

1º Congresso Brasileiro de Redes Neurais

Escola Federal de Engenharia de Itajubá
Itajubá, 24 a 27 de outubro de 1994

DETERMINAÇÃO DA ABERTURA DOS CILINDROS NO PROCESSO DE LAMINAÇÃO, UTILIZANDO REDES NEURONAIS

C.D.M. Pataro†, P. Resende† e H. Helman‡

†□ Departamento de engenharia Eletrônica da UFMG, Caixa Postal 1294, Belo Horizonte, MG, 30160-030.

‡ Departamento de engenharia Metalúrgica da UFMG, Caixa Postal 1294, Belo Horizonte, MG, 30160-030.

RESUMO

Neste trabalho é proposto um método para o cálculo da abertura entre cilindros de um laminador, utilizando redes neuronais "backpropagation". O treinamento da rede é desenvolvido a partir de dados obtidos de laminação de amostras do material a ser utilizado, considerando-se as deformações já ocorridas (ou não) e a espessura objetivada, para cada abertura entre os cilindros. Os resultados do método apresentado são comparados àqueles provenientes da utilização de modelos teóricos.

1- INTRODUÇÃO

A laminação consiste na passagem de um material entre dois cilindros que giram de forma a reduzir a espessura do referido material. Por este processo podem ser obtidos produtos planos (chapas, tira, etc) e não planos (barras, cantoneiras, trilhos, etc). Neste trabalho é abordada a laminação a frio de planos, onde os cilindros são lisos e normalmente o cilindro inferior não tem movimento vertical, sendo o ajuste da

abertura entre eles, efetuado pelo deslocamento do superior [5].

Quando uma chapa é laminada, há uma deformação elástica em toda a estrutura do laminador, fazendo com que a abertura entre os cilindros seja diferente da espessura objetivada do material para aquele passe. Referindo-se à figura 1, se a rigidez do laminador fosse infinita, a abertura entre os cilindros, g , seria igual à espessura de saída

da chapa, h . Como a estrutura do laminador se deforma, a chapa sai com uma espessura igual a:

$$h = g + s$$

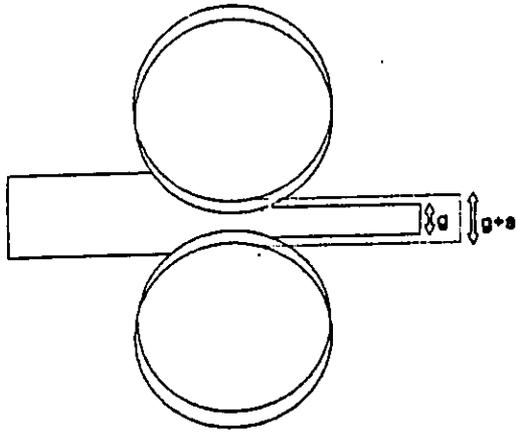


Figura 1 - Deformação da estrutura do laminador.

onde s é a deformação elástica do laminador.

A figura 2 mostra a forma característica da curva carga de laminação x deslocamento da estrutura do laminador. A inclinação da porção linear desta curva é chamada Módulo de Rigidez do Laminador, M . A não linearidade apresentada no início dela é explicada pela eliminação de folgas existentes nos componentes mecânicos e pela redistribuição de cargas. Nos laminadores industriais esta parte não linear é, geralmente, desprezada por não se trabalhar com cargas de laminação desta ordem de grandeza. Assim, a abertura se relaciona com a carga de laminação por meio da seguinte equação [5],[10],[11].

$$g = h - P/M$$

onde g, h, M, P denotam respectivamente a abertura entre cilindros, espessura objetivada, módulo de rigidez do laminador e a carga de laminação

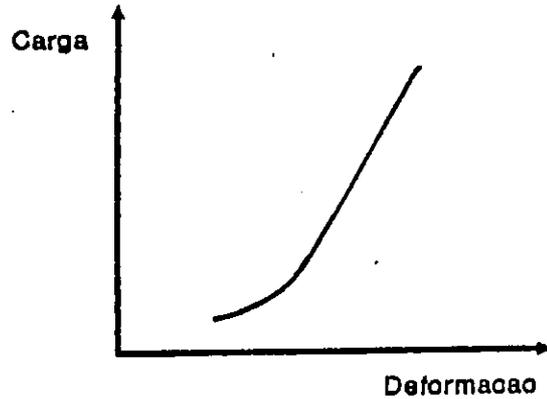


Figura 2 - Variação da deformação do laminador com a carga de laminação.

