

DETERMINAÇÃO DOS PARAMETROS OPERACIONAIS E TORQUES R.M.S.
DO LAMINADOR ESBOÇADOR R2 DA COSIPA (1)

Antonio Augusto Gorni (2)

Carlos Augusto S. de Oliveira (3)

RESUMO

Foram determinados neste trabalho os valores de carga, torque e potência instantâneas e médias, bem como torque R.M.S., relativos a Cadeira Esboçadora R2 do Laminador de Tiras a Quente da COSIPA, a partir do registro das variáveis elétricas dos motores. Foi verificado que a carga instantânea é um parâmetro crítico, uma vez que apresentou valores acima da capacidade nominal da cadeira para quase todos os esquemas de passe. Constatou-se também que a influência da temperatura de laminação é muito grande, e aparentemente se sobrepõe à influência da composição química do material. A análise dos valores de torque R.M.S. detectou a existência de esquemas de passe que sobrecarregavam o laminador ao lado de outros que apresentam alto grau de sub-utilização.

-
- (1) Contribuição Técnica a ser apresentada no Seminário sobre Laminação; Rio de Janeiro RJ; Setembro de 1988.
 - (2) Membro da ABM. Eng. de Pesquisa do Núcleo de Pesquisas Tecnológicas da COSIPA, Cubatão SP.
 - (3) Membro da ABM. Eng. de Pesquisa, M.Sc., do Núcleo de Pesquisas Tecnológicas da COSIPA, Cubatão SP.

1. INTRODUÇÃO

Tradicionalmente a fase de acabamento da Laminação de Tiras a Quente é efetuada com maior cuidado do que o esboçamento, pois tal etapa do processo define as propriedades metalúrgicas da tira. Tal necessidade de controle dotou os trens acabadores com maior nível de instrumentação e automação do que as cadeiras esboçadoras, e assim a determinação e controle dos parâmetros de processo é relativamente fácil.

Entretanto, o aparecimento dos aços microligados e bifásicos aumentou o nível de solicitação mecânica e elétrica dos Laminadores de Tiras a Quente, incluindo-se aí as Cadeiras Esboçadoras. Logo, a determinação dos esforços na laminação destes materiais tornou-se necessária, a fim de se determinar eventual sobrecarga do equipamento, as quais poderão concorrer para a diminuição da vida útil dos componentes do laminador, onerando sua manutenção. Tal fato assume maior importância quando se observa que os Laminadores de Tiras a Quente de Primeira e Segunda Geração não foram especificamente projetados para laminar tais aços.

O objetivo deste trabalho é determinar os valores instantâneos e médios da Carga, Torque e Potência, bem como Torque R.M.S., relativos à Laminação de Esboçamento na Cadeira R2 do Laminador de Tiras a Quente da COSIPA para todos os tipos de aço e placas processados neste equipamento. Devido à falta de Célula de Carga na Cadeira foi desenvolvido um método de cálculo dos diversos parâmetros de laminação a partir dos dados registrados de Velocidade dos Cilindros, Corrente e Voltagem dos Motores Principais.

2. CARACTERÍSTICAS DO LAMINADOR ESBOÇADOR R2

A Cadeira Esboçadora R2 existente no LTQ da COSIPA é do tipo quádruo reversível com as seguintes características (1):

- Motores:

- . Fabricante: Westinghouse
- . Tipo: J.L. Shunt
- . Potência:
 - Nominal: 2 x 2600 kW
 - Pico: 2 x 5850 kW
- . Torque:
 - Nominal: 2 x 55 t.m
 - Pico: 2 x 125 t.m
- . Corrente:
 - Nominal: 2 x 4,05 kA
 - Pico: 2 x 9,10 kA
- . Voltagem: 500/700 V
- . Velocidade: 0-50-100 rpm
- . Transmissão: "Direct Drive"

- Cadeira

- . Fabricante: SECIM
- . Cilindros:
 - Diâmetro:
 - . Trabalho: 940/866 mm
 - . Encosto: 1380/1300 mm
 - Comprimento:
 - . Trabalho: 2720 mm
 - . Encosto : 2746 mm
- . Carga de Laminação Máxima: 2000 t

