

LEITOS DE RESFRIAMENTO DE TRENS DE LAMINAÇÃO MODERNOS PARA PERFIS PEQUENOS ⁽¹⁾

GERD DITTMAR ⁽²⁾

RESUMO

O Autor, dirigente de uma firma especializada, faz uma recapitulação da construção e produtividade de trens modernos para pequenas barras de aço; apresenta e compara vários tipos de construção de leitos de resfriamento.

1. CONSTRUÇÃO E PRODUTIVIDADE DE TRENS MODERNOS PARA BARRAS

Nos últimos anos, destacaram-se três tipos de laminação de barras de aço: Tipo "cross-country", conforme figura 1; Trem semi-contínuo, segundo figura 2 e Trem contínuo, segundo a figura 3. Como exemplos de programas de produção de tais trens, ver a seguir, nas figuras 4 e 5, as tabelas de laminação para trens conforme as figuras 1 e 3.

2. TIPOS DE CONSTRUÇÃO DE LEITOS DE RESFRIAMENTO

Após longo e contínuo desenvolvimento, destacam-se atualmente quatro tipos de leitos de resfriamento de trens de alta produtividade, para pequenos perfis.

Na América do Norte: a) Leito de resfriamento com pentes eleváveis, tipo Morgan, conforme figura 6; b) Leito de resfriamento com pentes oscilantes, segundo as figuras 7 e 8.

(1) Contribuição Técnica n.º 457. Apresentada ao XVI Congresso Anual da ABM; Pôrto Alegre, julho de 1961.

(2) Membro da ABM e Engenheiro Metalurgista; Diretor da firma Moeller & Neumann do Brasil (Fabricantes de Laminadores); Rua Barão de Itapetininga, 140; São Paulo, SP.

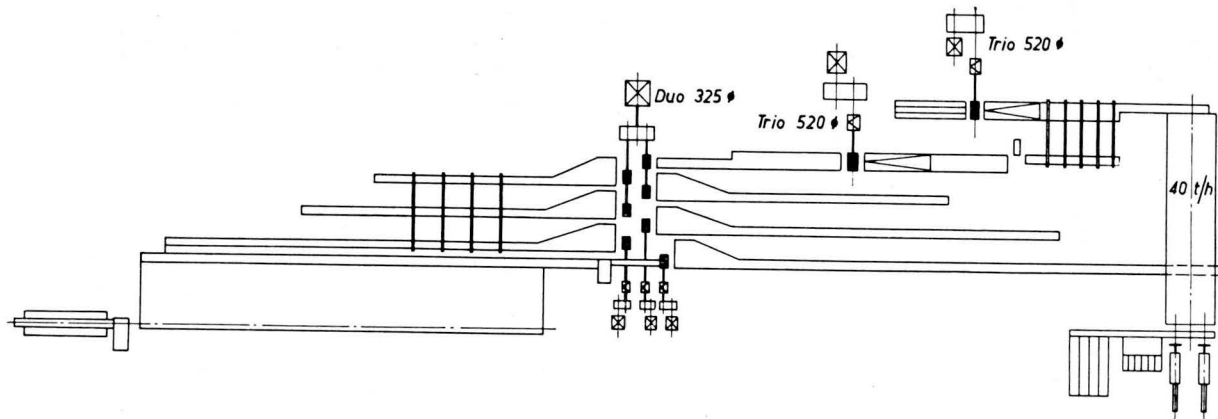


Fig. 1 — Esquema de um laminador tipo «cross-country».

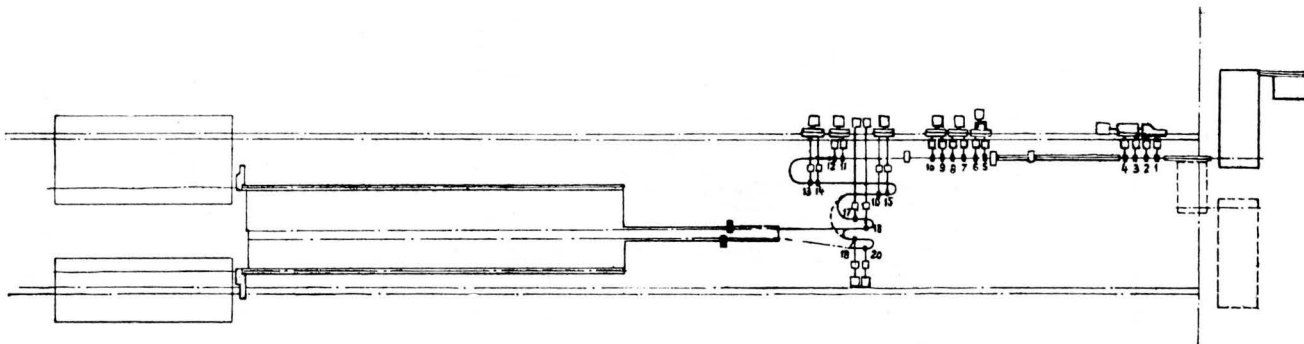


Fig. 2 — Esquema de laminador para pequenos perfis, tipo semi-contínuo.

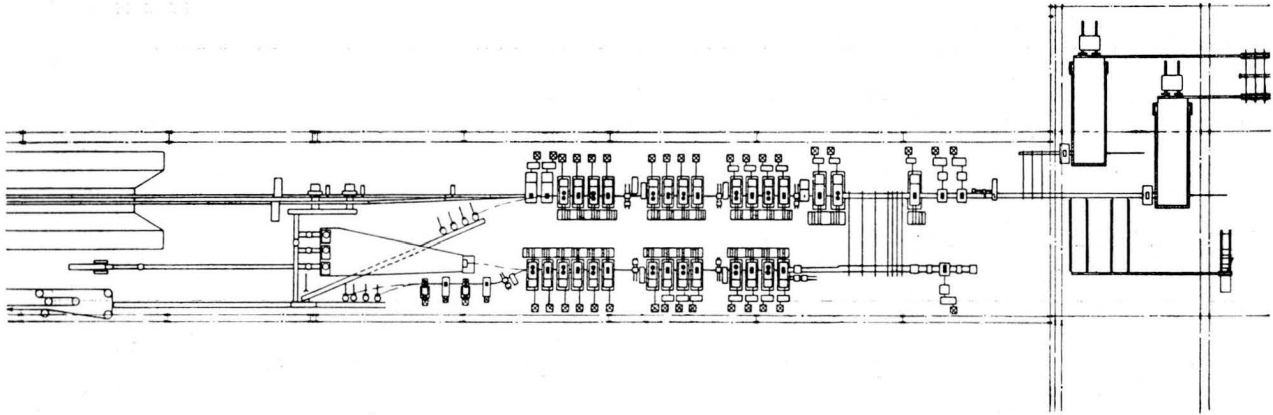


Fig. 3 — Laminador para pequeno perfis, em dois trens contínuos, com programas diversificados.







PERFIL													
	12	16	30	55	30x5	60x24	80x8	30x30	50x50	50x50	60x30		
Pêso métrico (Kg/m)	0,89	1,58	5,55	18,5	1,18	11,3	5	1,36	3,75	4,45	5	4,8	
Palan- quilha	Perfil	80 ϕ		118 ϕ		80 ϕ	118 ϕ		80 ϕ		118 ϕ	80 ϕ	118 ϕ
	Pêso (Kg)	84	237	485	84	345		84	222	237	222	237	
Velocidade de saída (m/s)	7,0	6,5	5,2	3,5	7,0	3,5	5,5	7,0	5,0	4,0	4,0	4,0	
Produção (to/h)	9,3	10,2	23	38,8	9,3	28,6	18,1	10,2	18,3	23	18,3	23	

Fig. 4 — Programa de laminação para o trem tipo «cross-country da figura 1.







PERFIL															
	5	8	16	30	50	20x3	60x30	100x10	60x1	200x1,5	25x25	60x60	50x50	40 x35	
PESO METRICO (Kg/ m)	0,154	0,395	1,58	5,55	15,4	0,47	14,1	7,85	0,47	2,35	1,12	5,42	4,44	4,87	
Palan- quilha	Perfil	80 ϕ		100 ϕ		127 ϕ		80 ϕ	127 ϕ		80 ϕ	100 ϕ			
	Pêso (Kg)	150	300	470		770		150	770		150	660	300	470	235
Veloci- dade de saída (m/s)	Para o leito	-	12	9	5,6	3,7	12	4	5,5	-	-	7	5	5	5,45
	Para bobinas	24	18	14	-	-	-	-	-	14	9,4	-	-	-	-
Quantidade de veias	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Produção (to/h)	11,4	28,2	73,6	80	139	16,4	138	115	18,6	66	24	70	63	53	
		45	125												

Fig. 5 — Programa de laminação para o trem da figura 3.

