

AVALIAÇÃO DO ENCHARQUE DA PLACA BASEADA NO CÁLCULO DA ENERGIA DE DEFORMAÇÃO NO PROCESSO DE DESBASTE ¹

Arísio de Abreu Barbosa²
Geraldo Magela de Faria³
Willy Schuwarten Júnior⁴
José Sérgio Ferreira³

Resumo

Utilizando-se de dados de processo, obtidos durante a fase de desbaste da placa e, com base no cálculo da energia de deformação, foi estabelecido um parâmetro de processo que traduz, de forma mais consistente, a condição de encharque da placa. O cálculo da energia de deformação é realizado automaticamente após o término da laminação de desbaste de cada placa e o resultado é mostrado, on-line, em uma tabela disponível no terminal (MMI) de operação do Laminador. Esse valor é uma variável acompanhada pelo operador e deve estar compreendido entre os limites inferior e superior, estabelecidos, em função da espessura do esboço e do tipo de aço processado. A implantação desse novo parâmetro, tem contribuído para tornar mais robusto o controle do processo na laminação de tiras a quente, pois foram constatados casos em que valores obtidos fora dos limites levaram a uma condição de alto risco para a laminação no Steckel, trazendo prejuízos à qualidade superficial, perfil e forma da tira ou até mesmo, em casos extremos, perda total da bobina.

Palavras-chave: Energia de deformação; Encharque; Laminação de desbaste

HEATING SLAB EVALUATION BASED ON HOT WORK OF DEFORMATION SPENT ON THE ROUGHER MILL

Abstract

The quality of the slab heating is one of the most important characteristics in the hot rolling process. The discharged slab is expected to have the specified temperature and also be as homogeneous as possible. The strip temperature control, during the rolling process, is made by infrared pyrometers installed through the line at strategic points. All of them take the strip surface temperature, and the environment has a great influence on their measurement. Thus, sometimes it is not possible to evaluate the thermal homogeneity of the material based only on the strip temperature. The alternative used to deal with this problem is to verify, in parallel, other process parameters, helping in the analysis before affirming that the slabs are being discharged with good or bad heating quality. This paper shows how the work of deformation on the Rougher Mill was implemented in order to evaluate quantitatively the slab soaking condition.

Key words: Work of deformation; Soaking; Roughing mill

¹ *Contribuição Técnica ao 43º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, Curitiba, PR, 17 a 20 de outubro de 2006.*

² *Membro da ABM; Engenheiro Mecânico, M.Sc., Gerência Técnica do Controle de Processo da Laminação a Quente da ACESITA; Timóteo - MG.*

³ *Membro da ABM; Engenheiro Metalurgista, M.Sc., Gerência Técnica do Controle de Processo da Laminação a Quente da ACESITA; Timóteo - MG.*

⁴ *Membro da ABM; Engenheiro Mecânico, Gerência Técnica do Controle de Processo da Laminação a Quente da ACESITA; Timóteo - MG.*

1 INTRODUÇÃO

O processo de transformação de bobinas laminadas a quente é constituído basicamente de 5 fases: reaquecimento de placas, laminação de desbaste, laminação de acabamento, resfriamento da tira e bobinamento. Seguindo um único fluxo de produção (Figura 1), a placa, oriunda da Aciaria, é aquecida no forno de reaquecimento, em seguida a sua espessura inicial é reduzida para uma espessura intermediária, na fase de desbaste. Logo após é laminada para a espessura final que pode variar de 2,0 mm a 12,7 mm, no laminador acabador Steckel e, finalmente, já na forma de tira, é resfriada e bobinada. Ao longo de cada uma dessas fases são controlados vários parâmetros de processo, tais como: temperatura, velocidade, espessura, tempo, etc., para todos os aços processados na laminação de tiras a quente – LTQ.