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O registro dos dados de velocidade dos cilindros, corrente e voltagem de um dos motores do Laminador Esboçador R2 foi efetuado através de um registrador gráfico Gould 260, sendo realizada uma amostragem média de 30 placas para cada grupo discrí-

minado na Tabela I. Nesta ocasião este equipamento estava trabalhando em conjunto com a Cadeira Esboçadora R1, segundo o esquema operacional descrito em (10). Foram também registradas as temperaturas das placas após a laminação esboçadora, através do pirômetro ótico existente na Mesa de Espera do Trem Acabador do LTQ. Infelizmente o pirômetro do Laminador Esboçador não se encontrava em condições operacionais quando da realização deste trabalho, e por isso não pôde ser utilizado.

Os dados assim obtidos foram registrados em cartas, e decodificados manualmente para que pudessem ser processados em um microcomputador ITAUTEC I-7000. Os dados de velocidade dos cilindros, corrente e voltagem do motor foram coletados passe a passe a cada 4 décimos de segundo. A fim de acelerar a decodificação e digitação da grande quantidade de dados assim gerada foi implantada uma subrotina "driver" para facilitar a entrada de dados.

A partir dos dados instantâneos assim obtidos foram calculados os valores instantâneos de potência, torque e carga de laminação. As fórmulas utilizadas foram (2,3,4):

- Potência de Laminação P, em kW:

$$P = 2 \cdot V \cdot i \cdot n - K \quad (1)$$

onde: V = Voltagem (V);
i = Corrente (kA);
n = Rendimento Térmico do Motor;
K = Perdas Mecânicas por Atrito (kW).

O rendimento do motor foi estimado em 90%. As perdas por atrito foram determinadas com o motor girando em vazio, e seu valor, determinado pelas cartas, é de 320 kW.

- Torque de Laminação T, em t.m:

$$T = \frac{P \cdot k}{v} \quad (2)$$

onde: v = Velocidade (rpm).
 k = Constante de Conversão: 0,95857

- Carga de Laminação C , em toneladas:

$$C = \frac{T}{2 \cdot a \sqrt{R \cdot dh}} \quad (3)$$

onde: a = Constante do Braço de Alavanca;
 R = Raio do Cilindro de Trabalho (m);
 dh = Abertura dos Cilindros (m).

Considerou-se $\langle a \rangle$ igual a 0,50 e R igual a 0,452.

A partir dos parâmetros instantâneos foram calculados os valores de potência, torque e carga média por passe para cada placa, efetuando-se uma média quadrática ponderada.

Já o cálculo dos Torques R.M.S. foi efetuado coletando-se valores das variáveis elétricas dos motores principais sob intervalos de tempo regulares ao longo do processamento, incluindo-se aí os períodos de repouso entre passes e entre placas. Tal procedimento, embora viável (5,6), não é o mais preciso, e teve de ser utilizado devido à falta de instrumentação adequada. A partir de tais variáveis coletadas determinou-se o torque instantâneo de acordo com a fórmula (2). A partir de um conjunto de valores de torque instantâneo medidos ao longo de um período suficientemente longo pode-se determinar o torque RMS (2) através da equação:

$$T_{rms} = \sqrt{\frac{\int_n T^2(t) dt}{t_{total}}} \quad (4)$$

onde: T_n = Torque Instantâneo (t.m);

t = tempo (s).

Tal procedimento de cálculo foi implantado num microcomputador ITAUTEC I-7000; a integração foi efetuada através do método de Simpson (7).

Uma vez terminados todos os levantamentos os resultados foram agrupados pela resistência do aço, dimensões das placas e esquemas de passe, conforme mostra a tabela I. Foram calculados os valores instantâneos e os valores médios de potência, torque e carga de laminação passe a passe, bem como os torques R.M.S.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao se analisar os histogramas dos parâmetros instantâneos verificou-se que 17 dos 21 esquemas estudados apresentaram valores de carga instantânea acima do valor nominal de carga máxima da Cadeira Esboçadora R2. Nos casos mais críticos a sobrecarga atingiu valores da ordem de 3000 t, ou seja, 50% maiores que o valor máximo de projeto para o equipamento. Isto indica que a Cadeira Esboçadora está sofrendo sobrecarga instantânea, o que pode reduzir a vida útil de diversos componentes.

