

INFLUÊNCIA DO TORQUE NOS ROLOS DE CARGA NA ANÁLISE DOS
FATORES DE AMPLIFICAÇÃO DE TORQUE (TAF) EM ACIONAMENTO DE
LAMINADORES *

Linilson R. Padovese (1)

José Sotelo Jr. *PMC* (2)

Bibliotecas
de Mecânica, Naval e Oceânica

RESUMO

O trabalho apresenta os elementos de análise para a determinação dos fatores de amplificação de torque (TAF) de laminadores e a influência da função de forçamento na análise por simulação do acionamento do laminador.

É apresentado um modelo para a função de forçamento do torque, baseado na ação mecânica entre material e rolo de trabalho.

São considerados nas simulações com esse modelo a influência da velocidade relativa de aproximação do material e outros parâmetros relativos ao fenômeno.

Resultados comparativos do modelo proposto com modelos convencionais de torque utilizados nas simulações são apresentados.

(1) - Prof. Deptº Engº Mecânica - EPUSP, SP

(2) - Prof. Dr. Deptº Engº Mecânica - EPUSP, SP

* Trabalho apresentado ao IV Simpósio de Conformação Plástica dos Metais - São Paulo - Nov. 1990.

ABSTRACT

This work describes the main elements for the analysis to determine the Torque Amplification Factor (TAF) of rolling mills and the influence of the forcing function used in simulations of rolling mill drivers.

A model for the torque forcing function based on the mechanical action of the rolling material and working rolls is presented.

The influence of the relative velocity of approximation of the slab to the working rolls is considered in the simulations using the proposed model.

Results showing the outputs using the proposed model and conventional torque models are presented.

1. INTRODUÇÃO

Os laminadores ficam submetidos a cargas dinâmicas transitórias durante a fase inicial da "mordida" dos rolos de laminação no material a ser laminado.

Embora o intervalo de tempo a que os elementos mecânicos do acionamento ficam sujeitos seja relativamente pequeno, da ordem de dezenas de milisegundos, as magnitudes dos esforços são elevadas quando comparados a valores de regime. A relação entre o torque de pico no transitório e o de regime é conhecido como fator de amplificação de torque (TAF) e caracteriza o comportamento dinâmico do acionamento.

A análise dinâmica do acionamento durante a fase de projeto do conjunto é importante para se evitar elevados valores de TAF nos componentes durante a operação do equipamento. Isto pode ser feito pela simulação dinâmica do acionamento, modelado como um sistema a parâmetros concentrados com inércias, rigidez, folgas e amortecimentos, caracterizado por equações diferenciais não-lineares.

A simulação consiste na solução das equações do modelo para a função de forçamento de torque imposta nos rolos de laminação.

2. OS TAFs E O ACIONAMENTO DO LAMINADOR

Um acionamento típico de uma cadeia de laminação consiste de motor elétrico, redutores, acoplamentos, alongas, rolos de encosto e de carga conforme esquematizado na Figura 1.

O sistema trabalhando em vazio recebe o material a ser laminado, provocando um torque nos rolos de carga, cujo efeito é o de propagação de uma onda pelos componentes do acionamento. Em função dos parâmetros do conjunto que constituem um sistema vibratório torcional, ocorrerá um transitório de torque em cada seção do equipamento, conforme a Figura 2.

A relação entre o torque de pico em regime transitório e o torque de processamento do material laminado (TAF) fica definida para cada seção do equipamento.

Na análise do acionamento por simulação tem sido adotada funções de forçamento nos rolos de laminação que no caso limite é um degrau de amplitude igual ao torque de regime, mostrado na Figura 3, [1].

Esta função, embora simples, não reflete o processo que ocorre na fase inicial da "mordida" nem as condições de operação do equipamento. Além disso ela influencia os TAFs nas várias seções do acionamento como será mostrado adiante.

Isto pode explicar em alguns casos, discrepâncias de valores medidos em campo, com TAFs elevados, e não observáveis nas simulações [2].