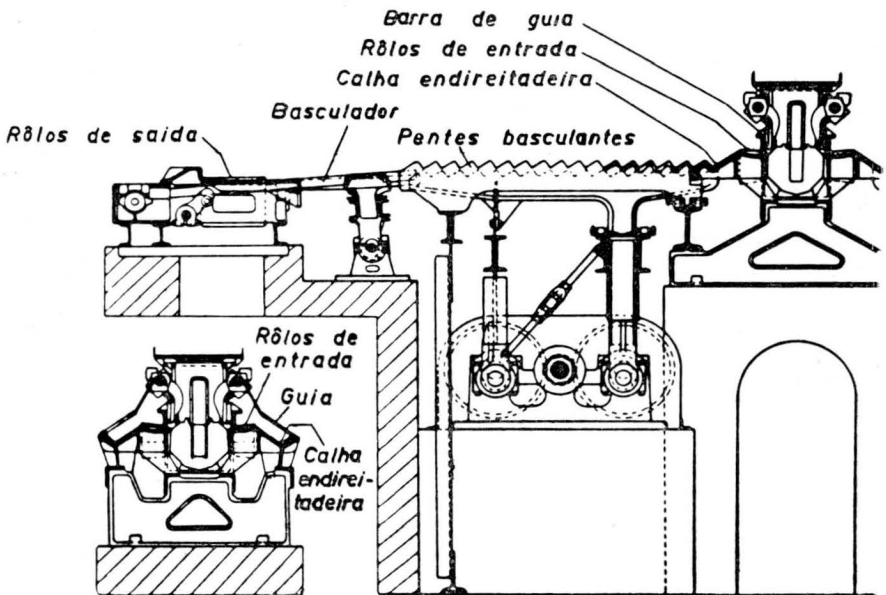


Fig. 6 — Duplo leito de resfriamento, de pentes eleváveis, sistema «Morgan-Construction».

Na Europa: c) Leito de resfriamento com pentes eleváveis, tipo europeu, segundo a figura 9; d) Leito de resfriamento com rolos, como mostra a figura 10.

Os tipos a) e c) são idênticos quanto ao princípio de funcionamento. Ambos têm a vantagem que a barra, durante o movimento lateral, é carregada sem deslizamento sobre as partes transportantes, de modo que a barra não é danificada. Entretanto, estes sistemas têm a desvantagem de movimentar consideráveis partes do leito juntamente com o material a ser resfriado, o que aumenta bastante as massas a serem aceleradas.

Este inconveniente é evitado no leito com pentes oscilantes conforme b). O transporte transversal do material a ser resfriado se faz por meio da oscilação dos pentes, no qual as barras são empurradas lateralmente por arestas oblíquas. Entretanto, com este tipo de transporte, menos seguro, o material laminado pode ser danificado. Além disso determinados perfis podem entortar e, assim, o corte com facas perfiladas na tesoura a frio pode ser consideravelmente retardado.

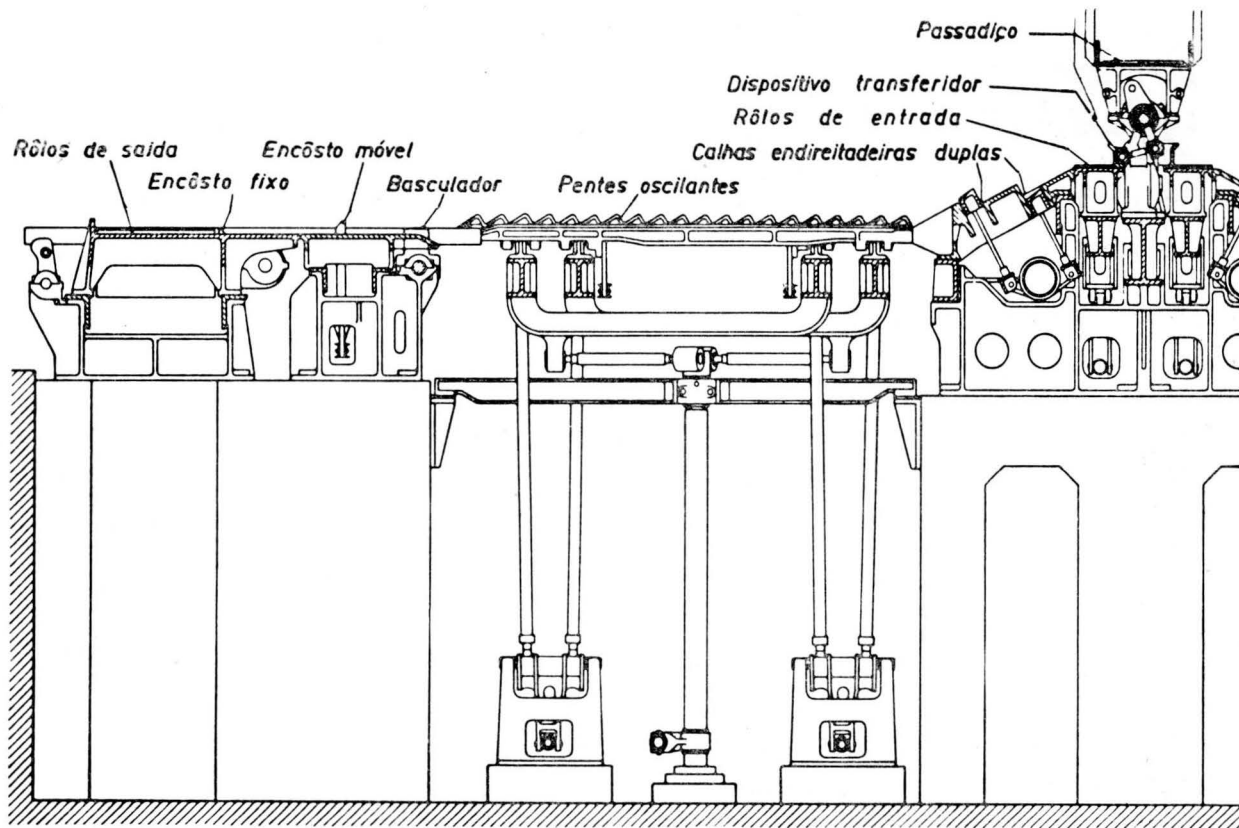


Fig. 7 — Duplo leito de resfriamento, de pentes viráveis-oscilantes, sistema "Birdsboro Steel Foundry.

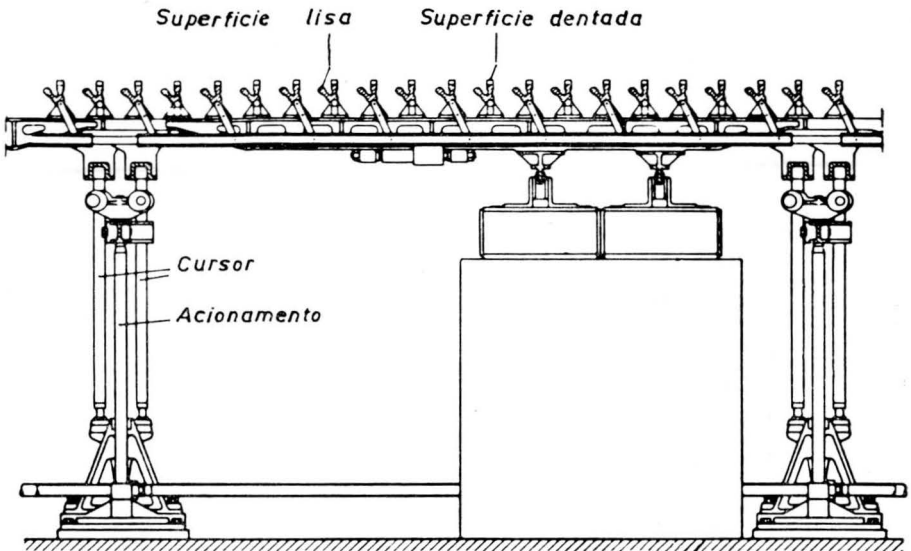


Fig. 8 — Corte longitudinal do leito da figura 7.

O tipo de construção mais completo é o do leito de resfriamento a rolos, apesar de ser também o mais dispendioso. Êste sistema possui uma estreita parte de pentes eleváveis no meio da placa de desempenho, na qual se consegue um resfriamento em posição perfeitamente nivelada e bem apoiada, até uma temperatura que permita o transporte pelos rolos. Enquanto que nos sistemas a) até c) a distância lateral entre as barras permanece constante, dependendo da divisão dos pentes, a qual se determina pelo maior perfil a ser transportado, no leito de resfriamento a rolos os perfis mais delgados poder ser colocados mais próximos uns dos outros. Justamente neste ponto consegue-se um aproveitamento melhor da superfície resfriadora, quando o programa de laminação é muito variado.

3. EQUIPAMENTO DOS TRENS CONFORME § I COM LEITOS DE RESFRIAMENTO

O trem, conforme figura 1, possui um leito de resfriamento a pentes oscilantes unilateral (sistema Edwards), de 51 m de comprimento. Mesmo que neste trem se lamine em uma só veia,

êste leito um pouco antiquado não pode mais responder às necessidades atuais. Por isso estuda-se a possibilidade de substituir o leito de resfriamento Edward por um leito de resfriamento a rolos.