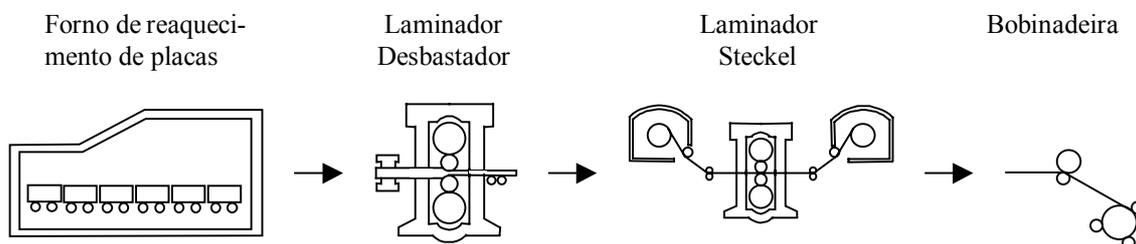


Figura 1. Fluxograma simplificado da laminação a quente da ACESITA

Uma das características de fundamental importância no processo de laminação a quente é a qualidade do aquecimento da placa. Espera-se que a placa, ao sair do forno de reaquecimento, esteja com a temperatura especificada e suficientemente homogênea. Objetiva-se uma diferença de temperatura entre a superfície da placa e o centro (ΔT) em torno de 10°C a 16°C . Quanto menor for este gradiente térmico maior será o nível de encharque da placa e melhores serão as condições de laminação, principalmente para espessuras finas (abaixo de 3,5 mm) e também para os aços que têm valores mais elevados de tensão de escoamento, como é o caso dos aços inoxidáveis austeníticos, martensíticos e os aços alto carbono e ligados.

O controle de temperatura da tira, durante a laminação, é feito através de pirômetros instalados em pontos estratégicos ao longo da linha. Todos eles medem a temperatura da superfície do material por meio de raios infravermelho. Desta forma não é possível medir diretamente a homogeneidade térmica da placa tendo em vista que tais medidas são susceptíveis a interferências das mais diversas como: carepa, vapores, poeira, água, etc.

A alternativa utilizada para contornar este problema é verificar, em paralelo, outros parâmetros de processo que, de uma forma indireta, ajudarão na análise antes de afirmar que as placas estão saindo ou não, efetivamente, com um bom encharque do forno.

Este trabalho mostra como foi implementado o cálculo da energia de deformação despendida na laminação de desbaste, com intuito de se ter um novo parâmetro de processo que permita avaliar, quantitativamente, a homogeneidade térmica da placa.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Definição de Encharque

O termo encharque geralmente é utilizado no sentido de homogeneidade. Quando se trata do aquecimento de placas para a laminação a quente, por exemplo, diz respeito a homogeneidade térmica das placas, ou seja, a diferença entre a temperatura da superfície e do centro da placa (ΔT). É sabido que o aquecimento da placa, dentro do forno, ocorre através do fluxo de calor no sentido da superfície para o centro. E que a intensidade do fluxo de calor, no interior da placa, é função do gradiente de temperatura entre a superfície e o centro da placa, da condutibilidade térmica e do calor específico do aço. Desta forma, no início do aquecimento o gradiente térmico é pequeno; à medida que a placa avança através do forno este gradiente aumenta e chega a um valor máximo na zona de pré-aquecimento e, a partir daí tende a diminuir até chegar a zero. Quando o gradiente térmico é grande e com o passar do tempo, tende a zero. Quando este gradiente chega a zero, cessa o fluxo de calor e tem-se uma temperatura homogênea em qualquer ponto da placa. Neste caso diz-se que a placa está totalmente encharcada. Evidentemente, no processo industrial de laminação, essa condição de aquecimento não é necessária e muito menos viável do ponto de vista econômico, devido ao logo tempo de forno e a grande quantidade de energia requerida. Por outro lado, uma placa mal encharcada, ou seja, com uma diferença significativa de temperatura entre a superfície e o centro, implicará, na maioria dos casos, em uma maior dificuldade de conformação mecânica devido à baixa temperatura. A Figura 2 abaixo representa, de forma esquemática, a distribuição da temperatura de uma placa aquecida com um gradiente térmico de 16°C .