3. OS TAFs E A FUNÇÃO DE FORÇAMENTO

A Figura 4 mostra possíveis funções de forçamento usadas nas simulações para teste da influência nos TAFs nas simulações de transitórios de torque.

No caso de excitação pela função (a) da Figura 4, observa-se na Figura 5 o efeito no comportamento do TAF causado pela inclinação da rampa, parametrizado pela folga no sistema.

Busca-se aqui, portanto, um modelo mais realista para representar a função de forçamento e analisar efeitos como o sincronismo entre velocidade de aproximação do material e a velocidade periférica dos rolos de trabalho.

4. MODELO FÍSICO PARA A FUNÇÃO DE FORÇAMENTO

O modelo da função que descreve a entrada do material é apresentado a seguir [3], em que algumas hipóteses básicas são assumidas como: bidimensionalidade de rolos com superfícies cilíndricas perfeitas, rotação constante durante o transiente e material laminado plano.

Considerando as forças no contato material-rolo de carga nas suas componentes normal e tangencial (Figura 6), tem-se:

$$m\ddot{x} = 2 (T_x - N_x) \quad (1)$$

$$\text{onde } T_x = r \int_0^{\alpha} B \tau \cos(\alpha_0 - \alpha x) d\alpha x \quad (2)$$

$$N_x = r \int_0^{\alpha} B p \sin(\alpha_0 - \alpha x) d\alpha x \quad (3)$$

sendo,

- α_0 - ângulo de ataque
- α - ângulo arco de contato
- B - largura cilindro
- r - raio do rolo
- p - pressão de laminação
- τ - tensão tangencial

O torque em cada rolo pode ser obtido pela integração das equações (1, 2, 3) através da expressão:

$$M = \mu r^2 B \int_0^{\alpha} p d\alpha x \quad (4)$$

Há necessidade de se estabelecer neste ponto qual deva ser a pressão de laminação ao longo do arco de contato e a relação entre τ e p .

O modelo que assumimos aqui é de pressão constante e $\tau = \mu p$ entre rolo e material, considerando que muda de sentido na seção neutra (cujo ângulo é γ_m).

No caso de velocidade de aproximação menor do que a de regime, para a soma de escorregamento à ré, tem-se:

$$T_{xr} = -B r \mu p (\sin(\alpha_0 - \alpha) - \sin \alpha_0) \quad (5)$$

para a zona de escorregamento à vante:

$$T_{xv} = -B r \mu p (\sin(\alpha_0 - \alpha) - \sin(\alpha_0 - \gamma_m)) \quad (6)$$

e ao longo de todo o arco de contato:

$$N_x = -B r p (-\cos(\alpha_0 - \alpha) + \cos \alpha_0) \quad (7)$$

Caso a velocidade de aproximação seja maior do que a de regime ela será desacelerada, tendo inicialmente uma zona de escorregamento à vante.

A zona neutra é determinada pela velocidade relativa nula entre o cilindro e o material.

5. EFEITO DA VELOCIDADE DE APROXIMAÇÃO E DA MASSA EFETIVA

A Figura 7 mostra os resultados de simulação onde é analisado o efeito de diferentes velocidades de aproximação do material na função de forçamento. O modelo do item 4 deste trabalho (GR1) é comparado com um modelo mais elaborado baseado em distribuições de pressão obtidas pela equação de Von Kármán [3].

As velocidades de aproximação maiores apresentam picos de torque inferiores porém com atrasos menores. A inclinação da rampa inicial é mais acentuada para velocidades menores.

No caso de laminação com vários passes, o termo de massa m na equação (1) deve representar a massa efetiva do material no processo de laminação.

Este efeito é verificado com os valores de massa e velocidade da Tabela 1 e 2 e sumarizados na Figura 8.