O trem (conforme figura 2) lamina em 4 a 6 veias, principalmente bitolas menores de aço redondo. A menor medida é de 6 mm \varnothing , a maior velocidade de saída 9 m/seg. Há 2 leitos de resfriamento a pentes com 90 m de comprimento cada. Em cada leito entram 1 a 3 veias ao mesmo tempo, conforme a bitola do laminado. A figura 11 mostra a instalação dêste leito duplo de resfriamento a pentes. No meio são visíveis as duas mesas de entrada, separadas por um estrado de serviço. O transporte do laminado se faz para a esquerda e para a direita sôbre as placas de desempenho, os pentes eleváveis e os sitsemas oscilantes até as mesas de saída.

À esquerda e à direita, em primeiro plano, vêem-se as duas tesouras a frio com os limitadores apropriados para comprimentos até 18 m.

O trem (conforme figura 3) é inteiramente contínuo e provido de instalações atualizadas para rápidas mudanças do programa; tem uma capacidade maior de laminação do que os outros dois trens.

Há pouco tempo, num trem assim, foram laminados mais de 44 mil toneladas de perfis finos em um mês. Com 500 horas contínuas de laminação por mês teremos então uma média horária de 88 t. Para poder resfriar ininterruptamente esta enorme produção foram adaptados os mais produtivos sistemas de resfriamento até hoje existentes, dois leitos de resfriamento a pentes e rolos de 120 m de comprimento cada.

Neste trem, o menor perfil laminado em barras retas é de 8 mm \varnothing ; a velocidade de laminação neste caso é de 12 m/seg. As medidas de 8 a 16 mm \varnothing são laminadas em 2 veias. Cada veia corre sôbre um dos dois leitos. Os perfis maiores laminados em uma veia são desviados alternadamente por uma agulha para um e para o outro leito de resfriamento.

Na época de construção dêsse trem era válida a velocidade máxima de entrada para um leito de resfriamento de 12 m/seg, por motivos a serem enunciados. Atualmente êste limite se situa

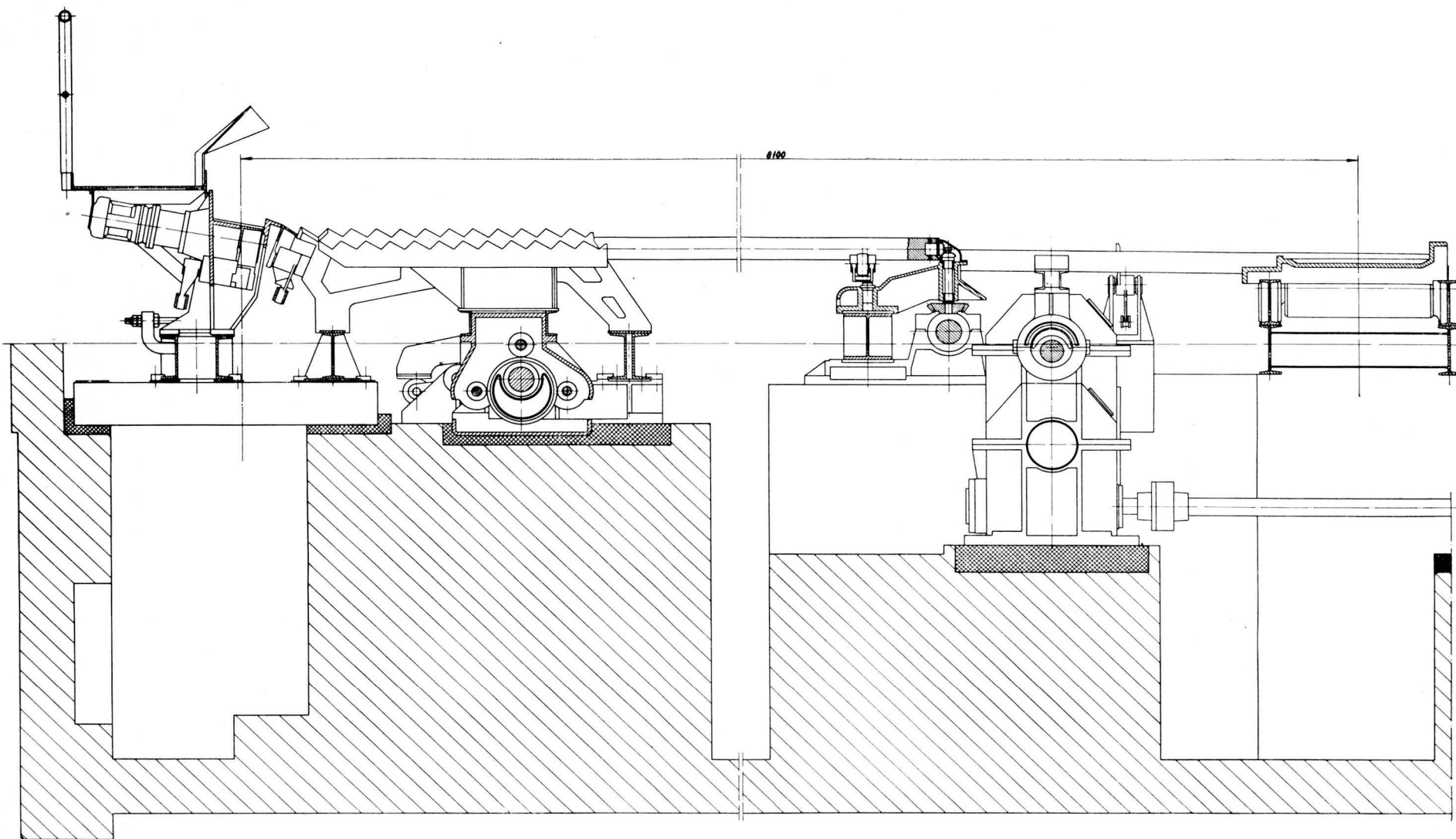


Fig. 10 — Leito de resfriamento de rolos.

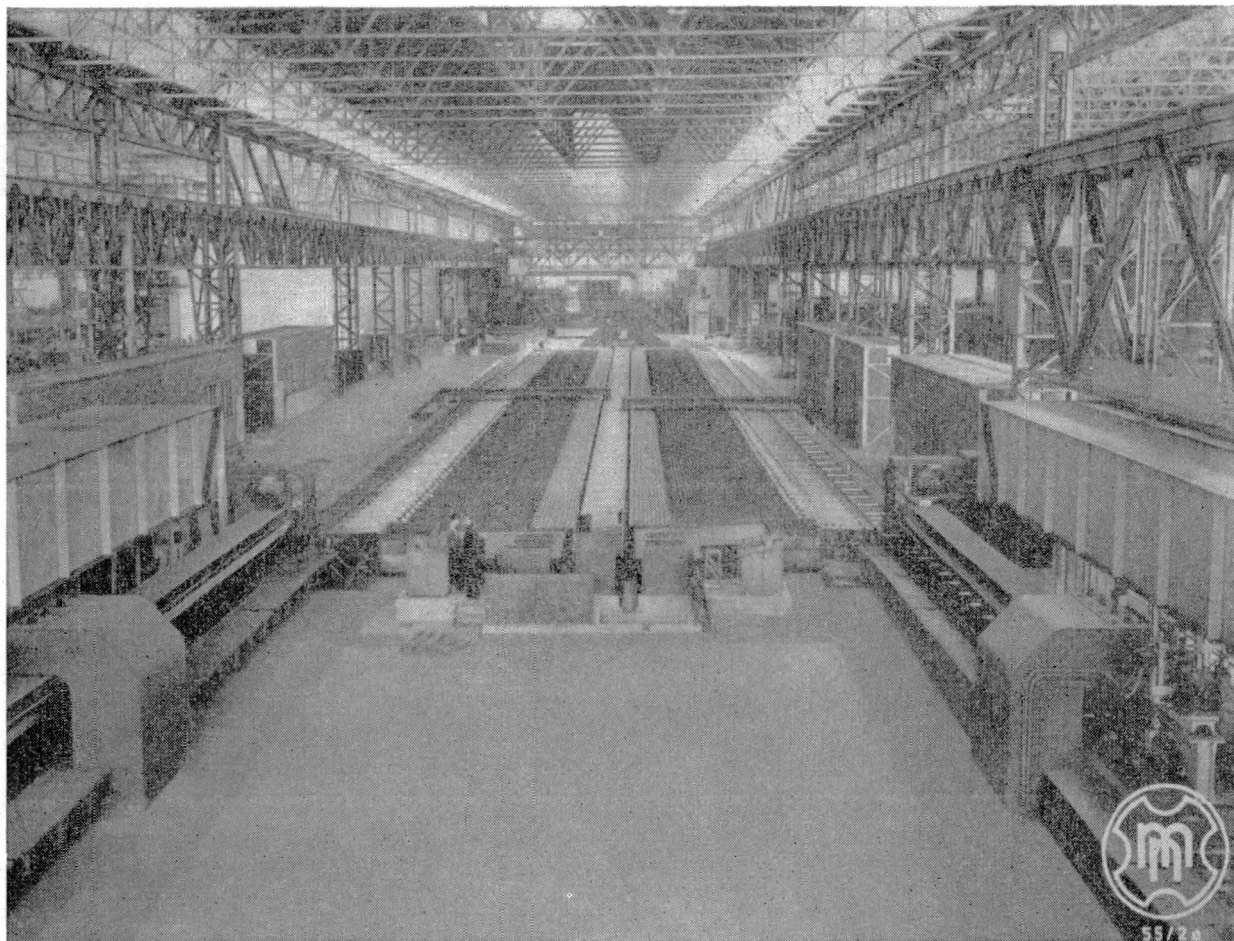


Fig. 11 — Aspecto do leito de resfriamento de pentes eleváveis, da figura 9, visto do lado da saída.

