



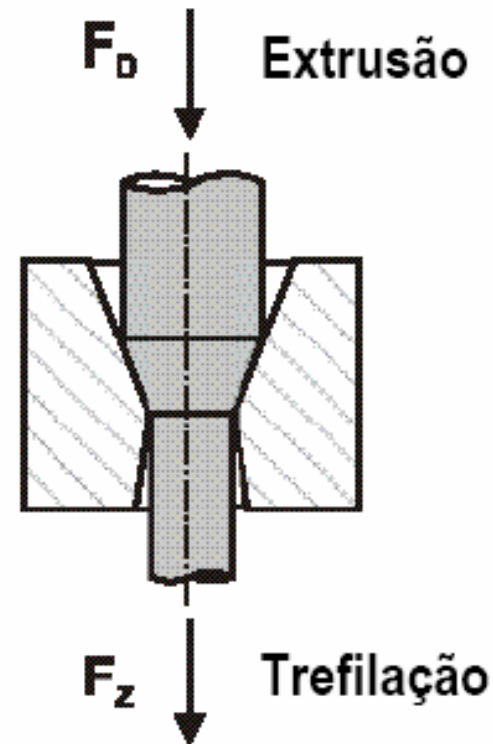
PROCESSO DE TREFILAÇÃO

TREFILAÇÃO E EXTRUSÃO

Com ambos os processos podem tanto ser produzidas tarugos como peças acabadas.

Processos destinados à produção de barras de perfil constante, sendo esse perfil definido pela forma da abertura da ferramenta por onde o material escoá, impulsionado por uma força que pode ser:

- Tração, no caso da trefilação, ou
- Compressão, no caso da extrusão





TREFILAÇÃO

O QUE É?

A trefilação é uma operação em que a matéria-prima é estirada através de uma matriz em forma de canal convergente (FIEIRA ou TREFILA) por meio de uma força tracionadora aplicada do lado de saída da matriz.

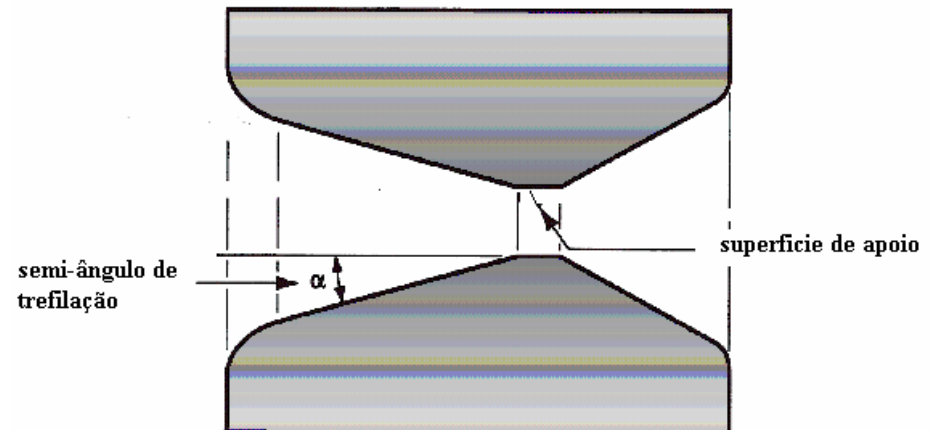
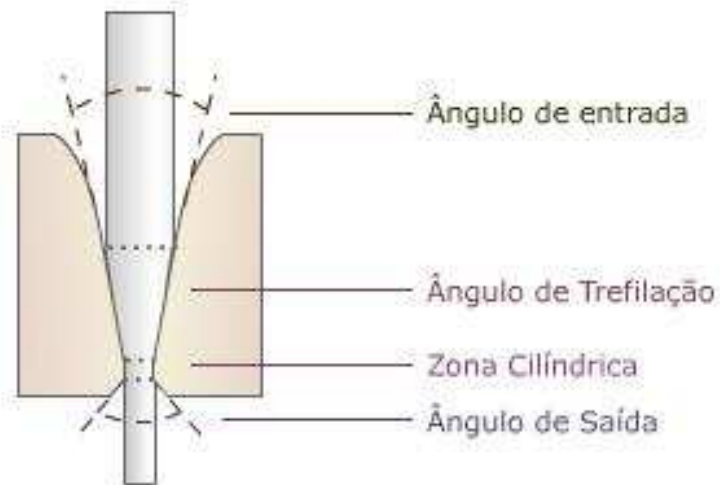
O escoamento plástico é produzido pela combinação da força tracionadora com as forças compressivas provenientes da reação da matriz sobre o material.

