

# PROPRIEDADES MECÂNICAS DO COBRE TREFILADO EM PASSES ÚNICOS E MÚLTIPLOS<sup>1</sup>

Ana Luiza Resende de Castro<sup>2</sup>

Haroldo Béria Campos<sup>3</sup>

Paulo Roberto Cetlin<sup>4</sup>

## RESUMO

Neste trabalho, foi realizado um programa experimental para avaliação da influência do número de passes na trefilação sobre as propriedades mecânicas de cobre comercialmente puro de seção transversal circular. Para isto, foram executadas três diferentes seqüências de trefilação com semi-ângulo de fiação  $\alpha = 4^\circ$ , deformação total de 30% e número de passes de 1 (30%), 3 (3 passes de 10%) e 6 (6 passes de 5%). As propriedades mecânicas finais do material trefilado foram avaliadas através de ensaios de tração. Observou-se que o número de passes praticamente não teve influência sobre as propriedades medidas. Estes resultados mostraram-se contrários a dados encontrados na literatura para o cobre, onde se observou uma diminuição do endurecimento do material com aumento do número de passes.

---

<sup>1</sup>Contribuição técnica ao 1º Seminário de Trefilação de Arames, Barras e Tubos de Metais Ferrosos e Não-Ferrosos, São Paulo, novembro 1993.

<sup>2</sup>Eng. Metalurgista, M.Sc., Prof. Assistente do Depto. de Eng. Mecânica da PUC-MG, aluno de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG.

<sup>3</sup>Físico, M.Sc., Prof. Assistente do Depto. de Mecânica da FUNREI, aluno de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG.

<sup>4</sup>Eng. Mecânico, M.Sc., Dr., Prof. Titular do Depto. de Engenharia Metalúrgica da UFMG.

## 1. INTRODUÇÃO

O processo de trefilação consiste em forçar a passagem de um material através de uma matriz cônica, mediante a aplicação de uma força de tração à saída da mesma. Este processo produz vergalhões, barras e arames de uso extremamente variado, devido aos excelente acabamento superficial e tolerância dimensional obtidas, bem com à boa resistência mecânica e usinabilidade alcançadas<sup>(1)</sup>.

A deformação introduzida em barras metálicas trefiladas difere daquela causada por tração pura, considerando-se a mesma redução de área nos dois casos<sup>(2,3)</sup>. O processo de trefilação implica em um sistema mais complexo de deformação, sendo que esta é comumente mais pronunciada na superfície e decresce à medida que se aproxima do centro da barra, ou seja, a deformação em trefilação é heterogênea. Esta heterogeneidade de deformação faz com que um material trefilado tenha propriedades mecânicas diferentes de um deformado por tração pura, para um mesmo nível de deformação. Observa-se experimentalmente que, para uma mesma deformação externa, a resistência mecânica de um material trefilado é maior que a resistência do mesmo material submetido a tração pura.

A trefilação em passes múltiplos é amplamente utilizada na indústria para produção de arames, sendo comum o uso de até doze passes sucessivos. Pouco se conhece sobre a heterogeneidade de deformação na trefilação em passes múltiplos, mas resultados encontrados na literatura<sup>(4)</sup> mostram que a trefilação em passes múltiplos leva a um menor endurecimento do material do que em passe único. Além disso, esta diminuição aumenta com o aumento do número de passes.

O objetivo deste trabalho é avaliar a influência do número de passes em trefilação nas propriedades mecânicas de cobre comercialmente puro.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O material utilizado neste trabalho foi o cobre comercialmente puro.

Após usinagem, os corpos de prova foram recozidos a 560°C por 80 minutos em forno a vácuo. A homogeneidade do recozimento foi verificada após este tratamento através de medidas de dureza Vickers.

A trefilação foi realizada em um banco de trefilação hidráulico, com velocidade de 3 mm/s. Foram utilizadas fiação de carboneto de tungstênio com semi-ângulo de 4°.

Os corpos de prova foram trefilados na condição usinada e lubrificados com pasta Molykote G, sendo que foram ensaiados dois corpos de prova para cada situação de trefilação.