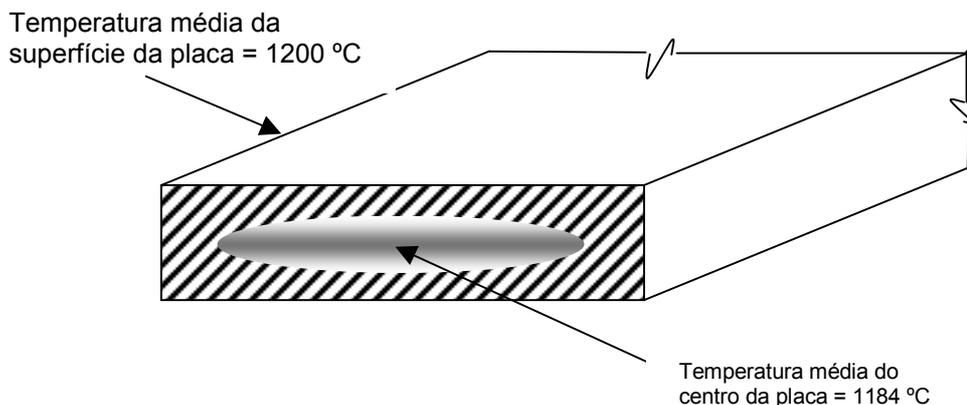


Figura 2. Desenho representativo de uma placa aquecida com um gradiente térmico entre a superfície e o núcleo de 16°C .

2.2 A Laminação de Desbaste

A laminação de desbaste é o processo responsável pela transformação da placa em uma chapa de espessura intermediária, chamada de esboço. Atualmente a ACESITA trabalha com placas de espessura fixa de 200 mm e larguras variáveis de 900 mm a 1580 mm. O esboço, destinado à laminação de bobinas, tem espessura de 28mm para placas com comprimento acima de 10,8 m, 24,0 mm para placas curtas de P430A destinadas ao Box, 18,0 mm para os aços P420/498 e 16,0 mm

para o aço silício GO. O Laminador Desbastador da ACESITA é um laminador quádruplo reversível dotado de um laminador de bordas instalado na sua entrada, capaz de reduzir até 30mm na largura da placa. A laminação de desbaste é geralmente realizada em 5, 7 ou 9 passes, dependendo do tipo de aço, largura da placa e espessura final do esboço. A Figura 3 mostra um desenho esquemático da cadeira do Laminador Desbastador da ACESITA com o laminador de bordas .

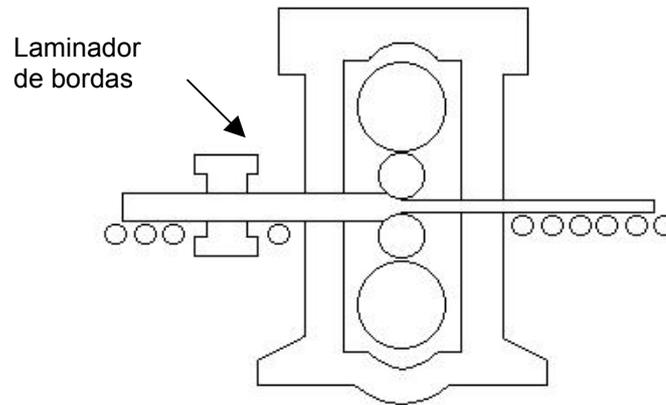


Figura 3. Desenho esquemático do Laminador Desbastador da Acesita

2.3 Cálculo da Energia de Deformação

Segundo Pavlov, citado em Wusatowski,⁽¹⁾ a energia de deformação (A_w) pode ser calculada através da equação abaixo:

$$A_w = K_{wm} V \ln \frac{h_e}{h_s} \quad (1)$$

onde:

- K_{wm} : resistência média à deformação
- V : volume do material laminado
- h_e : espessura de entrada
- h_s : espessura de saída

A resistência média à deformação (K_{wm}) é obtida pela equação:

$$K_{wm} = \frac{P}{W \sqrt{R \Delta h}} \quad (2)$$

onde:

- P : força de laminação
- W : largura do material
- R : raio do cilindro de trabalho
- Δh : diferença entre as espessuras de entrada e saída

A energia de deformação é expressa em unidades obtidas pelo produto de unidade de comprimento por unidade de força. No Sistema Internacional de Unidades, energia é expressa em N m. Essa unidade é chamada de joule (J).