TREFILAÇÃO

DISPOSITIVO BÁSICO: A FIEIRA

A fieira é o dispositivo básico da trefilação, e compõe todos os equipamentos trefiladores. Sua geometria é dividida em quatro zonas:

- de entrada
- de redução (α = semi-ângulo de trefilação)
- de calibração (zona cilíndrica)
- de saída

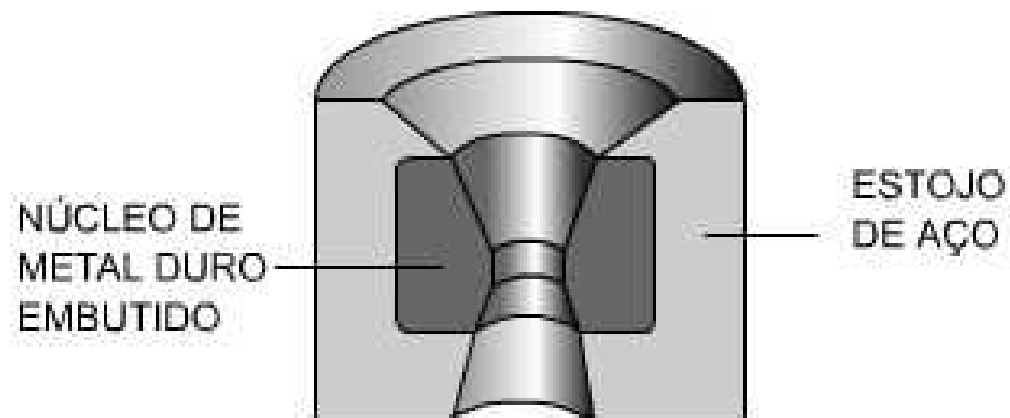


TREFILAÇÃO

MATERIAL DA FIEIRA:

O material é escolhido conforme as exigências do processo (dimensões, esforços) e o material a ser trefilado. Os materiais mais utilizados são:

- ❑ Carbonetos sinterizados (sobretudo WC – Widia)
- ❑ Aços de alto C revestidos de Cr (cromagem dura)
- ❑ Aços especiais (Cr-Ni, Cr-Mo, Cr-W, etc.)
- ❑ Ferro fundido branco
- ❑ Cerâmicos (pós de óxidos metálicos sinterizados)
- ❑ Diamante (p/ fios finos ou de ligas duras)



TREFILAÇÃO

PRODUTOS MAIS COMUNS

Barras	$\varnothing < 25\text{mm}$	
Arames	Comuns	Grossos: $\varnothing = 5...25\text{mm}$
		Médios: $\varnothing = 1,6...5,0\text{mm}$
		Finos: $\varnothing = 0,7...1,6\text{mm}$
	Especiais	$\varnothing < 0,02\text{mm}$
Tubos	Trefilados de diferentes formas	



TREFILAÇÃO

VANTAGENS

- ❑ O material pode ser estirado e reduzido em secção transversal mais do que com qualquer outro processo;
- ❑ A precisão dimensional obtida é maior do que em qualquer outro processo exceto a laminação a frio, que não é aplicável às bitolas comuns de arames;
- ❑ A superfície produzida é uniformemente limpa e polida;
- ❑ O processo influi nas propriedades mecânicas do material, permitindo, em combinação com um tratamento térmico adequado, a obtenção de uma gama variada de propriedades com a mesma composição química.

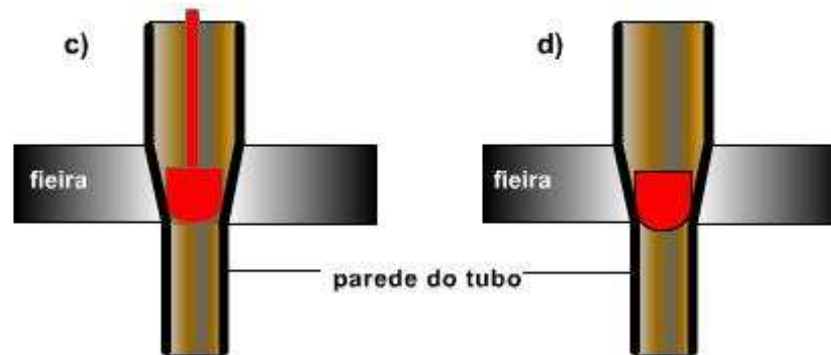
TREFILAÇÃO

MÉTODOS DE TREFILAÇÃO DE TUBOS



a) sem suporte interno
(rebaixamento)