Na determinação da espessura de saída de uma chapa a ser laminada, é comum a utilização de modelos teóricos para calcular a carga de laminação e, através dela, a abertura entre os cilindros, para cada condição de material e operação. Estas condições envolvem variáveis tais como: curva de fluxo, espessura final objetivada, espessura de entrada da chapa, coeficiente de atrito, carga de laminação, deformação elástica do laminador e recuperação elástica da chapa, dentre outras. Algumas destas condições são de difícil determinação, como o coeficiente de atrito, por exemplo.

Ao se trabalhar com modelos teóricos, consideração especial deve ser dada à deformação dos cilindros, pois devido às elevadas pressões que se desenvolvem na laminação a frio, o raio destes deixa de ser circular, sofrendo uma variação de acordo com a deformação do arco de contato. Esta deformação adquire um perfil consistente com a distribuição de pressões existente na

interface chapa-cilindro[7]. Hitchcock propôs uma solução que considera a distribuição de pressões no arco de contato como elíptica (figura 3) e demonstrou que, após a deformação, o arco de contato adquire um perfil circular, com um raio $R' > R$. Os modelos levam em consideração o raio deformado, R' [5].

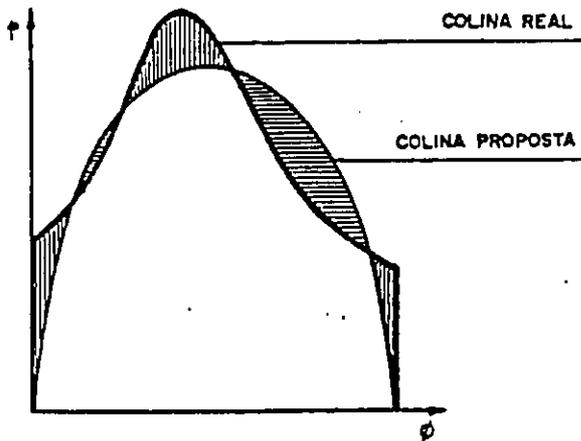


Figura 3 - Distribuição de pressão hipotética atuante nos cilindros.

Além de dados referentes ao comportamento do laminador, os modelos teóricos necessitam ainda de dados a respeito do comportamento mecânico do material. Trata-se da chamada curva de fluxo do material, que tem um perfil semelhante àquele mostrado na figura 4.

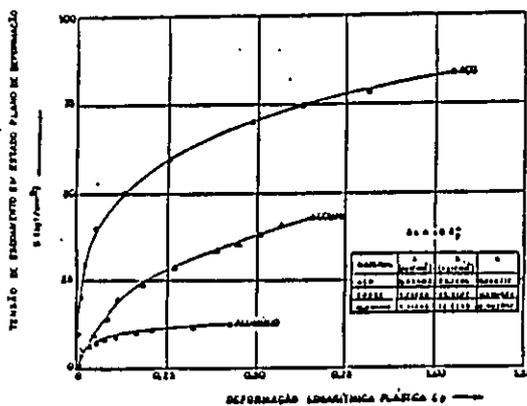


Figura 4 - Perfis típicos de curvas de fluxo.