2.4 Implantação do Cálculo da Energia de Deformação Específica

A LTQ processa uma enorme gama de tipos de aços e dimensões de placas. A espessura da placa é constante, mas a largura varia em função dos pedidos dos clientes e o comprimento em função do peso da bobina e/ou do plano de corte da Aciaria. Isso implica em placas de volumes variados, mesmo se tratando de uma campanha de um único tipo de aço. Como mostra a equação (1), o valor da energia de deformação varia diretamente com o volume da placa. Assim sendo, se quisermos comparar a energia de deformação de uma placa em relação a outra, sem o efeito da variação dimensional existente entre elas, temos que calcular a energia de deformação específica, ou seja, a energia de deformação consumida para desbastar a placa por unidade de volume.

Foi utilizada a equação seguinte, para calcular a energia de deformação específica no processo de desbaste da placa:

$$\frac{A_w}{V} = \frac{1}{W} \sum_{i=1}^n \frac{P_i}{\sqrt{R\Delta h}} \ln \frac{h_e}{h_s} \quad (3)$$

onde:

- P : força de laminação
- W : largura do material
- n : número total de passes de desbaste
- V : volume do material laminado
- h_e : espessura de entrada
- h_s : espessura de saída

Primeiramente, calcula-se a razão da força de laminação média pela projeção do arco de contato e multiplica-se pela redução verdadeira em cada passe de laminação. Após o último passe é feito o somatório dos valores parciais e, finalmente, divide-se o valor encontrado pela largura da tira. Este resultado representa a energia de deformação específica, ou seja, por unidade de volume.

Este cálculo é realizado automaticamente, imediatamente após o término da laminação de desbaste e o resultado é mostrado em uma tabela de variáveis de processo, disponível no monitor da estação de trabalho do operador (Figura 4).

TEMPERATURA e TEMPOS DE LAMINAÇÃO - LOG DE DADOS - OFFLINE

DATA	HORA	PLACA ID	ALLOY	Fce>RM Tempo	HSB Min Press	RM Tot Tempo	Esp. Esboço	Energia Defor.	HMD5 Tempo	Corr Edg. 1o Passe	RM Temp Ult. Passe	CS Max Temp	RM>SM Tempo	SM 1st. Passe	SM Total
19/04/2005	11:51	502138A09	P304A	00:48	166	02:33	27.67	2996.2	00:26	740	1105	1082	00:19	00:33	07:52
19/04/2005	11:39	502138A02	P304A	00:47	152	02:36	27.61	2981.2	00:25	142	1108	1090	00:19	00:33	07:54
19/04/2005	11:27	541207G03	P304A	00:48	165	02:31	27.90	2900.5	00:25	430	1112	1086	00:18	00:32	10:18
19/04/2005	11:15	541207G02	P304A	00:46	163	02:33	27.64	2924.2	00:26	176	1109	1095	00:18	00:33	08:17
19/04/2005	10:28	502312B03	P304A	00:48	164	02:20	27.76	2881.2	00:25	252	1114	1091	00:19	00:33	07:44
19/04/2005	10:16	541314A02	P304A	00:47	164	02:18	27.78	2870.1	00:25	498	1117	1093	00:20	00:33	07:48
19/04/2005	10:04	502140G03	P304A	00:47	164	02:34	27.79	2939.8	00:26	344	1106	1078	00:17	00:33	07:49
19/04/2005	09:53	541204D02	P304A	00:47	164	02:39	27.60	3005.1	00:26	535	1109	1081	00:17	00:33	08:00
19/04/2005	09:41	541206I03	P304A	00:48	165	02:33	27.68	2972.8	00:25	237	1111	1082	00:18	00:33	07:58
19/04/2005	09:29	541206I02	P304A	00:49	164	02:35	27.89	2994.1	00:25	035	1107	1084	00:17	00:33	08:01
19/04/2005	09:15	502312B09	P304A	00:49	166	02:19	27.95	2828.2	00:25	077	1119	1093	00:19	00:33	07:41
19/04/2005	09:03	541343J04	P304A	00:47	166	02:18	28.15	2791.5	00:24	268	1116	1091	00:19	00:33	07:45
19/04/2005	08:52	541365C01	P304A	00:49	163	02:33	27.86	2903.5	00:25	447	1109	1083	00:18	00:33	07:56
19/04/2005	08:39	541364F03	P304A	00:50	165	02:35	27.81	2905.2	00:25	314	1106	1079	00:17	00:33	07:51
19/04/2005	08:26	541358H01	P304A	00:47	164	02:30	27.72	2851.9	00:25	879	1108	1083	00:18	00:33	07:56
19/04/2005	08:15	541365C08	P304A	00:48	166	02:26	27.88	2887.1	00:26	1002	1115	1083	00:22	00:32	07:42
19/04/2005	08:02	541289E02	P304A	00:51	157	02:29	27.75	2794.4	00:25	191	1099	1082	00:19	00:34	05:44