b) com mandril passante



c) com bucha (plug) fixo

d) com bucha flutuante

TREFILAÇÃO

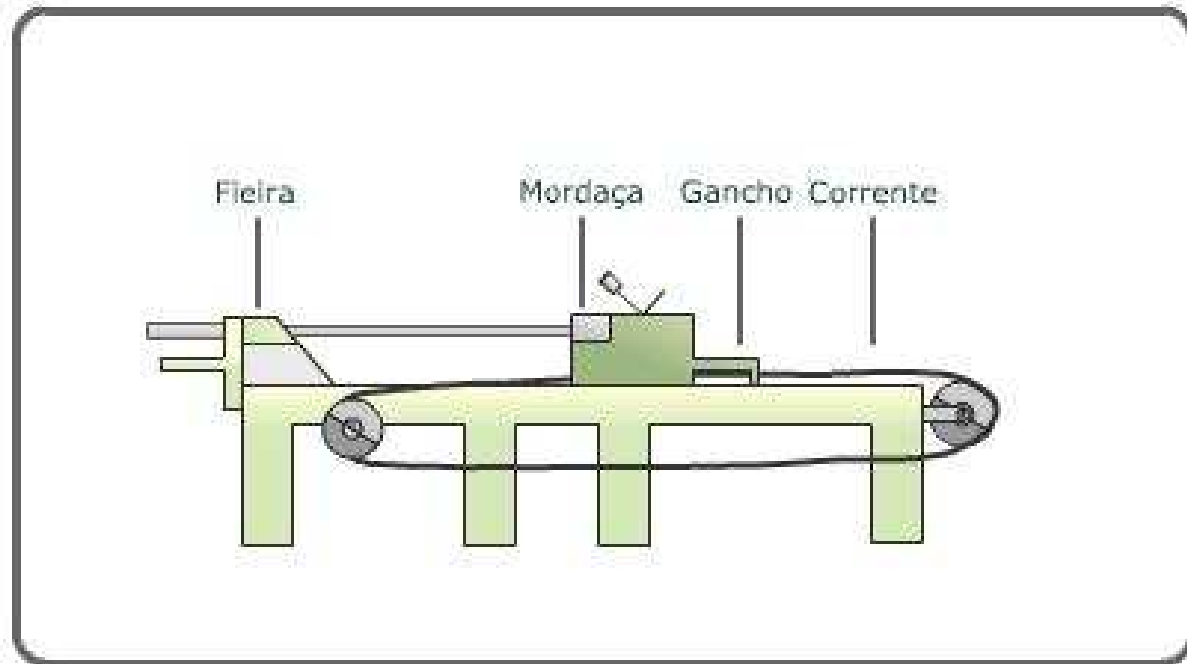
EQUIPAMENTOS

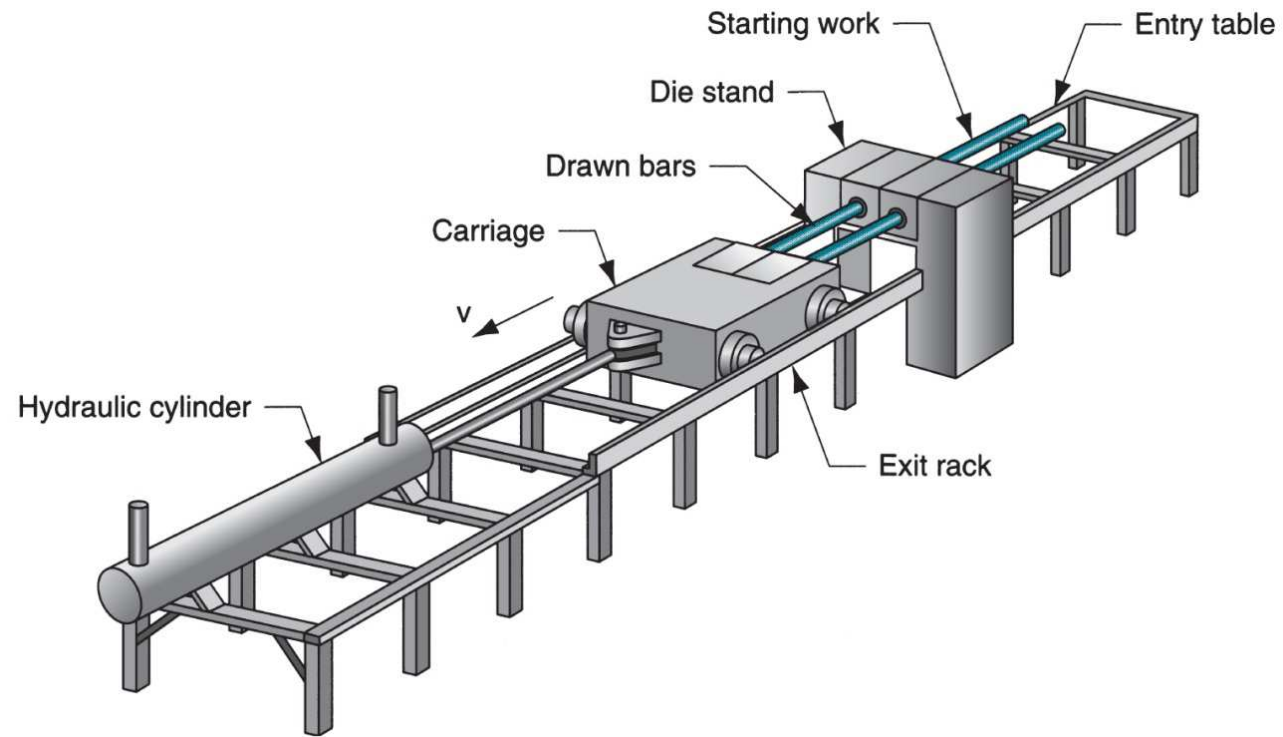
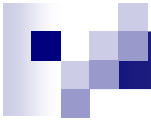
Classificam-se em dois grupos:

- BANCADAS DE TREFILAÇÃO – Utilizadas para produção de componentes não bobináveis, como barras e tubos.