a 14 m/seg. Bobinadeiras, entretanto, trabalham até velocidades de 25 a 30 m/seg e podem bobinar barras até 28 mm \varnothing em bobinas de 500 kg. Por isso os trens de alta produtividade são melhor aproveitados quando a maior parte da produção — também perfis maiores — é laminada com a velocidade máxima do trem e, se esta estiver acima da velocidade do leito de resfriamento, e fôr bobinada. Por êste motivo o trem conforme figura 3 é equipado com 2 grupos de 4 bobinadeiras pesadas para arames, além das 5 bobinadeiras para fitas.

A figura 12 mostra um leito de resfriamento misto a rolos, de comprimento menor. À esquerda vê-se a mesa de entrada junto à placa de desempenho com o sistema de pentes eleváveis, depois os rolos dispostos obliquamente a 30° em relação à direção de entrada, que transportam as barras com velocidade regulável para o lado direito, dependendo do agrupamento desejado e da largura da barra. O sistema oscilante anexo leva as barras à mesa de saída, que por sua vez as transporta para a tesoura a frio, visível em segundo plano, ao fundo.

4. LEITOS DE RESFRIAMENTO SIMPLES PARA MENORES COMPRIMENTOS DE PRODUTOS LAMINADOS

Se a barra mais longa fôr igual ou menor ao comprimento do leito de resfriamento, não será necessária uma tesoura rotativa. Basta um leito de resfriamento simples, como o mostra a figura 13. A barra vem do trem, visível ao fundo à esquerda, para a mesa de entrada até a altura do leito de resfriamento. Um simples sistema de alavancas ergue a barra para uma bôlsa coletora. Pouco antes de a barra seguinte ser erguida, o sistema de vigas eleváveis leva a barra adiante. Uma vez que se trata de um leito especial de resfriamento para perfis difíceis de serem laminados (os quais freqüentemente saem entortados da laminação e só depois serão endireitados), foi escolhido um sistema de vigas eleváveis, sem dentes, que depositam as barras imediatamente na mesa de saída, sem um sistema especial de evacuação.

Normalmente o comprimento do produto laminado, principalmente em se tratando dos perfis menores do programa do trem, é um múltiplo do comprimento do leito de resfriamento. Neste caso é necessária uma tesoura rotativa que pode cortar

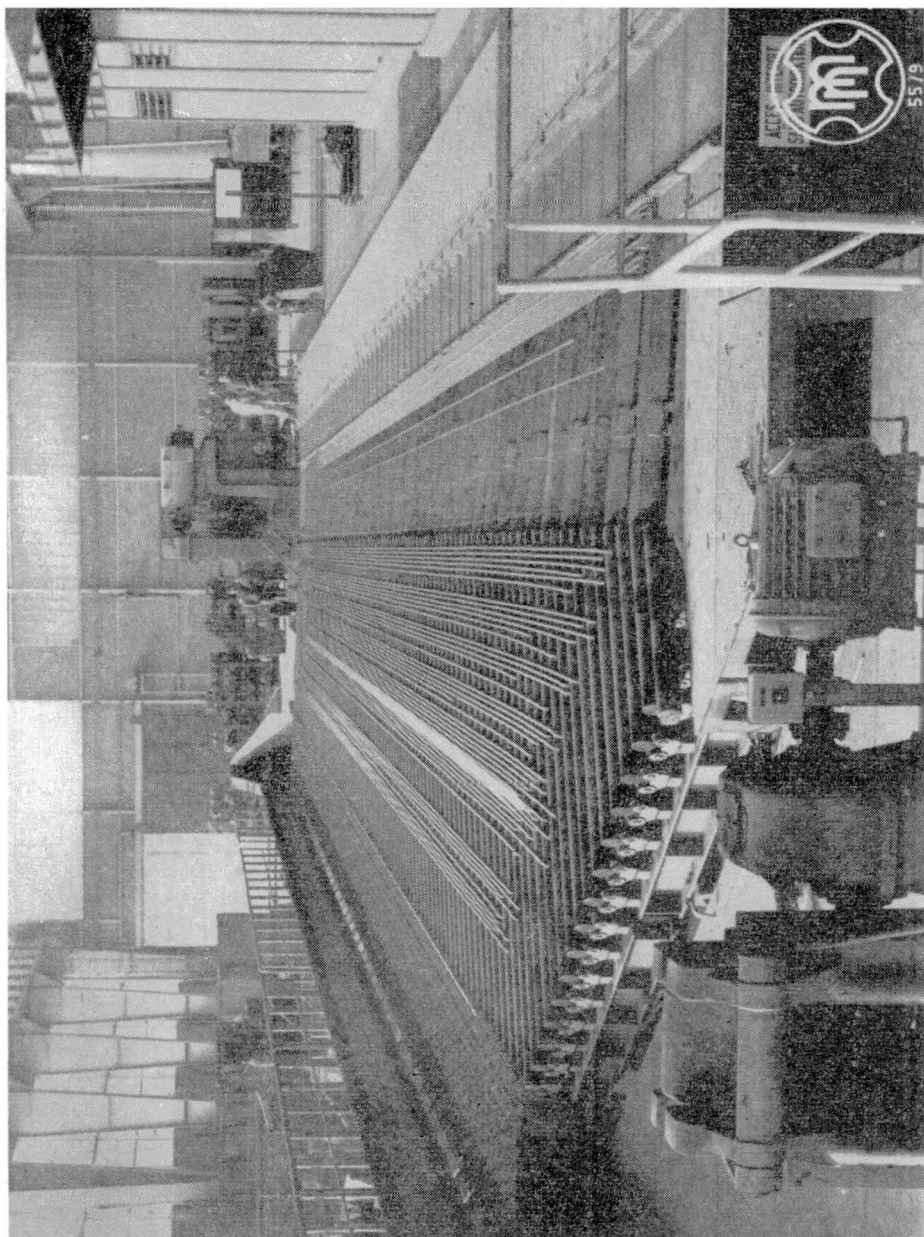


Fig. 12 — Leito de rolos, segundo a figura 10, visto do lado da entrada.