Online Sair ↑ ↓ Pesquisa Placa: 541339H02

Figura 4. Tabela com variáveis de processo (tempos, temperaturas e energia de deformação específica da placa no processo de desbaste).

2.5 Determinação dos Limites para Acompanhamento da Energia de Deformação das Placas de Aços Inoxidáveis

Por um período de aproximadamente 1 ano os valores de energia de deformação foram calculados e armazenados em um banco de dados, para todos os tipos de aços laminados na LTQ. De posse desses dados foram feitas análises da variação dos valores e correlações com diversos fatores que influenciam a energia de deformação como: comprimento da placa, espessura do esboço, tempo de forno, tempo gasto desde o desenformamento da placa até o final de laminação do esboço, etc. Também foi analisada a relação entre a energia de deformação no processo de desbaste com tiras que apresentaram problemas na laminação no Steckel devido a cargas altas de laminação e, para os aços inoxidáveis, os resultados de qualidade da BQ na linha de recozimento e decapagem – RB₃. Com base na análise desses dados é que foram estabelecidos os limites superior e inferior da energia de deformação específica da placa, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Limites superior e inferior da energia de deformação específica no processo de desbaste para os aços inoxidáveis

AÇO	PESO PLACA [kg]	ESPESSURA DO ESBOÇO [mm]	ENERGIA DE DEFORMAÇÃO ESPECÍFICA [MJ/m ³] x 10
3XX (EXCETO 316)	> 9000	28	2600 a 3100
3XX (EXCETO 316)	<= 9000	28	2500 a 3000
316	> 14000	28	2700 a 3000
316	<= 14000	24	3000 a 3300
Demais 4XX	>14000	28	1500 a 2000
Demais 4XX	<= 14000	24	1500 a 1950
409	>12500	28	1150 a 1550
409	<= 12500	24	1150 a 1550
430E/F	Todos	24 ou 28	1500 a 2300
434	Todos	18	1850 a 2300
439A	Todos	28	1000 a 1400
441	Todos	28	1000 a 1400
420 e 498	Todos	18	3600 a 4200
444	Todos	23	1200 a 1500

3.5 Análise dos Resultados

Os dados analisados constataram que, em condições normais de laminação, a variação da energia de deformação específica tem uma relação direta com a variação do encharque da placa. A Figura 5 mostra a evolução da energia de deformação específica durante uma campanha de aço ao silício GO. Percebe-se nitidamente uma queda progressiva da energia de deformação ao longo da campanha. Isso comprova a hipótese de melhoria do encharque da placa, proveniente do Forno Pusher, no decorrer da campanha devido ao aumento do encharque da soleira.