- TREFILADORAS DE TAMBOR – Utilizadas para produção de componentes bobináveis, ou seja, fios e arames.

BANCADA DE TREFILAÇÃO

Na figura ao lado pode-se observar o aspecto esquemático de uma bancada de trefilação, com os respectivos componentes.



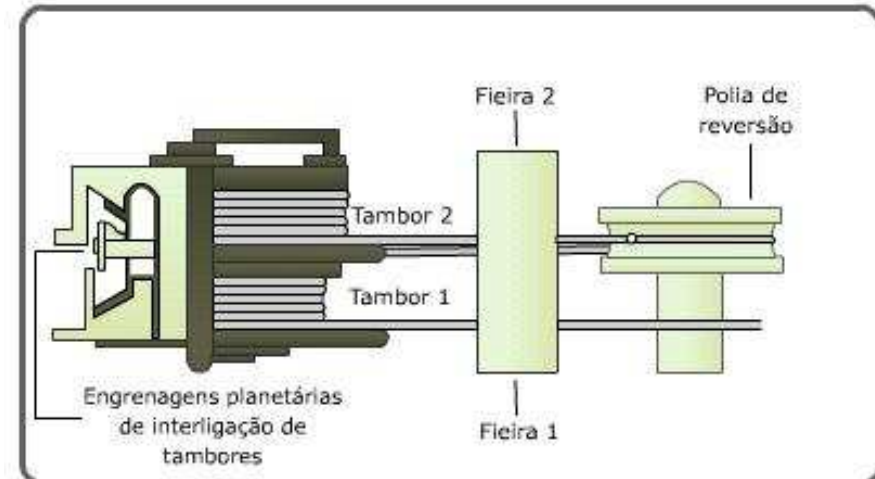
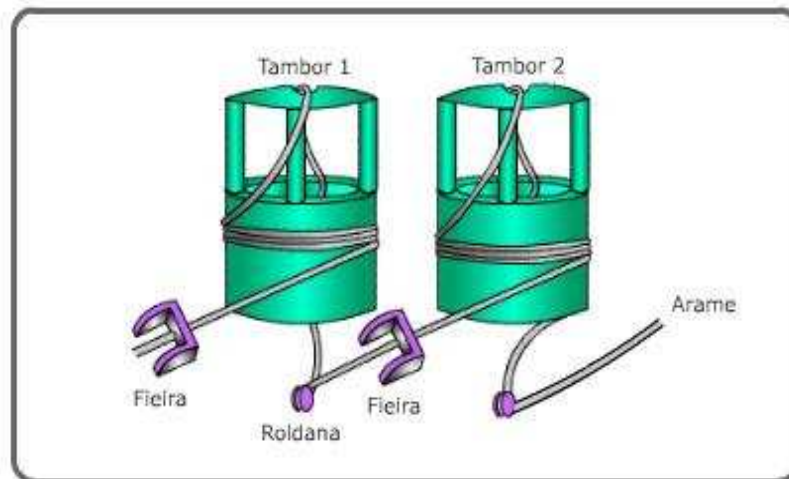