Pelo que ficou exposto acima, é de fundamental importância o conhecimento da carga de laminação e do módulo de rigidez do laminador para o correto posicionamento dos cilindros. A determinação de M é feita experimentalmente, enquanto a carga de laminação é calculada por meio de modelos. Atualmente vários trabalhos utilizam redes neuronais "backpropagation" para implementar funções multidimensionais não-lineares[6,8]. O emprego de redes neuronais em laminação tem se mostrado adequado para o cálculo de aberturas entre cilindros de laminadores, levando em consideração a carga calculada por meio de modelos teóricos e as larguras das chapas a laminar [10]. Neste trabalho será feita uma generalização de [10], onde se faz o treinamento de uma rede neuronal de modo que ela aprenda o comportamento de todo o conjunto: laminador, material, condições de laminação, etc.

Uma vez obtidos os pesos, w_{ij} , por meio do treinamento da rede, o tempo de execução dos cálculos para se obter as saídas, o_{pk} , se resume ao tempo de resolução das equações:

$$i_{pj} = f_j^h(net_{pj}^h)$$

$$o_{pk} = f_k^o(net_{pk}^o)$$

onde, neste trabalho, será empregada a função:

$$f(net_i) = \frac{1}{1 + \exp(-net_i)}$$

O tempo de resolução destas equações, em relação ao de solução de modelos teóricos, é consideravelmente menor.

2 - MODELOS TEÓRICOS.

Existem diversos modelos teóricos destinados a avaliar esforços relacionados com o processo de laminação de produtos planos[3,9]. Neste trabalho serão feitas experiências para um mesmo material e mesmas condições de laminação, utilizando o modelo de von Karman, ampliado e instrumentado por Alexander[2]

3 - MÉTODO EMPREGANDO REDE NEURONAL

O método empregado utilizou, para treinamento da rede neuronal, seis laminações de duas amostras do material a ser laminado. A Tabela 1 mostra como foram efetuadas estas laminações, de forma a cobrir a faixa de deformações desejada. Estas amostras devem corresponder ao material na forma como este será laminado, ou seja, devem ser da mesma largura, espessura e condição inicial.

Para o esquema de treinamento proposto, onde foi empregado "backpropagation" [4,6,8,10], as entradas correspondem à deformação logarítmica pré-existente e a espessura de saída da chapa. A saída da rede corresponde à abertura, g , entre os cilindros. Referindo-se à Tabela 1, a primeira chapa é laminada a partir de 0% de deformação, saindo com uma deformação logarítmica de 6%. Novamente a mesma chapa é laminada, ficando então com uma deformação acumulada de 27%, sendo laminada pela terceira vez a partir deste ponto. A segunda chapa sofre uma deformação de 24% no primeiro passe; a partir deste valor ela sofre mais 26% de deformação, sendo laminada pela terceira vez, partindo de 47%. A deformação final deste material amostrado foi de 94%. Embora a carga de laminação seja medida para cada passe, ela não participa do treinamento, pois o que interessa para a rede

é determinar a abertura necessária para obter cada espessura objetivada. Empregando os dados mostrados acima, a rede neuronal aprende a calcular a abertura necessária para qualquer valor de espessura objetivada, dentro da faixa de treinamento.

Tabela 1 - Dados empregados no treinamento.

Laminações	Deformação Acumulada (%)	Espessura Obtida (mm)	Abertura (mm)
chapa 1	0	2,83	2,63
chapa 1	06	2,28	1,98
chapa 1	27	1,85	1,54
chapa 2	0	2,35	1,98
chapa 2	24	1,87	1,54
chapa 2	47	1,14	0,67

A carga de laminação não participa do treinamento da rede neuronal, mas deve ser levada em consideração na fase de aprendizagem, a fim de não exceder a capacidade do laminador. Assim, por meio das cargas obtidas em cada laminação é feita uma previsão aproximada da próxima carga. Para tanto, pode-se empregar um método de extrapolação. Neste trabalho foi empregado o método de Richardson [1], que se mostrou apropriado. Caso não exista nenhuma limitação quanto à carga de laminação na faixa de deformações para a qual se pretende treinar o sistema, esta providência é dispensável.

4 - RESULTADOS OBTIDOS.

4.1 - Modelo teórico.