Quanto aos valores instantâneos de torque verificou-se que apenas alguns esquemas de passe apresentaram valores de tor-

que acima do máximo nominal, em uma proporção muito pequena, da ordem de 1 a 4%. Em nenhum esquema de passes verificou-se valores de potência instantânea acima do valor nominal da Cadeira Esboçadora R2.

A tabela II mostra valores típicos de carga, torque e potência por passe para um mesmo tipo de placa mas com tipos de aço diferentes quanto à resistência mecânica.

Verificou-se também que a maioria dos valores de carga média está compatível com a capacidade do laminador, com exceção de placas largas de aços de alta resistência, as quais apresentaram valores de até 2500 t em alguns passes. Tal valor está 25% acima do valor de carga máxima especificada para a Cadeira Esboçadora R2.

Comprovou-se durante o levantamento o fato de que a temperatura de laminação exerce grande influência na resistência a deformação do material, o que é comprovado por (4,5,8). De fato, pode-se observar na tabela II que em alguns casos ocorreram valores de carga, torque e potência inversamente proporcionais a resistência do aço, quando o normal seria exatamente o contrário. Ao se verificar as temperaturas da mesa de espera obtida para estas placas verificou-se que as temperaturas de laminação eram superiores para o material de maior resistência, conforme mostra a tabela III. Esta maior temperatura de laminação para aços de maior resistência pode ter originado menores valores de carga, torque e potência do que os observados para aços de menor resistência. Além disso, no caso específico dos aços de Alta Resistência verificou-se que a velocidade de laminação era menor que nos demais materiais, o que também contribuiu para reduzir

a carga, torque e potência de laminação.

A análise global dos valores de carga, torque e potência para os diversos esquemas de passe revelou que na maioria dos casos a carga e potência crescem no decorrer da laminação, enquanto que o torque se mantém relativamente constante. Tal fato é normal na laminação esboçadora (9). No tocante a carga e potência os baixos valores iniciais estão ligados à limitação na redução do material devido às condições de mordida (5,9), enquanto que nos passes finais o material se encontra mais frio, exigindo maior solicitação do laminador, além de se empregar maior velocidade de laminação.

Quanto ao torque de laminação, uma análise da fórmula (2) mostra que se por um lado a carga aumenta no decorrer da laminação por outro a abertura dos cilindros d_h diminui. Essas duas variações tendem a se anular, ou minimizar as variações dos valores do torque.

Foi calculado o torque R.M.S. global, levando-se em consideração o tempo total de laminação da placa (tempo efetivo de laminação mais o tempo em vazio entre passes) mais o tempo de intervalo entre placas. Tais resultados podem ser vistos na tabela IV. Pode-se observar que cerca de metade dos valores determinados estão acima do torque nominal dos motores da Cadeira Esboçadora R2, que é da ordem de 110 t.m.

Tais dados permitem verificar que também o torque R.M.S. tende a ser diretamente proporcional a resistência mecânica do aço. Pode-se observar também que com a diminuição do número de passes o torque R.M.S. tende a aumentar pois de acordo com a tabela V ocorre diminuição do tempo de laminação, o que acarreta

aumento da solicitação dos motores do laminador.

O levantamento de tempos da tabela V revela que o intervalo de tempo entre placas em certos casos pode ser quase igual ao dobro do tempo de laminação da placa. Há também grande variação no tempo entre placas (ritmo de produção). Uma vez que o cálculo do torque R.M.S. global leva em consideração tais tempos estas variações poderão levar a grandes flutuações deste parâmetro.

Foi efetuado também o cálculo do torque R.M.S. considerando-se apenas o tempo de laminação propriamente dito, não se levando em conta o intervalo entre placas. Tais resultados podem ser vistos na tabela VI.