TREFILAÇÃO

TREFILADORAS DE TAMBOR

Classificam-se em três grupos:

- Simples (um só tambor) – Para arames grossos
- Duplas – Para arames médios
- Múltiplas (contínuas) – Para arames médios e finos

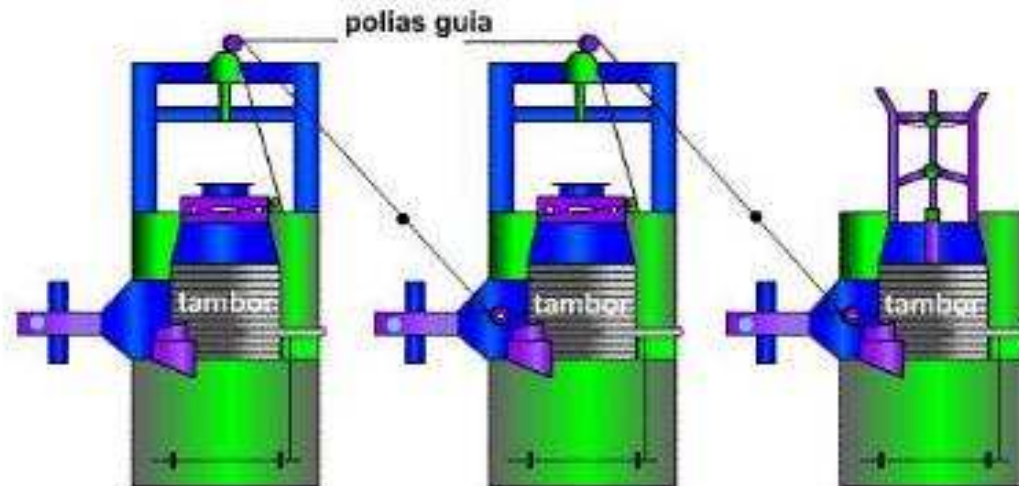


TREFILAÇÃO

Os elementos das máquinas de trefilação dependem das características de cada máquina. Existem entretanto componentes básicos que ususalmente sempre estão presentes nas trefiladoras. Eles são:

- Carretel alimentador
- Porta-fieira
- Garra ou mordça para puxar a primeira porção do arame
- Tambor para enrolar o arame trefilado