A tabela I mostra as seqüências de trefilação realizadas, onde a deformação indicada é a logarítmica. Neste caso, é válida a soma de reduções parciais para se chegar à redução final.

Em seguida, foram realizados os ensaios de tração em uma máquina de ensaios universal servo-hidráulica, com célula de carga de 5 toneladas e velocidade de cabeçote de 0,4 mm/s. Os pares de ponto carga em função do alongamento foram processados em um programa de computador que fornece as curvas tensão - deformação para os corpos de prova, bem como suas propriedades mecânicas.

## **3. RESULTADOS EXPERIMENTAIS**

As tabelas II, III e IV mostram as dimensões iniciais ( $D_i$ ) e finais ( $D_f$ ) dos corpos de

prova trefilados, o semi-ângulo da fieira ( $\alpha$ ), deformação convencional ( $\epsilon$ ) e redução de área ( $r$ ) para cada seqüência de trefilação.

A tabela V apresenta os valores médios do limite de escoamento a 0,2% de deformação ( $\sigma_{0,2\%}$ ), limite de resistência ( $\sigma_L$ ), alongamento percentual relativo a cinco diâmetros ( $A_p^{5D}$ ) e o coeficiente de estricção ( $Z$ ) para as seqüências realizadas. As figuras 1 e 2 mostram os gráficos referentes a estas propriedades. Observa-se que os valores de limite de escoamento, limite de resistência e alongamento percentual para o material trefilado em passes múltiplos são ligeiramente menores do que os de passe único, mas as diferenças não são significativas. Os valores de coeficiente de estricção não variaram.

A tabela VI mostra essas propriedades mecânicas para cada passe de trefilação. As figuras 3 e 4 mostram as curvas relativas aos dados apresentados nesta tabela. Pode-se notar que há uma boa concordância entre os valores das propriedades para a mesma redução final, independentemente do número de passes. No caso do limite de escoamento há uma pequena queda nos valores desta propriedade para um passe de 10% e dois passes de 10%, com relação a dois e quatro passes de 5%, respectivamente. Além disso, como era de se esperar, nota-se o aumento dos valores dos limites de escoamento e de resistência e diminuição do alongamento percentual com o aumento da redução de área. O coeficiente de estricção mostrou-se constante, exceto para os passes com deformação total de 10%.

#### 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

O exame dos resultados acima mostra que as propriedades mecânicas do cobre trefilado são nitidamente uniformes para passe único ou múltiplos.

Estes resultados, no entanto, não estão de acordo com resultados encontrados na

literatura<sup>(4)</sup>, como mencionado anteriormente. Neste trabalho, cobre comercialmente puro foi trefilado através de fieiras com semi-ângulo de 5°, com reduções de área variando de 1 a cerca de 55%. Foram realizadas três seqüências, a primeira passe único, a segunda cinco passes sucessivos e a terceira nove passes sucessivos. Resultados mostraram que o limite de resistência após passes sucessivos é menor do que para passes únicos, e a diferença aumenta progressivamente com aumento da redução de área.

Assim, torna-se necessária a obtenção de mais dados experimentais para estabelecimento de um quadro consistente da influência do número de passes sobre as propriedades mecânicas do material.

## **ABSTRACT**

An experimental program is proposed and carried out in order to evaluate the influence of the number of drawing passes on the mechanical properties of annealed copper. Three distinct drawing sequences, with die semi-angles of 4 deg and total deformation of 30% were accomplished: the first one involved a single pass of 30%, the second three passes of 10% and the third six passes of 5%. Final mechanical properties were measured through tensile testing. It was observed that the number of passes did not influence the mechanical properties of the drawn material, contrarily to results for copper reported in the literature.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. DIETER, G.E. **Metalurgia Mecânica**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981. 653p.

2. CETLIN, P.R. Redundant deformation factor evaluation through the stress-strain curves superposition method in round section bar drawing - a literature analysis. **Transactions of the ASME**, v.109, out. 1987, p.272-275.
3. JOHNSON, R.W., ROWE, G.W. Redundante work in drawing cylindrical stock. **Journal of the Institute of Metals**, v.96, 1968, p. 97-105.
4. ALKINS, W.E. Experiments in wire-drawing. Part II. - Notes on the relation between reduction of area by cold-drawing and tensile strength of H.C. copper. **Journal of the Institute of Metals**, v.46, 1931, pp. 304-312.