Verifica-se que os valores assim calculados são maiores que os valores do torque R.M.S. global e na maioria dos esquemas de passe é maior que o valor nominal dos motores. Entretanto, a princípio tais valores superiores ao torque não são problema pois tal torque R.M.S. de laminação poderá ser "diluído" pelos intervalos de tempo entre placas, durante os quais o laminador permanece em repouso. Todavia, isto indica a necessidade de se estabelecer um tempo mínimo entre placas, ou seja, um ritmo de produção máximo para que se obtenha um torque R.M.S. global adequado a capacidade do laminador.

Por outro lado, há alguns valores de torque na tabela VI que são inferiores ao torque nominal do motor. Os esquemas de passes associados a tais valores estão sub-utilizando os motores do laminador, pois mesmo se não houvesse intervalos entre as placas seu torque R.M.S. seria inferior ao nominal.

Verificou-se também que a influência da temperatura sobre o torque R.M.S. é significativa. Pode-se citar o exemplo de dois cálculos para Placas Leves de Aço de Baixa Resistência, os quais apresentaram os seguintes valores de torque R.M.S. e temperatura média na Mesa de Espera: 107,12 t.m para 1015.C e 43,51 t.m para 1085.C.

Ao se encerrar esta discussão deve-se lembrar que o modelo matemático aqui utilizado para o cálculo da potência, torque e carga de laminação é limitado quanto a sua precisão. As principais restrições que podem ser feitas são as seguintes:

- O rendimento do motor foi estimado em 90%, que é um valor empírico;
- As perdas mecânicas foram determinadas com o laminador operando em vazio; entretanto, tal perda será maior quando ele estiver operando sob carga (4);
- O valor da constante do braço de alavanca também é empírica e foi estimada em 0,50 (2).

5. CONCLUSÕES

- A análise estatística dos parâmetros instantâneos revelou que a maioria dos esquemas de passe apresentou valores de carga acima do valor nominal da Cadeira Esboçadora R2;
- Os valores médios de carga, torque e potência por passe apresentaram valores compatíveis com as especificações da Cadeira Esboçadora R2, com exceção de alguns tipos de placas

larga e super-largura de aços de alta resistência;

- A temperatura de laminação exerce influência fundamental sobre os valores dos parâmetros mecânicos da laminação, chegando a sobrepujar a influência da composição química;

- Os valores médios de carga e potência tendem a aumentar no decorrer do esquema de passe, enquanto que os valores de torque se mantêm relativamente constantes;

- Cerca de metade dos esquemas de passe estudados apresentaram valores de torque R.M.S. acima do valor nominal de torque do motor; tal parâmetro tende a ser proporcional à resistência do material e é inversamente proporcional ao número de passes aplicados;

- O torque R.M.S. de laminação apresentou valores superiores ao do torque nominal do motor para a maioria dos esquemas de passe, mostrando a necessidade de se estabelecer um intervalo de tempo mínimo entre as placas;

- A partir do diagnóstico aqui apresentado para a Cadeira Esboçadora R2 ficou constatada a necessidade de se analisar a operação conjunta das duas Cadeiras Esboçadoras, de forma a fornecer subsídios para o cálculo de esquemas de passe otimizados.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos técnicos Alvaro José Simões, Edison da Silva, Celso G. Cavalcanti e Edivaldo O. de Santana, do Núcleo de Pesquisas Tecnológicas, pelo extensivo trabalho de levantamento e decodificação das cartas e pelas va-

liosas sugestões efetuadas no decorrer do trabalho, bem como ao técnico Jose Carlos Bezerra da Silva, responsável pela manutenção elétrica do Laminador Esboçador R2, pela instalação do registrador Gould 260.