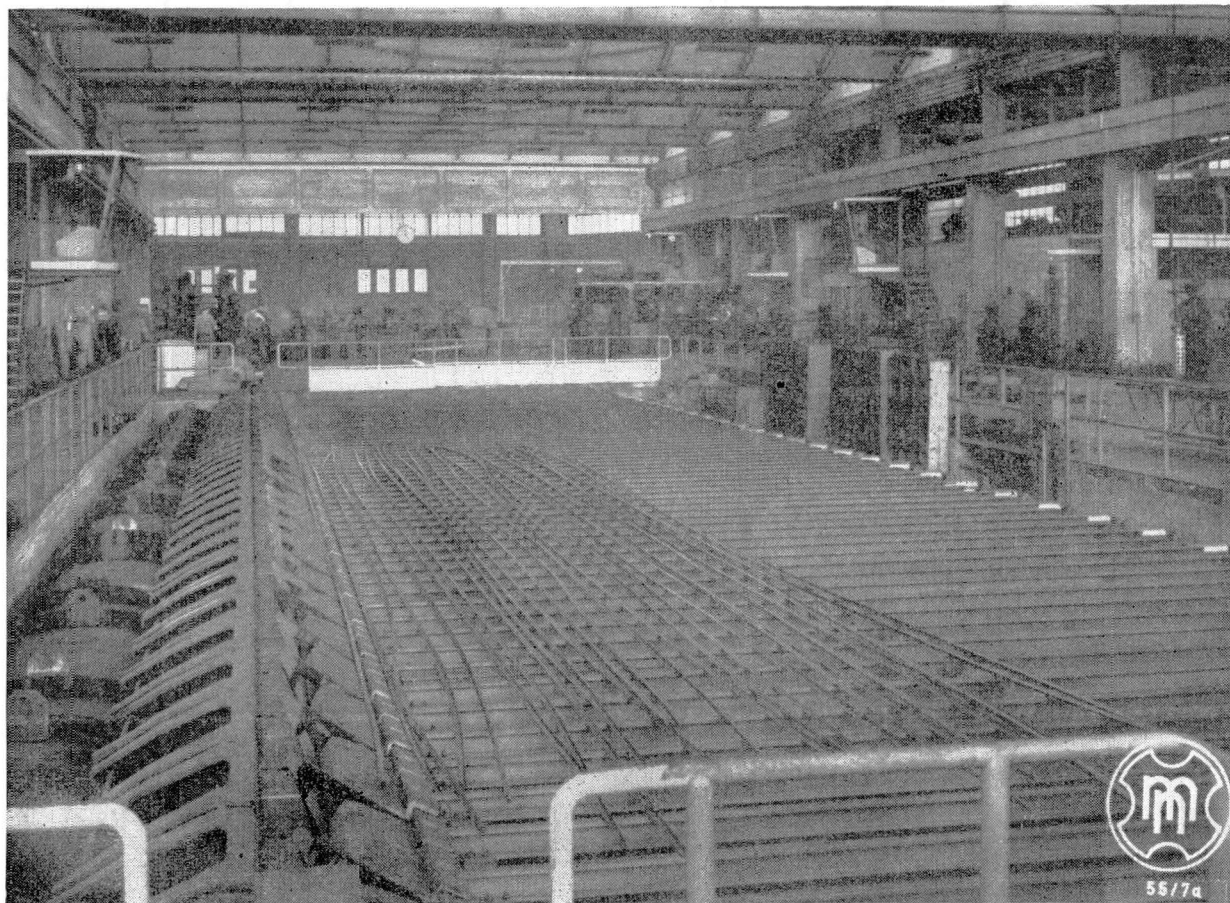


Fig. 13 — Leito de vigas eleváveis, simples, com barras a laminar de comprimento igual ao do leito; a barra vem do trem visível ao fundo, a esquerda.

a barra com a velocidade de laminação, e uma mesa de entrada que agrupe as barras isoladas e as transporte de tal maneira que as mesmas não se choquem. Nesta mesa as barras serão freiadas assim que as pontas fiquem justapostas, e transferidas para o leito de resfriamento próprio dito.

5. OS ELEMENTOS DE UM MODERNO LEITO DE RESFRIAMENTO

A sua função e seu dimensionamento serão mencionados a seguir no exemplo do leito de resfriamento a pentes da figura 9.

1) *A mesa de entrada* — A figura 14 mostra esquematicamente uma mesa de entrada simples. Ela tem a função de remeter as barras cortadas na tesoura rotativa para o leito de resfriamento e aí freiá-las de tal forma que a superfície de resfriamento seja aproveitada ao máximo e que imediatamente após o corte o caminho esteja desimpedido para a barra seguinte. A mesa de entrada está subdividida no seu comprimento total em duas faixas mais ou menos iguais. A faixa afastada do leito tem a sua altura invariável. Nela estão montados rolos motorizados, ligeiramente inclinados, que puxam a barra para o fundo do leito de resfriamento. Os rolos são movidos por motores trifásicos, cujo número de rotações é ajustado por um regulador de frequência conforme a velocidade de laminação. A outra faixa da mesa de entrada é formada por calhas de ferro fundido, móveis no sentido vertical, os chamados “transportadores”, divididos em dois subgrupos comandáveis separadamente. O grupo transportador I se estende da tesoura rotativa até a cabeceira do leito de resfriamento; o grupo transportador II se estende pelo comprimento do leito de resfriamento. Ambos os grupos têm entrada em forma de cunha, que dirigem a barra para a faixa da mesa com rolos, quando os transportadores estão em posição elevada.

A figura 15 mostra o esquema de comando de uma mesa de entrada para uma velocidade máxima de entrada neste leito de resfriamento de 9 m/seg. Uma vez que o processo de freiagem da barra cortada só pode ser iniciado certo tempo depois do corte e como a ponta da barra deve parar no fim do leito de resfriamento, a distância entre a tesoura rotativa e a cabeceira do leito de resfriamento precisa ser um pouco maior que o caminho máximo de deslizamento. Êste é calculado como segue.

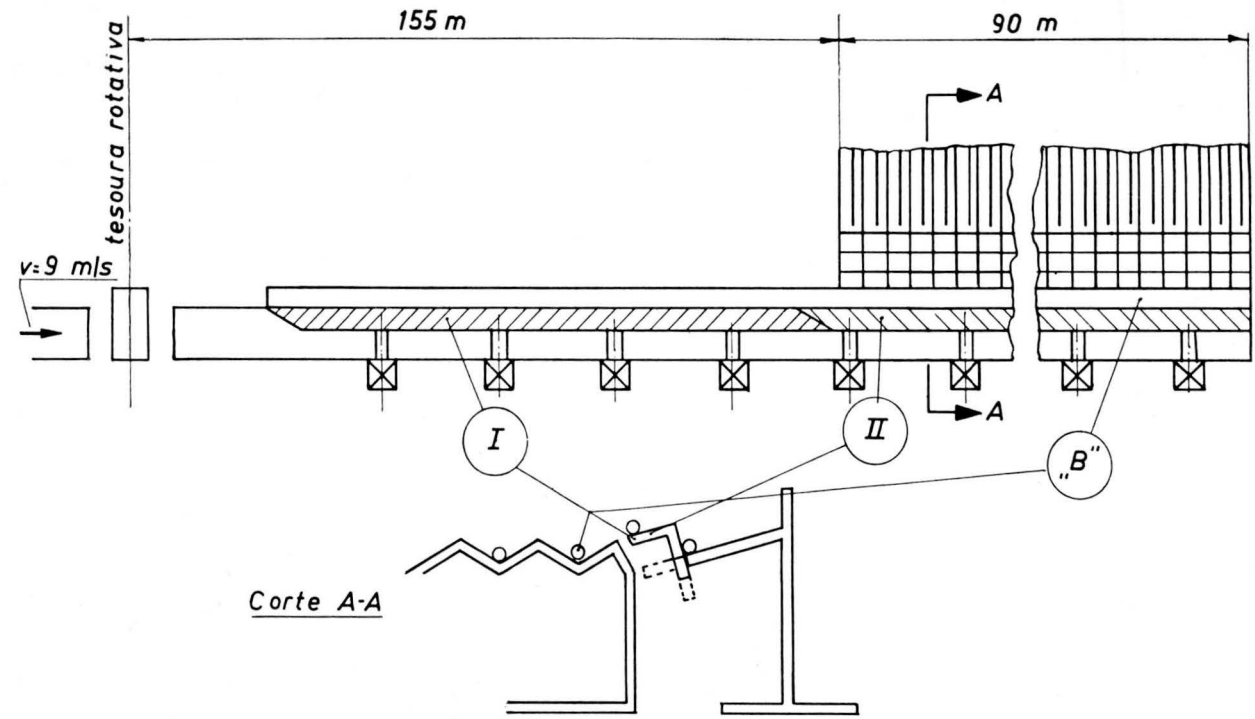


Fig. 14 — Esquema de uma mesa de rolos de entrada, simples, para um leito de resfriamento.

A energia cinética da barra:

$$E_c = \frac{1}{2} \frac{G}{g} \cdot v^2 \text{ (mkg)}$$

deve ser transformada em trabalho de atrito.

$$A = G \cdot \mu \cdot s \text{ (mkg)}$$

Representam:

G = o pêso da barra (kg)

g = 9,81 — aceleração da gravidade (m/seg²)

v = velocidade da barra no início da freiagem (m/seg)

μ = o coeficiente de atrito

s = o caminho de deslizamento (m)

Igualando-se ambas as formas de energia calcula-se o caminho de deslizamento:

$$s = \frac{v^2}{2 g \cdot \mu} \text{ (m)}$$

Com um coeficiente de atrito para o aço rubro de $\mu = 0,3$, resulta uma fórmula aproximada para o caminho de deslizamento:

$$s = \frac{v^2}{6} \text{ (m)} \quad (1)$$

Aqui v é a velocidade de entrada da barra em m/seg. No caso acima exposto o caminho máximo de deslizamento será:

$$s_{\max} = \frac{9^2}{6} = 13,5 \text{ m}$$

A distância da tesoura rotativa à cabeceira do leito de resfriamento foi fixada em 15,15 m. A freiagem deve ser iniciada portanto a $15,15 - 13,5 = 1,65$ m após a tesoura rotativa. Isto equivale a:

$$t = \frac{s}{v} = \frac{1,65}{9} = 0,18 \text{ seg após o corte.} \quad (2)$$

O grupo transportador I está sempre sujeito à mesma seqüência, independente da velocidade variável da barra. O transportador está em posição normal quando erguido. Por isso a barra entrante é dirigida para a faixa da mesa de entrada provida de rolos; 1,32 segundos antes do corte o transportador I começa a abaixar-se e necessita para tal, como para o caminho inverso, 0,33 segundos e permanece 0,66 segundos na posição inferior. Neste tempo a parte posterior da barra desliza dos rolos para o transportador I e com êste é erguida.

O grupo transportador II, nesse intervalo, ainda está erguido; a parte anterior da barra permanece na via dos rolos e é por êles transportada. Para o movimento descendente do grupo transportador II são necessários 1,07 segundo. A fim de que — como acima ficou explicado — o processo de freiagem se inicie 0,18 seg após o corte, o movimento de descida deve ser iniciado a $1,07 - 0,18 = 0,89$ (seg) antes do corte.