Tabela I. Seqüências de trefilação.

Deformação Seqüência	1º passe	2º passe	3º passe	4º passe	5º passe	6º passe
1	0,30	-	-	-	-	-
2	0,10	0,10	0,10	-	-	-
3	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05

Tabela II. Parâmetros de trefilação para a seqüência 1.

Dados CP	$D_i$ (mm)	$D_f$ (mm)	$\alpha$ (graus)	$\epsilon$ (%)	$r$ (%)
1	11,66	9,99	4,0	30,9	26,6
2	11,67	9,99	4,0	31,1	26,7

Tabela III. Parâmetro de trefilação para a seqüência 2.

	Dados CP	$D_i$ (mm)	$D_f$ (mm)	$\alpha$ (graus)	$\epsilon$ (%)	$r$ (%)
1º passe	3	10,54	9,99	4,0	10,72	10,16
	4	10,54	9,99	4,0	10,72	10,16
2º passe	5	9,99	9,53	4,0	9,43	9,00
	6	9,99	9,53	4,0	9,43	9,00
3º passe	7	9,53	9,06	5,0	10,12	9,62
	8	9,53	9,06	5,0	10,12	9,62

Tabela IV. Parâmetros de trefilação para a seqüência 3.

	Dados	$D_1$ (mm)	$D_f$ (mm)	$\alpha$ (graus)	$\epsilon$ (%)	$r$ (%)
	CP					
1º passe	9	10,27	9,99	4,0	5,51	5,36
	10	10,29	9,99	4,0	5,82	5,65
2º passe	11	9,99	9,75	4,3	4,86	4,75
	12	9,99	9,75	4,3	4,85	4,75
3º passe	13	9,75	9,53	4,0	4,56	4,46
	14	9,75	9,53	4,0	4,56	4,46
4º passe	15	9,53	9,29	5,0	5,10	4,97
	16	9,53	9,29	5,0	5,10	4,97
5º passe	17	9,29	9,06	5,0	5,01	4,89
	18	9,29	9,06	5,0	5,01	4,89
6º passe	19	9,06	8,83	3,5	5,14	5,01
	20	9,06	8,83	3,5	5,14	5,01

Tabela V. Propriedades mecânicas finais médias das seqüências 1, 2 e 3.

Prop. Mec.	$\sigma_{0,2\%}$ (MPa)	$\sigma_i$ (MPa)	$Z$ (%)	$A_p^{5D}$ (%)
Seqüência				
1	294	305	78	31
2	277	297	79	25
3	282	296	78	27

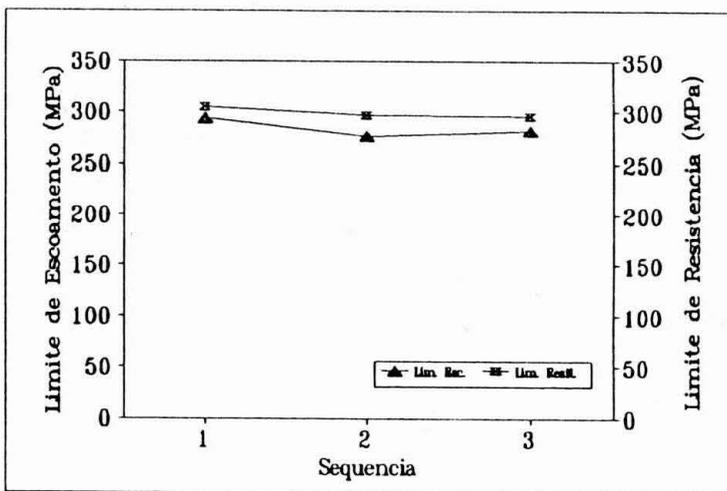


Figura 1. Limites de escoamento e resistência das seqüências 1, 2 e 3.