7. BIBLIOGRAFIA

1. Westinghouse Instruction Book - Electrical Equipment for 110 Inch Reversing Plate Mill. IB 20378, vol. 1.
2. WUSATOWSKI, Z. Fundamentals of Rolling. Pergamon Press, London, 1969, 372-375.
3. HELMAN, H. et al. Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1983, 160-162.
4. HANSEN, S.S. et al. Effect of Temperature and Composition on the Power Requirements of Hot Strip Mill Roughing Stands. XVII Mechanical Working and Steel Processing, AIME, 1979, 237-259.
5. TSELIKOV, A.I. et al. The Theory of Lengthwise Rolling. Mir Publishers, Moscou, 1981, 73-80.
6. DOMBROWSKI, K. et al. DC Machine Torque Calculator Dynamometer System. Siemens Power Engineering, n.5, 1983, 252-254.
7. MC CRACKEN, D.D. et al. Numerical Methods and Fortran Programming. John Wiley & Sons, New York, 1968, 172-173.
8. KENYON, M. et al. Processes Development Research - Slab and Plate Products. BHP Technical Bulletin, 27(1):68-75, 1983.
9. Final Specification of n. 1 Reversing Rough Mill for Hot Strip Mill. Hitachi Report, February 1981.
10. COLLELA, R. & SILVEIRA, P. Laminador Esboçador n. 1 da COSIPA. Seminário sobre Laminação, Associação Brasileira de Metais, São Paulo, 1986, 253-268.

8. TABELAS

```

*****
*          *          *          *          *
* TIPO DE PLACA * Baixa Resist. * Media Resist. * Alta Resist. *
*          *          *          *          *
*****
*          *          *          *          *
* Leve      * 140 x 1530 * 140 x 1530 * 140 x 1530 *
* Superlargura *          *          * 140 x 1530 *
*          *          *          *          *
* Leve      * 146 x 1130 *          *          *
* Larga     * 140 x 1220 * 140 x 1220 * 140 x 1220 *
*          * 160 x 1220 *          * 140 x 1310 *
*          * 140 x 1340 *          *          *
*          *          *          *          *
* Leve      * 162 x 1020 *          *          *
* Estreita  * 160 x 1020 * 152 x 1040 * 156 x 1020 *
*          * 140 x 1020 *          *          *
*          *          *          *          *
* Pesada    * 207 x 1530 * 205 x 1550 *          *
* Superlargura *          *          *          *
*          *          *          *          *
* Pesada    * 210 x 1220 *          *          *
* Larga     * 227 x 1250 * 227 x 1250 *          *
*          *          *          *          *
* Pesada    * 210 x 1020 *          *          *
* Estreita  * 215 x 1020 *          *          *
*          * 215 x 1040 *          *          *
*          * 220 x 1020 *          *          *
*          * 228 x 960  *          *          *
*          *          *          *          *
*****

```

Tab. I: Agrupamento dos diversos Tipos de Placas.

```

*****
*          *          *          *          *          *          *
* N. PASSE * 1      * 2      * 3      * 4      * 5      *
*          *          *          *          *          *          *
*****
* CARGA    * BR 803 * BR 1077 * BR 1184 * BR 1024 * BR 1707 *
* (t)      * MR 1172 * MR 970  * MR 1019 * MR 1033 * MR 1532 *
*          * AR 857  * AR 1064 * AR 962  * AR 1061 * AR 1480 *
*          *          *          *          *          *          *
* TORQUE   * BR 83  * BR 104  * BR 111  * BR 86  * BR 117  *
* (t.m)    * MR 120 * MR 91  * MR 95  * MR 87  * MR 111  *
*          * AR 88  * AR 100  * AR 90  * AR 89  * AR 107  *
*          *          *          *          *          *          *
* POTENCIA * BR 4400 * BR 6115 * BR 6208 * BR 5914 * BR 6760 *
* (kw)     * MR 5406 * MR 5347 * MR 5747 * MR 5796 * MR 6369 *
*          * AR 3541 * AR 5101 * AR 4731 * AR 5178 * AR 6086 *
*          *          *          *          *          *          *
*****

```

Tab II: Valores Médios de Carga, Torque e Potência da Laminação Esboçadora para Placa Leve-Larga, 5 passes, para aços de baixa, média e alta resistência.

```

*****
*
*          TIPOS DE PLACA - ESQUEMA DE 5 PASSES
*
*****
*          *          *          *          *
*   Leve   *   Leve   *   Leve   *
*   Estreita *   Larga *   Superlarga *
*          *          *          *
*****
*   BR 1051 *   BR 1072 *   BR N.D. *
*   MR 1072 *   MR 1080 *   MR 1070 *
*   AR 1102 *   AR 1100 *   AR 1075 *
*          *          *          *
*****