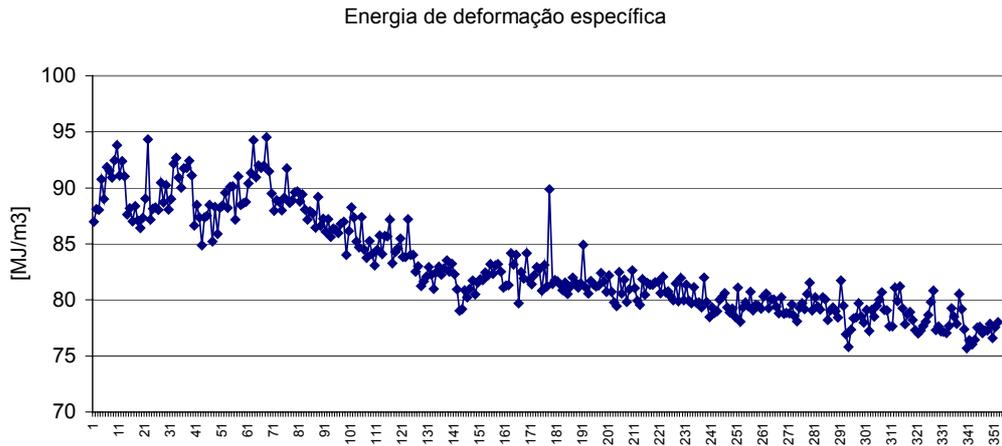


Figura 5. Energia de deformação específica, aço silício GO. Ref. set/2004.

Várias foram as ocorrências de dificuldade de laminação no Steckel, devido a cargas altas, desarmes do laminador por sobrecarga e desvios por defeitos de qualidade nos aços 3XX, com altos valores de energia de deformação específica, em relação aos valores típicos.

A Figura 6 mostra os valores típicos de energia de deformação específica para alguns tipos de aços laminados a quente na ACESITA.

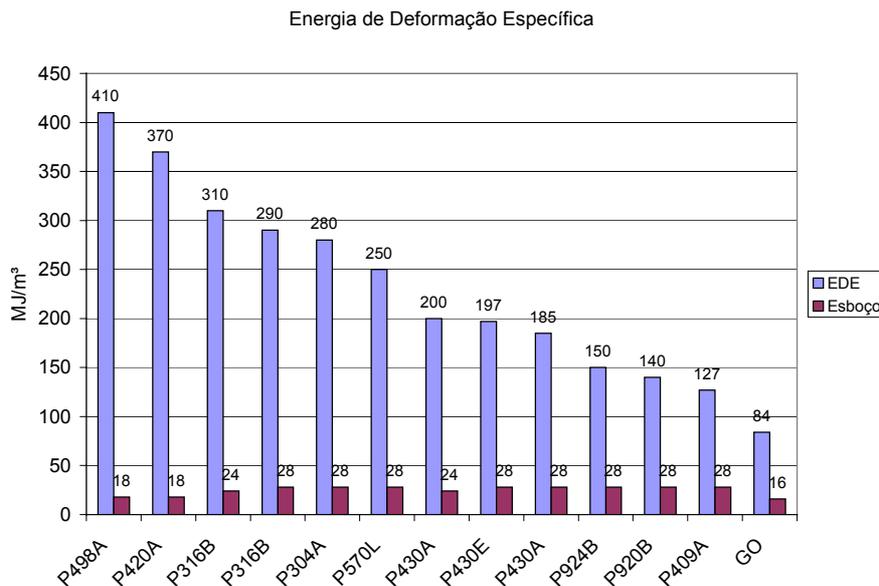


Figura 6. Valores típicos de energia de deformação específica na fase de desbaste por tipo de aço e espessura de esboço

3 CONCLUSÃO

A energia de deformação específica gasta no processo de desbaste reflete bem o encharque da placa, desde que consideradas as seguintes variáveis: tempo entre o instante de desenformamento e o início do desbaste, tempo total de laminação no Desbastador, plano de passes; faixas de comprimento e espessura de esboço.

A implantação desse novo parâmetro, tem contribuído para tornar mais robusto o controle do processo na laminação de tiras a quente, pois foram constatados casos em que, valores obtidos fora dos limites especificados levaram a uma condição de alto risco para a laminação no Steckel, trazendo prejuízos à qualidade superficial, perfil e forma da tira ou até mesmo, em casos extremos, perda total da bobina.

REFERÊNCIAS

- 1 WUSATOWSKI, Z. *Fundamentals of Rolling*, Oxford: Pergamon Press, 1969, p. 266
- 2 KAVERNER METALS CLECIM. P.L.A.T.E Model, 1. ed, 1977, 173 p.