O tempo de freiagem calcula-se por:

$$t = \frac{v}{g \cdot \mu} \text{ (seg);}$$

com $\mu = 0,3$, temos:

$$t = \frac{v}{3} \text{ (seg).} \quad (3)$$

No caso do nosso exemplo, $t \cong 3$ segundos imediatamente depois da freiagem, o transportador II sobe para a posição mais elevada e deixa deslizar a barra para a placa de desempeno.

Os leitos de resfriamento antigos possuem, na mesa de entrada, em lugar dos transportadores verticais, aletas rotativas que, para a freiagem, erguem a barra dos rolos e a deixam deslizar sôbre o leito de resfriamento, ou possuem alavancas transportadoras que, após transportarem uma barra, precisam retornar à posição inicial antes que a barra seguinte possa entrar. Neste caso a velocidade da mesa de entrada foi fixada com um valor bem maior do que a velocidade de laminação, para que o pedaço da barra cortado pela tesoura rotativa atinja uma certa distância sôbre a barra seguinte, sendo possível assim o retôrno das peças eleváveis à posição inicial.

Já que, como exposto, o caminho de deslizamento (e com isto a distância da cabeceira do leito de resfriamento à tesoura rotativa) crescem com o quadrado da velocidade de entrada, o aumento de velocidade da barra conduz a um desnecessário aumento do comprimento da mesa de entrada.

No caso das construções recentes, anteriormente descritas, a velocidade periférica dos rolos da mesa de entrada é bem pouco maior que a velocidade de laminação, para que os perfis menores, que possuem rigidez insuficiente, entrem sob uma tração permanente em linha reta no leito.

2) *A placa de desempenho e o sistema de pentes fixos* — Imediatamente ao lado a mesa de entrada situa-se, por todo o comprimento do leito de resfriamento, uma placa dentada com 0,8 a 1,3 m de largura. Através do sistema de pentes eleváveis, as barras são movidas de vão em vão entre os dentes. Elas ficam assim apoiadas em posição inteiramente nivelada por todo o comprimento, e resfriam até ao ponto de poderem ser passadas, sem entortar, para o sistema de pentes rígidos, pelos quais as barras ficam apoiadas somente sobre distâncias de aproximadamente 0,75 m.

3) *O sistema de pentes móveis* — Por meio de um mecanismo excêntrico, os pentes eleváveis descrevem um movimento circular ou também elíptico. Com os seus dentes eles erguem as barras depositadas nos vãos da placa de desempenho e as colocam uma divisão adiante em cada ciclo de trabalho. Cada ciclo é despertado pela barra seguinte entrante no leito. A divisão dos dentes é determinada pelo maior perfil a ser resfriado. O número dos vãos necessários e a correspondente largura do leito de resfriamento, são calculados a partir do tempo de resfriamento necessário e da seqüência das barras.

Enquanto que antigamente se partia de bases empíricas para determinar a largura do leito de resfriamento, foi possível aos pesquisadores húngaros A. Geleji e E. Kiss determiná-la, partindo de cálculos. Encontraram a seguinte fórmula para o tempo de resfriamento i :

$$i = \frac{p \cdot c \cdot \ln \frac{t_a}{t_c}}{\alpha \cdot x_0} + C \text{ (min)} \quad (4)$$

Significam:

p = peso métrico da barra em kg/m

c = calor específico do aço rubro, em média — 0,130 kcal/kg . °C

α = coeficiente de passagem de calor da grade rubra formada pelas barras a serem resfriadas em kcal/m² . min . °C. Empíricamente esse valor foi determinado conforme figura 16.

x_0 = a distância em m entre as barras no leito de resfriamento

t_a = temperatura inicial do laminado na entrada do leito de resfriamento (ca. de 900°C)

t_c = a temperatura final do laminado na saída do leito (ca. de 100°C)

C = constante

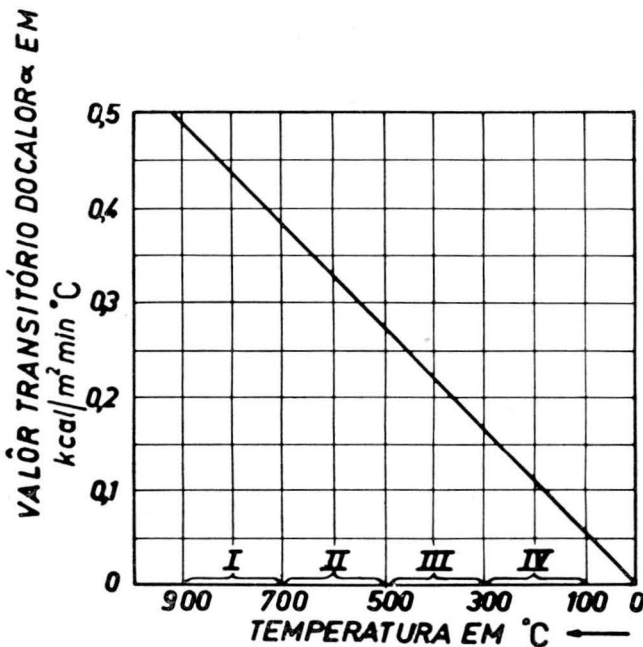


Fig. 16 — Coeficiente de transmissão do calor " α ", segundo as experiências de Geleji-Kiss.

O Professor alemão Herbert Sedlaczek chegou a uma fórmula um pouco diversa:

$$i = \frac{p \cdot c \cdot \ln \frac{t_a}{t_c}}{\alpha \cdot V \cdot U} + C \text{ (min)} \quad (5)$$

onde U é o perímetro, em metros, do produto laminado. Os outros símbolos têm a mesma significação que na fórmula (4).

No "Neunkirchner Eisenwerk", Saar/Alemanha, foram feitas diversas experiências sobre os tempos de resfriamento em leitos. A tabela conforme figura 17 mostra a comparação dos resultados das provas com os resultados obtidos pelas fórmu-

Nr.	a	b	c	d	e	f	g	h	i
	BITOLA D mm	Peso métrico das barras laminadas g kg/m	$\frac{g}{\sqrt{U \cdot l_1}}$ $\left[U = \frac{D \cdot \pi}{1000} \right]$ $l_1 = 1 \text{ m}$ kg/m	$x_0 = 10 D$ $x_0 = 15 D$ m	TEMPO DE ESFRIAMENTO i EM Min				
					ensaio Neunkirchener min	segundo formula (9) de Geleji-Kiss			Seg. form. (10) transf. de Sedlaczek form. (9)
						sendo $x_0 = 0,150$ min	sendo $x_0 = 10 D$ min	sendo $x_0 = 15 D$ min	
									sendo $x_0 = \sqrt{U \cdot l_1}$ C=3
<i>Ensaios Neunkirchener</i>									
1	9,5	0,56	3,24	0,095	9,00	6,76	10,65	7,12	8,86
2	15,8	1,55	6,95	0,1425	16,00	18,68	17,80	11,80	15,60
3	21,7	2,93	11,25	0,237	25,00	35,40	24,40	16,30	23,40
4	32,0	6,30	20,00	0,3255	39,00	76,80	35,60	24,00	39,30
5	38,0	8,90	25,80	0,480	51,00	108,80	42,40	28,30	49,70
6	46,0	13,00	34,20	0,380	65,00	157,50	51,10	34,10	65,00
<i>EXEMPLOS MATEMÁTICOS E Nr 2 ENSAIOS PRÁTICOS DE GELEJI-KISS</i>									
1	10,0	0,62	3,49	0,100	—	7,50	11,20	7,50	9,32
2	18,0	2,00	8,40	0,150	ensaio	24,20	20,01	13,40	18,20
3	20,0	2,45	9,82	0,180	Geleji Kiss	29,70	22,20	14,80	20,80
4	25,0	3,83	13,70	0,270	22,00	46,30	27,70	18,50	27,80
				0,200	—				
				0,300					
				0,250					
				0,375					

Fig. 17 — Tabela das experiências da usina siderúrgica Neunkirchener Eisenwerke, Saar, Alemanha, em comparação com os resultados calculados para as mesmas condições, pelas fórmulas Geleji-Kiss e Sedlaczek.

las (4) e (5). Daí resulta que a fórmula de Sedlaczek se aproxima mais dos valores obtidos na prática.

A largura do leito de resfriamento b em metros é:

$$b = v_a \cdot i \quad (6)$$

onde v_a é a velocidade média de fornecimento do leito de resfriamento (fig. 18).

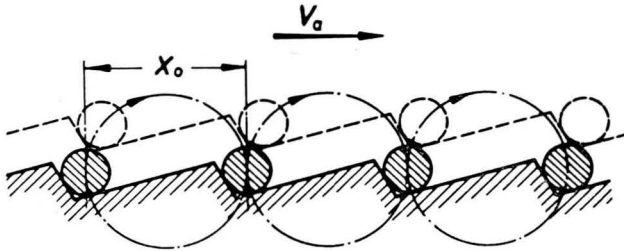


Fig. 18 — Velocidade do movimento lateral das barras v_a , em metros por segundo.