```

Tab. III: Média das Temperaturas (.C) registradas na Mesa de Espera após a Laminação Esboçadora para os tipos de placas que apresentaram parâmetros de laminação inversamente proporcionais à resistência do aço.

```

*****
*          *          *          *          *
* TIPO DE PLACA * Baixa Resist. * Media Resist. * Alta Resist. *
*          *          *          *          *
*****
*   Leve   *   56,72 (3 p) *          *   133,78 (3 p) *
* Superlarga *   81,14 (5 p) *   113,26 (5 p) *   102,96 (5 p) *
*          *          *          *          *
*   Leve   *   67,70 (3 p) *          *   123,26 (3 p) *
*   Larga  *   81,66 (5 p) *   187,22 (5 p) *   98,62 (5 p) *
*          *          *          *          *
*   Leve   *   108,36 (5 p) *   120,98 (5 p) *   156,90 (5 p) *
*   Estreita *          *          *          *
*          *          *          *          *
*   Pesada *   153,14 (7 p) *   162,30 (5 p) *          *
* Superlarga *          *          *          *
*          *          *          *          *
*   Pesada *   140,30 (3 p) *          *          *
*   Larga  *   127,46 (5 p) *   162,00 (7 p) *          *
*          *   133,40 (7 p) *          *          *
*          *          *          *          *
*   Pesada *   113,10 (3 p) *          *          *
*   Estreita *   50,94 (7 p) *          *          *
*          *          *          *          *
*****

```

Tabela IV: Torque R.M.S. Global em t.m obtido por tipo de aço e placa.

* TIPO DE PLACA	* Baixa Resist.	* Media Resist.	* Alta Resist.
* Leve	104,56 (3 p)		85,70 (3 p)
* Superlargura	(36,80)		(40,30)
* Leve	125,06 (5 p)	111,33 (5 p)	103,81 (5 p)
* Superlargura	(59,10)	(50,14)	(58,23)
* Leve			85,24 (3 p)
* Larga			(41,04)
* Leve	94,44 (5 p)	89,60 (5 p)	101,17 (5 p)
* Superlargura	(57,60)	(57,91)	(60,51)
* Leve	97,75 (5 p)	69,05 (5 p)	85,20 (5 p)
* Estreita	(67,18)	(55,90)	(59,22)
* Pesada	145,00 (7 p)	120,75 (7 p)	
* Superlargura	(110,67)	(100,60)	
* Pesada	111,14 (3 p)		
* Larga	(54,63)		
* Leve	128,44 (5 p)		
* Superlargura	(71,93)		
* Leve	159,31 (7 p)	113,75 (7 p)	
* Superlargura	(102,80)	(107,60)	
* Pesada	117,57 (7 p)		
* Estreita	(86,29)		

Tab. V: Tabela de Tempos de Laminação Totais, em segundos, incluindo intervalo entre placas. Os valores entre parêntesis indicam o tempo de laminação da placa propriamente dito, sem levar em conta o intervalo entre elas.

* TIPO DE PLACA	* Baixa Resist.	* Media Resist.	* Alta Resist.
* Leve	* 89,50 (3 p)	* 148,84 (5 p)	* 188,66 (3 p)
* Superlargura	* 115,76 (5 p)	* 148,84 (5 p)	* 133,04 (5 p)
* Leve	* 100,20 (3 p)	* 230,78 (5 p)	* 169,44 (3 p)
* Larga	* 102,10 (5 p)	* 230,78 (5 p)	* 124,60 (5 p)
* Leve	* 129,60 (5 p)	* 133,00 (5 p)	* 186,68 (5 p)
* Estreita			
* Pesada	* 173,84 (7 p)	* 171,34 (7 p)	
* Superlargura			
* Pesada	* 197,18 (3 p)		
* Larga	* 167,72 (5 p)		
	* 164,20 (7 p)	* 171,64 (7 p)	
* Pesada	* 170,38 (3 p)		
* Estreita	* 57,84 (7 p)		

Tab. VI: Valores de Torque R.M.S. de Laminação, em t.m; neste cálculo não foi levado em conta o intervalo de tempo entre placas.