Máquina de estiramento de arame do Sistema Acumulativo



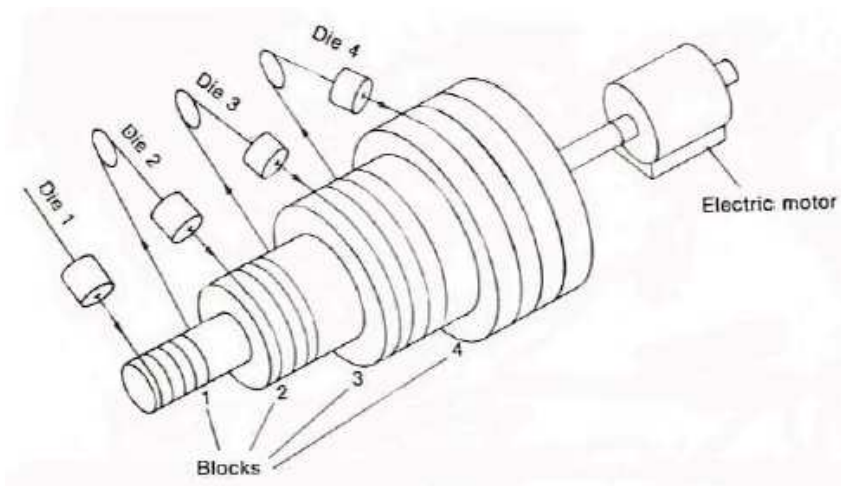
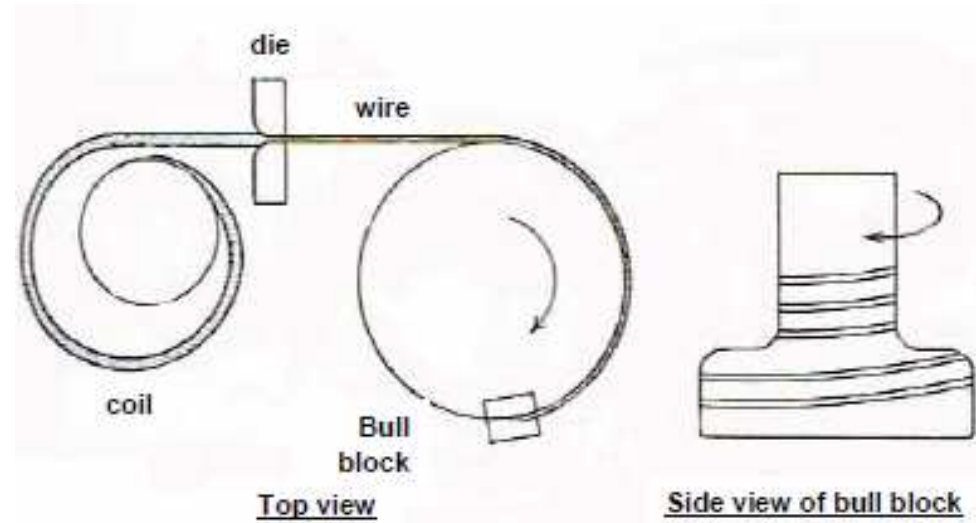
A ponta do arame, depois de sair de uma matriz, é enfiada num olhal no topo do tambor, passando por polia de guia e para a matriz seguinte.

TREFILAÇÃO

MÁQUINA DE TREFILAÇÃO
CONTINUA DE FIOS PESADOS



Máquina rotativas





TREFILAÇÃO

O PROCESSO PRODUTIVO

- Matéria-prima: Fio-máquina (vergalhão laminado a quente)
- Descarepação:
 - Mecânica (descascamento), dobramento e escovamento.
 - Química (decapagem): com HCl ou H₂SO₄ diluídos.
- Lavagem: em água corrente.
- Recobrimento: comumente por imersão em leite de cal Ca(OH)₂ a 100°C a fim de neutralizar resíduos de ácido, proteger a superfície do arame, e servir de suporte para o lubrificante de trefilação.
- Secagem (em estufa) - Também remove H₂ dissolvido na superfície do material.
- Trefilação - Primeiros passes a seco. Eventualmente: recobrimento com Cu ou Sn e trefilação a úmido.



TREFILAÇÃO

TRATAMENTO TÉRMICO DE FIOS TREFILADOS

- **RECOZIMENTO:**
Indicação: principalmente para arames de baixo carbono
Tipo: subcrítico, entre 550 a 650°C
Objetivo: remover efeitos do encruamento.
- **PATENTEAMENTO:**
Indicação: aços de médio a alto carbono ($C > 0,25\%$)
Tipo: aquecimento acima da temperatura crítica (região g) seguido de resfriamento controlado, ao ar ou em banho de chumbo mantido entre 450 e 550°C. A seguir, encruamento em trefila .
Objetivo: obter uma boa combinação de resistência e ductilidade, pela estrutura resultante de perlita fina ou bainita encruadas.

TREFILAÇÃO

PRODUTOS TREFILADOS:

FIOS DE AÇO



TREFILAÇÃO

PRODUTOS TREFILADOS:
CONDUTORES ELÉTRICOS



TREFILAÇÃO

PRODUTOS TREFILADOS:

TUBOS

MICROTUBOS





Parâmetros de Trefilação

■ Os mais importantes são:

- Quantidade de redução (r)