O período entre dois cortes na tesoura rotativa é de:

$$t_s = \frac{l}{v_w} \quad (\text{seg}) \quad (7)$$

Significam:

v_w = velocidade de laminação (m/seg)

l = comprimento do leito de resfriamento (m)

Neste intervalo de tempo tôdas as barras são passadas de um vão para outro numa distância de x_o (m) para adiante.

A velocidade de fornecimento v_a do leito de resfriamento calcula-se, portanto, da velocidade de laminação:

$$v_a = \frac{x_o}{t_s} = \frac{x_o \cdot v_w}{l} \quad (\text{m/seg}) \quad (8)$$

O número de barras z que entra no leito em cada segundo é de:

$$z = \frac{1000 \cdot Q}{60 \cdot 60 \cdot l \cdot p} \quad (1/\text{seg}) \quad (9)$$

Q = capacidade de laminação em t/hora

p = pêsso métrico da barra em kg/m

A velocidade de fornecimento do leito que se calcula a partir do número de barras z (1/seg) e da divisão dos vãos x_o (m) entre os dentes, é de:

$$v_a = z \cdot x_o \text{ (m/seg)} \quad (10)$$

Introduzindo-se o valor de z da fórmula (9) na fórmula (10):

$$v_a = \frac{1000 \cdot Q \cdot x_o}{60 \cdot 60 \cdot l \cdot g} = 0,277 \frac{Q \cdot x_o}{l \cdot g} \text{ (m/seg)} \quad (11)$$

Introduzindo-se a fórmula (10) na fórmula (6), obtém-se a largura do leito de resfriamento:

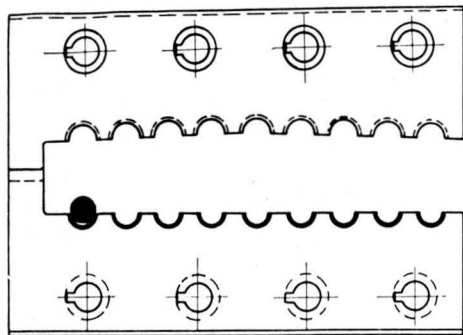
$$b = 0,277 \cdot \frac{Q \cdot x_o}{l \cdot g} \cdot i \text{ (m)} \quad (12)$$

onde i é calculado pela fórmula (5).

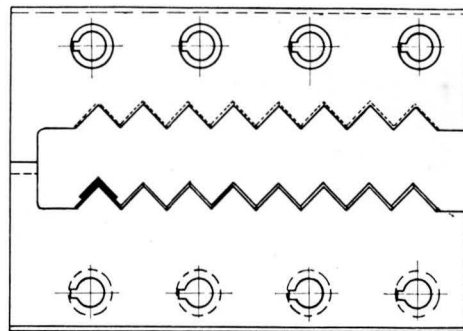
4) *O dispositivo oscilante* — A largura das facas da tesoura a frio atrás dos leitos de resfriamento é normalmente escolhida de tal maneira que possa ser cortado ao mesmo tempo, um número maior de perfis resfriados, já que de outra forma não se teria tempo de cortar a produção total em comprimentos comerciais.

O número de barras que pode ser conduzido ao mesmo tempo à tesoura depende da secção, do perfil e da forma das mesmas, já que no interesse de se obter arestas sem rebarbas, são utilizadas lâminas multiperfiladas (vide figura 19). A formação de grupos para a tesoura a frio inicia-se parcialmente no sistema de pentes, por meio de intervalos vazios nos ciclos de operação de transportes e, em outra parte, nos rolos de um leito de resfriamento a rolos, mudando-se temporariamente a velocidade dos mesmos. Na figura 12 êstes grupos são reconhecíveis. O dispositivo transportador do leito de resfriamento para a mesa de saída deve manter os grupos separados entre si ou então formá-los em primeiro lugar. Êle deve também servir como armazenamento, no qual os grupos de barras são retidos até que a tesoura possa recebê-los. Para êstes dispositivos foram criados numerosos sistemas.

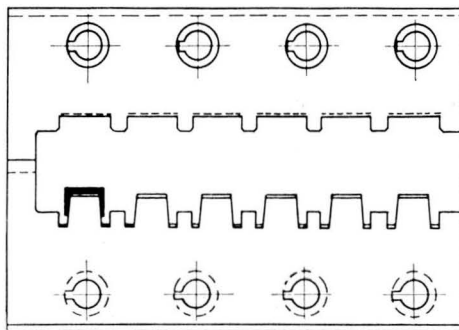
Freqüentemente utilizado é um sistema de pares de vigas oscilantes (Wimmler). A maneira de trabalho seja explicada pela figura 9. No eixo A há diversos pares de discos excêntricos que têm as suas direções de excentricidade modificadas



Lamina da tesoura p. aço redondo acima de 20⁶



Lamina da tesoura p. ferro cantoneira



Lamina da tesoura p. ferro U

Fig. 19 — Facas perfiladas de tesouras a frio, para perfis diversos.

alternadamente de 180°. Sobre estas estão localizados pares de barras chatas lisas, cujas extremidades opostas são ligadas com o eixo B sobre as juntas C. Mais ou menos no meio, entre o sistema de pentes e a mesa de saída, estão dispostas aletas viráveis que retêm um grupo de barras, transportado lateralmente, quando as aletas estão em posição erguida, permitindo o transporte lateral quando em posição abaixada. O mesmo efeito se consegue pelo canto E da placa de cobertura na mesa de saída. Quando as extremidades das barras oscilantes, fixadas nas juntas C, estão na posição inferior, como está indicado na figura 9, o transporte lateral dos laminados é obstado pelo canto E. Virando-se o eixo B de 180°, a superfície das barras oscilantes está acima do canto E e o transporte lateral continua. Os dois sistemas de parada podem funcionar ao mesmo tempo ou separadamente.

6. PARTICULARIDADES DE CONSTRUÇÃO DOS LEITOS DE RESFRIAMENTO

Principalmente três fatores dificultam a construção de leitos de resfriamento modernos:

- a) O grande comprimento das instalações. A sincronização do movimento de grande número de partes pesadas do leito de resfriamento com o pesado carregamento das mesmas, requer grande precisão de construção.
- b) A rápida seqüência das barras. Se a velocidade de entrada comportar, por exemplo, 14 m/seg e o comprimento do leito de resfriamento for de 45 m, haverá apenas 3,2 seg disponíveis para um ciclo de trabalho. Já que diversos ciclos devem se seguir a tempos determinados, é necessário um cálculo exato dos tempos.
- c) O grande aquecimento do leito através do material a ser resfriado.

Todos os componentes da instalação devem prever a livre dilatação dos mesmos. Apesar disso, as grandes massas a serem aceleradas devem ser conduzidas com exatidão. Grandes espaços (onde as barras passantes com grande velocidade possam penetrar e serem retidas), bem como arestas que possam danificá-las, devem ser evitados na mesa de entrada. Somente com base em larga experiência de construção poder-se-á instalar leitos de resfriamento econômicos e seguros. Erros de planejamento poderão ser corrigidos apenas com despesas elevadas.

7. LIMITES ECONÔMICOS DE LEITOS MODERNOS DE RESFRIAMENTO PARA PERFIS PEQUENOS

a) *Menor perfil a ser resfriado* — Já foram construídos grandes leitos de resfriamento para perfis de 6 mm Ø. Nestes casos, todavia, são necessárias medidas construtivas excepcionais que, por um lado, aumentam as despesas de aquisição e, por outro lado, diminuem a segurança no serviço e aumentam as despesas de manutenção. Por estes motivos toma-se em geral 8 mm Ø como limite inferior para a rentabilidade de leitos modernos de resfriamento. Barras com medidas menores são de preferência bobinadas a quente, endireitadas e cortadas a frio.

b) *Velocidade máxima de entrada* — É limitada sobretudo por dois fatores:

- 1) *A velocidade máxima da tesoura rotativa*, cujas lâminas devem ser aceleradas a partir da posição de repouso até a velocidade da barra, em uma parte da rotação. Tesouras que só possuem uma lâmina em função, que prensa o material a ser cortado contra um tambor rotativo, diminuem as massas a serem aceleradas para a metade e podem por isto alcançar velocidades maiores que tesouras com duas lâminas trabalhando.
- 2) *O caminho de freiagem da barra cortada* (conforme citado no § V, 1). Em geral vale hoje o limite de 14 m/seg como máxima velocidade econômica de entrada.

c) *Comprimento e largura de leitos de resfriamento* — Leitos de resfriamento muito longos conduzem a investimentos elevados, pois não apenas a área necessária, mas também os dispositivos de entrada e de saída crescem proporcionalmente ao comprimento do leito de resfriamento. É mais conveniente aumentar a superfície de resfriamento no sentido da largura, ou utilizando-se o leito a rolos, que permite um aproveitamento melhor da superfície, como foi explicado no parágrafo 2. Quando a seqüência das barras é menor que o tempo de deslizamento, precisam-se construções especiais para a mesa de entrada.