Como material para exemplo, utilizou-se alumínio. De acordo com os resultados dos cálculos de carga de laminação obtidos através do modelo teórico e do módulo de rigidez do laminador empregado, foram feitas

algumas laminações com o material, medindo-se, para cada espessura objetivada, a espessura de saída da chapa. Estes valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 -Resultado de laminações para o modelo teórico.

Abertura Calculada (mm)	Espessura Objetivada (mm)	Espessura Obtida (mm)	Erro (%)
2,37	2,8	2,69	4,1
2,23	2,56	2,48	3,2
1,37	2,0	1,8	1,1
1,1	1,6	1,45	10,3

4.2 - Redes neuronais.

As laminações descritas na Tabela 1 correspondem a amostras retiradas do mesmo material empregado para o experimento com modelo teórico. Na Tabela 3 podem ser vistos os resultados de algumas laminações utilizando a rede para calcular a abertura entre cilindros em situações dentro da faixa de treinamento.

Tabela 3 - Resultados de laminações após treinamento.

Abertura Calculada (mm)	Espessura Objetivada (mm)	Espessura Obtida (mm)	Erro (%)
2,6	2,8	2,78	0,7
2,4	2,6	2,58	0,8
1,8	2,0	2,07	3,4
1,12	1,6	1,58	1,0

6 - CONCLUSÕES.

O método utilizando redes neuronais se mostrou adequado para o cálculo de aberturas no processo de laminação, tornando o

procedimento independentes do conhecimento de variáveis mecânicas e metalúrgicas do processo tais como atrito, módulo de rigidez do laminador, curva de fluxo do material, etc. A aplicação de redes neuronais se mostrou também eficiente no que se refere aos tempos de cálculo, que são reduzidos em relação aos tempos gastos com a utilização de modelos teóricos.

7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

[1] - ACTON, F. Numerical Methods that Work., New York:Harper & How, 19970

[2]- ALEXANDER, J.M. On the Theory of Rolling. Proc. R.Soc. Lond. A.326, 535-563 (1972)

[3] - BLAND, D.R. and FORD,H., "The Calculation of Roll Force and Torque in Cold Strip Rolling with Tensions", Proc. Instn. Engrs., Vol. 159, pp. 144-153. 1948.

[4] - FREEMAN, J.A. & SKAPURA, D.M. Neural Networks. Algorithms, Applications, and Techniques. Addison-Wesley Publishing Company, 1991.

[5] - HELMAN, H. & CETLIN, P.R. Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais. Guanabara Dois. Rio de Janeiro. 1983.

[6] - HUNT, K.J.; SBARBAR, D.; ZBIKOWSK, R. and GAWTHROP, P.J."Neural Networks for Systems"- A Survey. Automática, Vol. 28, no 6, pp. 1083 - 1112, 1992.

[7] - JORTNER, D.;OSTERE, J.F. and ZOROWSKI, C.F., ãn Analysis of Cold Strip Rolling", Int. J. Mech. Sci., Vol. 2, pp. 179-194,1960.

[8] - OLIVEIRA, J.B., COTRIM, D.C. & ALVES, J.C., "Redes Neurais - Backpropagation e Kohonen- Fundamentos e Aplicações", III Seminário de Automação na Indústria, Volta Redonda, RJ, pp. 1-18, 1993.

[9] - OROWAN E., "The Calculation of Roll Pressure in Hot and Cold Flat Rolling" , Inst. Mech. Engrs. (London) (Journal and Proceedings), Vol. 150, pp. 140-167, London, 1942.

[10] - SCHMIDT, W. G.; PATARO, C.D.M.; RESENDE, P. & HELMAN, H., "Posicionamento Automático de Cilindros em Laminadores Empregando Treinamento com Redes Neurais", III Seminário de Automação na Indústria, Volta Redonda, RJ, pp. 19-26, 1993.

[11] - SUSUKI, H. & ATAKA, M. "Study on Rolling Mill Moduli, Effects of Rolling Mill Moduli, and Optimum Arrangement of Mill Moduli for Tandem Strip Mill". Report of the Institute of Industrial Science the University of Tokyo, Vol. 25. número 1, December, 1975.