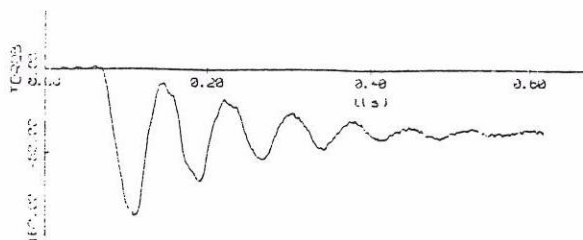


Figura 2 - Transitório dotorque típico medido numa seção do laminador

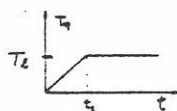


Figura 3 - Torque de excitação

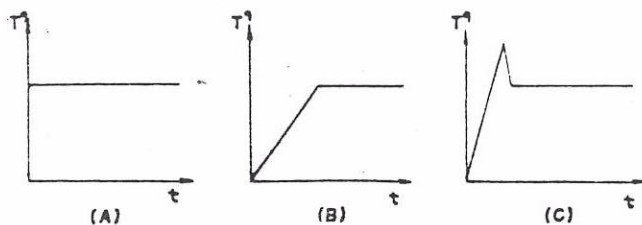


Figura 4 - Tipos de torques de carregamentos:
(a) degrau, (b) rampa, (c) pulso,

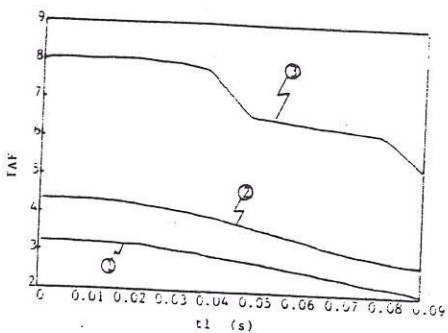


Figura 5 - Resultados das simulações. Curva 1: sem folgas; Curva 2: folgas de 0.5°; Curva 3: folgas de 4°.

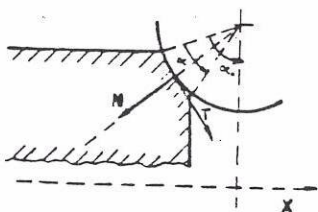


Figura 6.1 - Forças de Contato

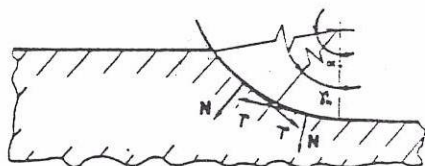


Figura 6.3 - Zona Neutra

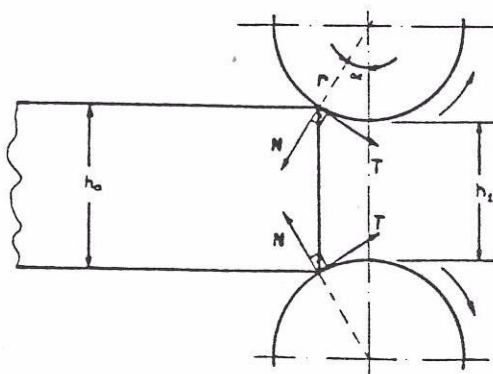


Figura 6.2 - Forças atuantes no metal no instante da mordida.

Nesta figura observa-se a insuficiência do modelo tradicionalmente empregado de função de forçamento do tipo degrau na análise dos TAFs.

6. CONCLUSÃO

Os resultados deste trabalho mostram a dependência dos TAFs obtidos por análise dinâmica em simulações da função de forçamento e a necessidade de se incorporar modelos mais elaborados da "mordida" no torque de carga, que dependem de fatores geométricos, do processo, da operação e estado do equipamento.

Neste caso infelizmente medidas diretas em campo para avaliação do torque transitório de carga são difíceis de realização e a análise teórica é imprescindível.

BIBLIOGRAFIA

- [1] - MONACO, G. - Dynamics of rolling mills: mathematical models and experimental results. iron and Steel Eng. - Pittsburgh 54(12) - Dec. 1977.
- [2] - SOTELO JR., J. - Relatório n° 17417 - IPT - SP, São Paulo - 1982.
- [3] - PADOVESE, L.R. - Amplificações de Torque em cadeiras de laminação. Dissertação de mestrado, EPUSP - São Paulo, 1989.