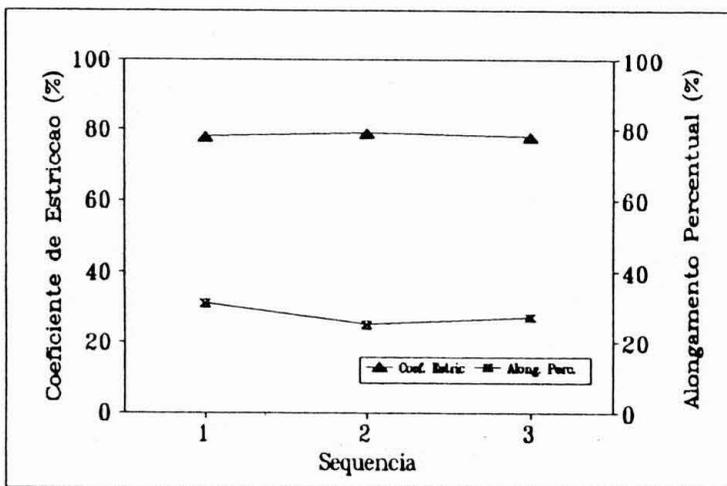


Figura 2. Coeficiente de estricção e alongamento percentual das seqüências 1, 2 e 3.

Tabela VI. Propriedades mecânicas dos passes intermediários das seqüências 1 a 3.

Prop. Mec. Deformação (%)	$\sigma_{0,2\%}$ (MPa)	$S_u$ (MPa)	Z (%)	$A_p^{5D}$ (%)
5	164	235	84	54
2 * 5	199	242	77	47
10	191	242	72	46
3 * 5	228	258	83	43
4 * 5	265	277	82	33
2 * 10	245	268	83	38
5 * 5	273	288	85	29

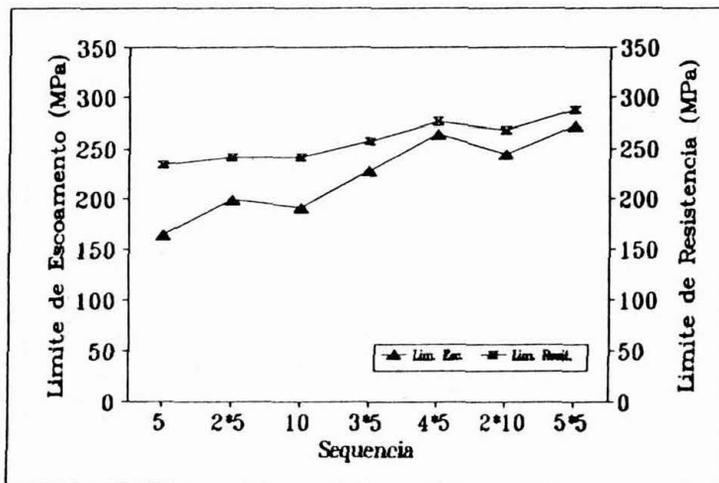


Figura 3. Limites de escoamento e resistência dos passes intermediários.

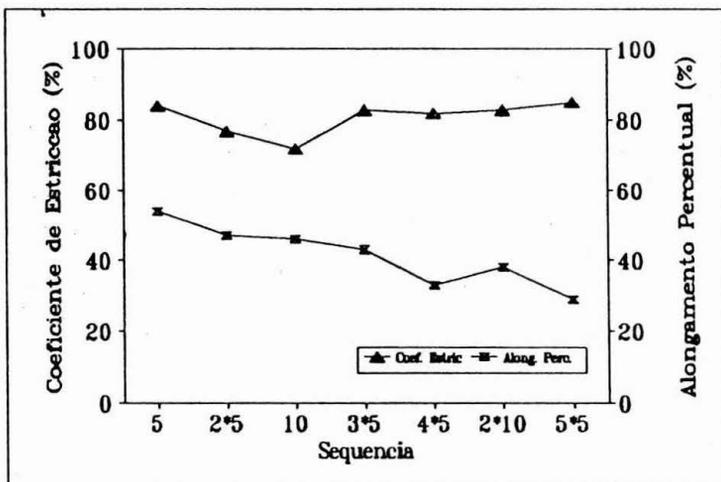


Figura 4. Coeficiente de estrição e alongamento percentual dos passes intermediários.