A = seção final

A_0 = seção inicial

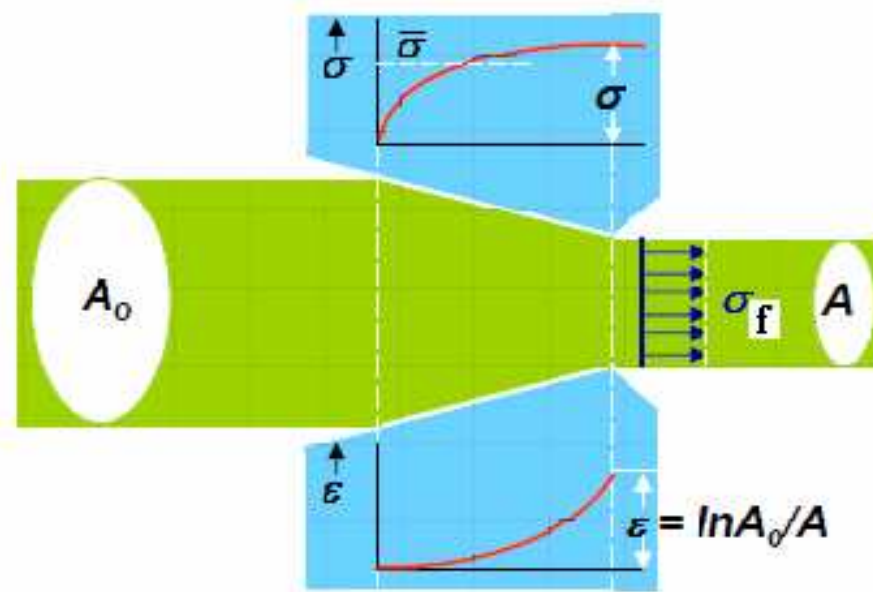
- semi-ângulo de trefilação (α)

- Lubrificação

- propriedades mecânicas do arame antes, durante e após redução

$$r = \left(1 - \frac{A}{A_0} \right) \times 100$$

Métodos analíticos de cálculo



Método da deformação homogênea

$$W = F.L = \sigma_f \text{vol} = \text{vol}.u$$

$$\sigma_f = u$$

$$\varepsilon = \ln \frac{A_0}{A} = \ln \frac{1}{1-r}$$

$$\sigma_f = \bar{Y} \cdot \ln \left(\frac{A_0}{A} \right)$$

ou

$$\sigma_f = \bar{Y} \cdot \ln \left(\frac{1}{1-r} \right)$$

σ_f = tensão frontal

\bar{Y} = tensão de escoamento média

r = redução

Seção circular

$$\sigma_f = \bar{Y} \cdot \ln \left(\frac{D_0}{D_f} \right)^2 = \bar{Y} \cdot 2 \ln \left(\frac{D_0}{D_f} \right)$$

$\sigma_f \leq \sigma_e$ do material já trefilado

Método dos Blocos

Fios:

$$\sigma_f = \bar{Y} \frac{(1+B)}{B} \left[1 - (1-r)^B \right]$$

ou

$$\sigma_f = \bar{Y} \frac{(1+B)}{B} \left[1 - \left(\frac{D_f}{D_0} \right)^{2B} \right]$$

$r = \text{redução}$

$B = \mu \cot g \alpha$

$\mu = \text{coeficiente de atrito}$



Cálculo de redução máxima

Considera-se: $\sigma_f = \bar{Y}$

$$\frac{\sigma_f}{\bar{Y}} = \frac{(1+B)}{B} \left[1 - (1-r)^B \right] = 1$$

Exercício: Obtenha a redução máxima possível para os seguintes casos:

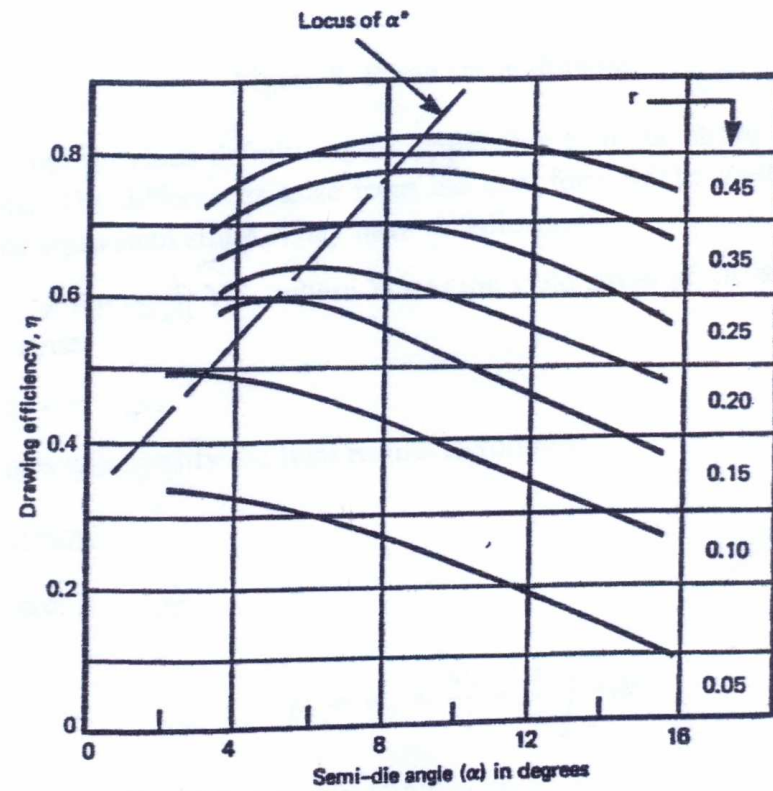
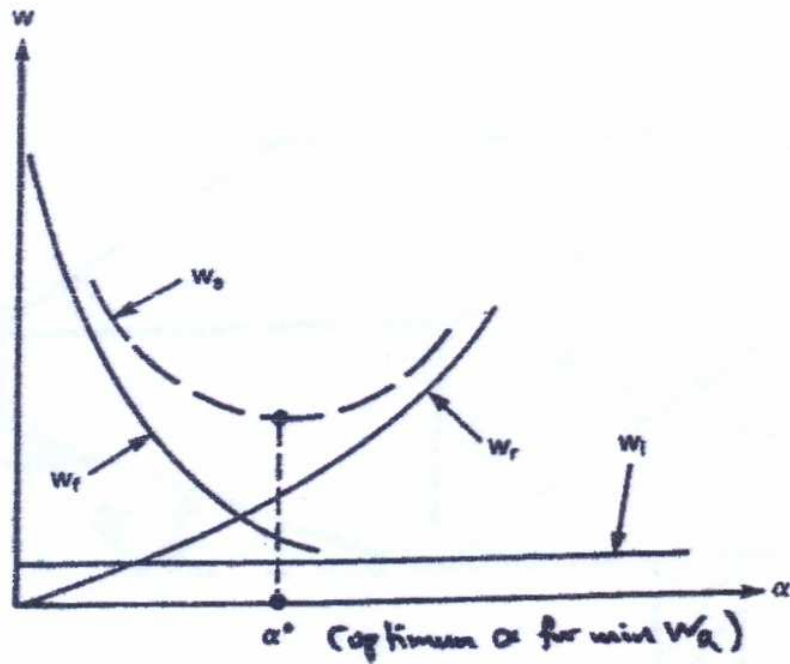
- a) Considerando somente o trabalho ideal (método da deformação homogênea);
- b) Admitindo $\mu = 0,05$ e $\alpha = 10^0$

Eficiência η

$$W_R = W_i + W_f + W_r$$

$$\eta = \frac{W_i}{W_R}$$

Normalmente $0,5 \leq \eta \leq 0,65$





Exemplo 1

- Um material com uma curva tensão-deformação real representada por $\bar{\sigma} = 10000\bar{\epsilon}^{0,5} \text{ psi}$ é usado em um processo de trefilação de fios. Pede-se:
 - (a) considerando somente a deformação homogênea calcule a força de trefilação para reduzir um fio desse material de 0,2 in para 0,15 in.
 - (b) Assumindo que o trabalho devido ao atrito mais o trabalho redundante corresponde a 40% do trabalho ideal de deformação, estime a força real para trefilar o fio do item (a); calcule a máxima redução em área possível num único passe;



Exemplo 2

- a) Determine a força de trefilação necessária para produzir 20% de redução num fio de aço inox com 10 mm de diâmetro. Dado: $\alpha = 6^\circ$ e $\mu = 0,09$; $\bar{\sigma} = 1300\bar{\epsilon}^{0,3} MPa$
- b) Se o fio é trefilado a uma velocidade de 0,5 m/s, determine a potência requerida para produzir a deformação.



Referências Adicionais

-Dieter, G.E. Mechanical metallurgy, 1988, SI metric edition, McGraw-Hill, ISBN 0-07-100406-8.

-Edwards, L. and Endean, M., Manufacturing with materials, 1990, Butterworth Heinemann, ISBN: 0-7506-2754-9.

-Beddoes, J. and Bibby M.J., Principles of metal manufacturing process, 1999, Arnold, ISBN: 0-470-35241-8.