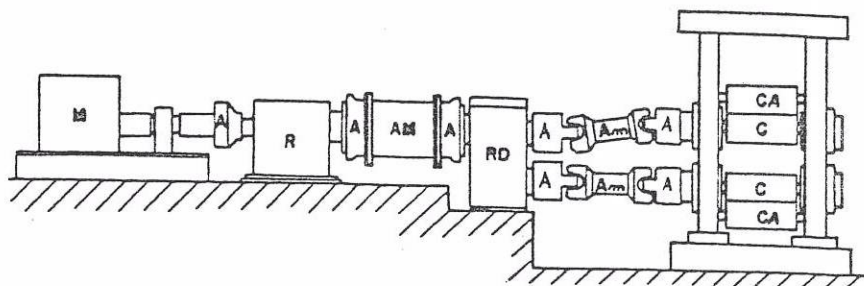


Figura 1.1 - Cadeira de laminação típica, onde M - motor elétrico
R - redutor, RD - Redutor-distribuidor, A - Acoplamentos, C - cilindros, AM - Alonga Maior, Am - Alongas menores, CA - cilindros de apoio.

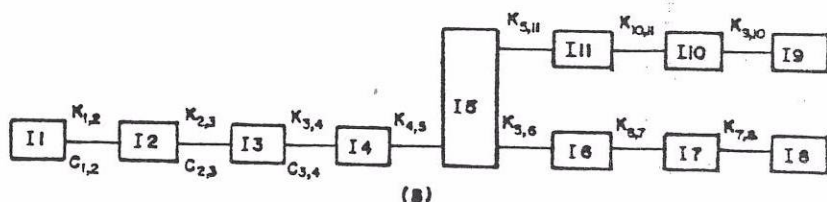
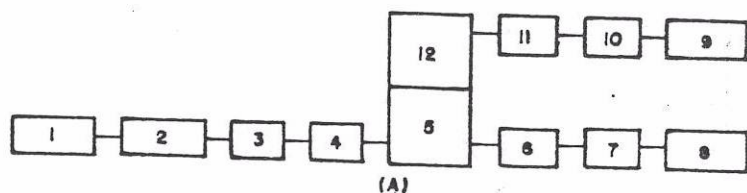


Figura 1.2 - Modelo do acionamento a parâmetros concentrados.

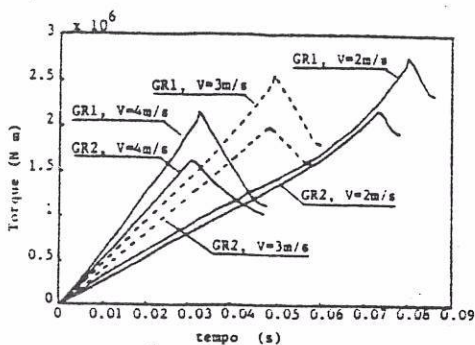


Figura 7 - Comparação dos torques gerados num cilindro de laminação durante a entrada da placa para velocidades iniciais de 2 m/s, 3 m/s e 4 m/s, determinados pelos modelos GR1 e GR2.

Tabela 1: Velocidades de aproximação utilizadas nas simulações

N.º da velocidade	Velocidade inicial (m/s)
1	1
2	1.4
3	1.7
4	2.3
5	2.7
6	3

Tabela 2: Casos de massas da placa consideradas nas simulações

N.º da massa	massa (kg)
1	8000
2	12000
3	24000

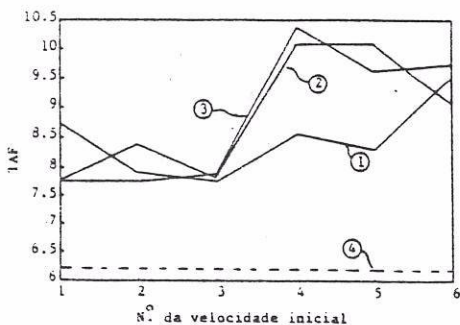


Figura 8 - TAF no acionamento para as velocidades de aproximação dadas pela Tab. 1. A numeração das curvas de 1 a 3 correspondem aos casos de massa da Tab. 2. A curva 4 corresponde ao TAF gerado por uma função de excitação do tipo degrau.