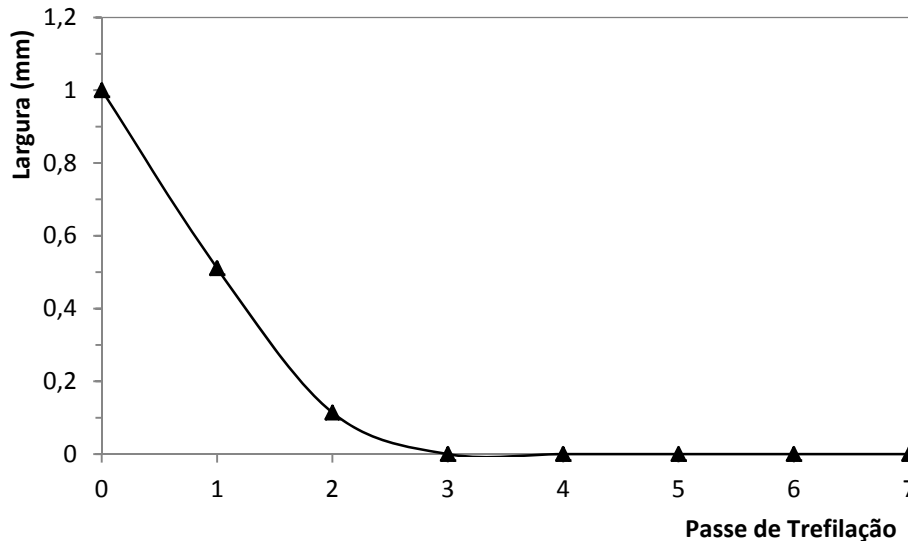


**Figura 4.** Evolução do comprimento do defeito em função do passe de trefilação.

Através do gráfico da Figura 4 percebe-se que o comprimento do defeito longitudinal aumenta após a cada passe de trefilação. Tal comportamento era esperado, pelo fato de obedecer a uma simples relação entre os comprimentos inicial e final em função da redução de área, que pode ser expressa através da Equação (1).

$$\frac{l_f}{l_0} = \frac{1}{1-r} \quad (1)$$

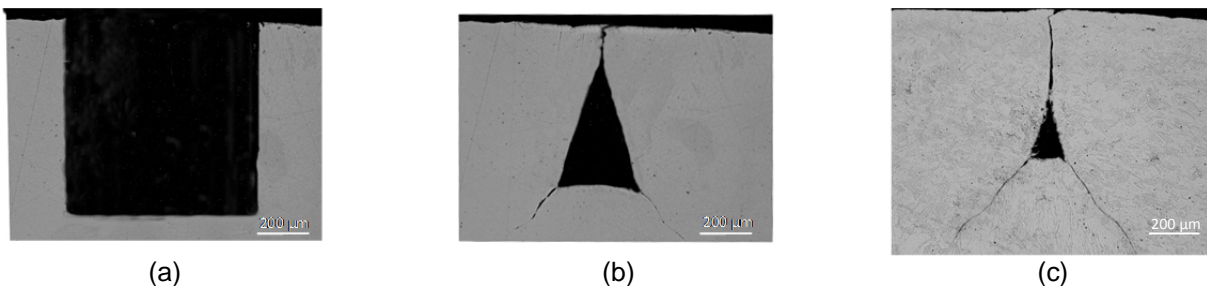
onde  $l_0$  é o comprimento inicial do defeito,  $l_f$  comprimento final e  $r$  redução de área. A Figura 5 mostra o gráfico das evoluções das larguras do defeito longitudinal após a cada passe de trefilação.



**Figura 5.** Evolução da largura do defeito em função do passe de trefilação.

Observando os gráficos das Figuras 4 e 5, percebe-se que a largura do defeito é praticamente nula após o terceiro passe de trefilação. Por outro lado, o comprimento final do defeito é diretamente proporcional ao número de passes, ocorrendo um acréscimo de 2mm no seu comprimento após a cada passe de trefilação. O comprimento final experimental foi de 32mm, isto é, 53% maior do que o comprimento inicial.

Para avaliar a evolução geométrica da seção transversal do defeito, foram realizados cortes no ponto médio ao longo do comprimento do defeito, em três instantes distintos: Antes de trefilar, no terceiro passe de trefilação (fechamento do defeito) e após o último passe de trefilação. A Figura 6 retrata os resultados desses respectivos cortes.



**Figura 6** – Corte no ponto médio do comprimento do defeito (a) Inicial (b) Após terceiro passe (c) Após o sétimo passe de trefilação.

Na Figura 6a é possível ver que o defeito inicial (seção retangular) evolui para um defeito com formato final de um "Y" invertido (Figura 6c). Já a Figura 6b mostra que no instante do fechamento do defeito há a formação de dobras simétricas na sua parte inferior, em decorrência da ascensão do fundo do defeito.

#### 4 CONCLUSÃO

O estudo experimental revelou que um defeito longitudinal com seção transversal retangular tende a evoluir para defeito com perfil geométrico de um "Y" invertido, com dobras inferiores simétricas.

O aumento do comprimento do defeito longitudinal foi de 53% em relação ao comprimento inicial, apresentando um acréscimo médio de 2mm após a cada passe de trefilação.

Independente do fechamento do defeito no terceiro passe de trefilação o comprimento do defeito tende aumentar em função do número de passes de trefilação.

À medida que ocorre a ascensão do fundo do defeito, aumenta-se a possibilidade de formação da dobra.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem o suporte da Belgo Mineira Bekaert na fabricação das feiras de carboneto de tungstênio e à Capes, CNPq e Fapemig pelo suporte financeiro para a concretização deste trabalho.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 Rossetti, J.P. Introdução à Economia, São Paulo, Atlas, 2000.
- 2 Yalamanchili, B., Nelson, J., Power, P.M., 2000 – Identification and prevention of mechanical damage to wire rod at North Star Steel Texas, Wire Journal International, 33, 234-239.
- 3 Cogan, S. Custos e preços: Formação e Análise. São Paulo, Pioneira, 1999.
- 4 Alonso, Olivia. Valor Econômico. 21/03/2013.