8. DESENVOLVIMENTOS PARA A MELHORA DE LEITOS DE RESFRIAMENTO

1) *Disposições para o encurtamento dos leitos* — Da fórmula (3) calcula-se o tempo de deslizamento da barra:

$$t = \frac{v}{3} \text{ (seg).}$$

A mesma é, com um certo coeficiente de atrito, uma função da velocidade de entrada.



Fig. 20 — Leito a pentes eleváveis. Vista do sistema de evacuação e da mesa de rolos de saída.

A seqüência das barras é calculada pela fórmula (7):

$$t_s = \frac{v}{v_{te}} .$$

Para uma determinada velocidade de laminação a seqüência é, portanto, função do comprimento do leito de resfriamento.

No caso da construção descrita no § V, 1, para o trem com um só grupo transportador em todo o comprimento do leito, a seqüência das barras não pode ser menor que o período de deslizamento somado ao tempo exigido pelo levantamento do mesmo. Uma determinada produção de laminação requer, portanto, um comprimento mínimo para o leito de resfriamento.

Em leitos de resfriamento mais recentes já foram alcançadas velocidades de entrada até 14 m/seg. O tempo de deslizamento é neste caso de 4,65 segundos. Se se calcular o tempo necessário para o levantamento da barra com 1 segundo, a seqüência mínima das barras deveria ser de:

$$t_s = 4,65 + 1 = 5,65 \text{ seg.}$$

Da fórmula (7) resultaria um comprimento mínimo para o leito de resfriamento de:

$$l = t_s \cdot v_w = 5,65 \cdot 14 = 79 \text{ m.}$$

Experiências feitas com a finalidade de encurtar o espaço de deslizamento e os respectivos tempos não levaram a resultados satisfatórios, sobretudo porque o material podia ser arranhado ou deformado.

Um outro meio para encurtar o comprimento do leito de resfriamento foi o da instalação de duas calhas de entrada, para as quais se dirigem alternadamente, por um desvio, as barras laminadas em uma veia. O levantamento das barras faz-se ao mesmo tempo para ambas as barras depois de terem sido freiadas. Isto significa que a barra que chegou primeiro deve esperar a segunda, bloqueando a calha para a barra seguinte. Além disso são necessárias partes suplementares complicadas, como o desvio e a segunda calha de entrada por todo o comprimento do leito.

A solução, descrita adiante — menção do Sr. Buchheit — patenteada pela firma Moeller & Neumann, necessita somente uma calha de entrada e, com uma velocidade máxima de entrada de 14 m/seg, exige um comprimento de apenas 48 m, significando um encurtamento de 61% sobre o comprimento acima calculado. Além disso, para esse leito de resfriamento fez-se necessária uma velocidade mínima de entrada de 2 m/seg.

A figura 21 mostra o trem de rolos de entrada deste leito de resfriamento. Por A é indicada a calha de entrada provida de rolos. I, II, III, IV e V são os grupos do levantamento separados, B e C as calhas fixas.

É função dos grupos de levantamento, ou dar lugar à cabeça da barra seguinte, erguendo o fim da barra anterior (trans-

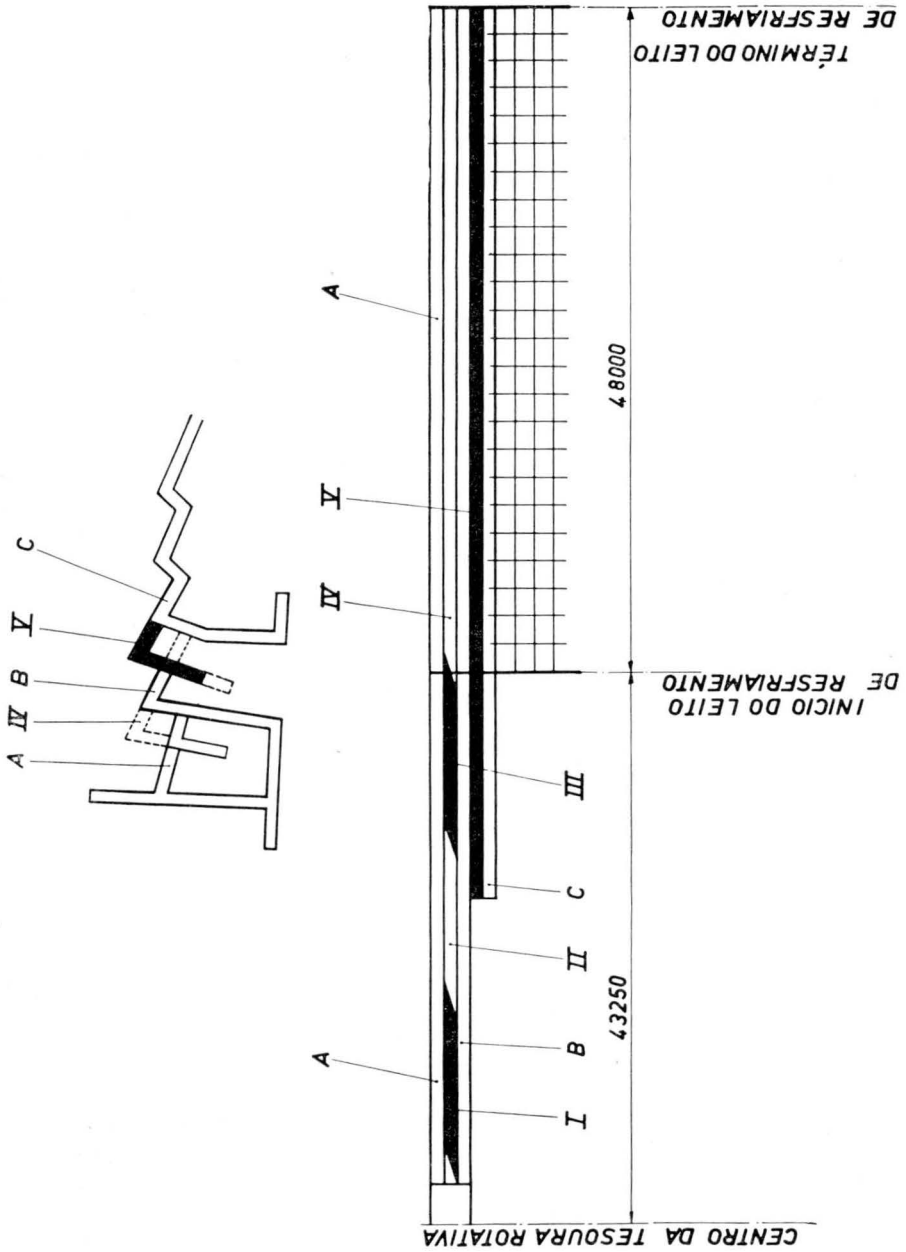


Fig. 21 — Mesa de entrada sistema Moeller & Neumann.

feridor desviante), ou levantar a barra da calha anterior (transferidor elevável).

Com uma velocidade de entrada de 14 m/seg, o caminho de deslizamento comporta 32,5 m. Neste caso o transferidor I trabalha como transferidor desviante; os grupos II, III e IV são ligados e trabalham como um só transferidor elevável.

Se a velocidade de entrada fôr de apenas 6 m/seg, o caminho de deslizamento será de 6 m. E então o grupo III trabalha como transferidor desviante e somente o grupo IV como transferidor elevável.

Com velocidade de entrada de 2 a 4,5 m o grupo IV tem ambas as funções, isto é, transferidor desviante e elevável. Os grupos situados antes do transferidor desviante são desligados e formam uma parte da calha de entrada.

Com uma velocidade de entrada de 14 m/seg, o tempo de deslizamento de 4,65 seg é maior que a seqüência possível das barras, calculado na base do comprimento do leito de resfriamento (3,4 seg).

Nestas condições, a barra transferida pelos grupos II até IV para a calha fixa B ainda está em movimento longitudinal quando a barra seguinte deve ser erguida da calha fixa. Neste caso, o grupo transferidor V abaixa quando é chegado o tempo e passa a barra à calha fixa C, na qual ela é definitivamente freiada e erguida pelo sistema de pentes eleváveis.

Com êste novo comando de direção podem-se construir leitões de resfriamento relativamente curtos em relação à velocidade de entrada, podendo-se também ultrapassar o limite da velocidade de entrada citada no § III se se adquirir leitões de resfriamento mais longos.

2) *Tesouras rotativas com cabeçote planetário* — No § VII foi explicado que a velocidade máxima da tesoura rotativa limita a velocidade de entrada no leito de resfriamento. Para superá-la foram desenvolvidas recentemente construções, nas quais dentro da lamina de corte rotativo é colocado um mecanismo de movimento planetário. Se a roda planetária tiver a metade do número de dentes da roda central, a ponta de uma faca montada na roda planetária terá uma velocidade periférica duas vezes maior do que se fôsse montada diretamente no suporte da mesma, sendo o mesmo o diâmetro da roda de lâmina. A energia necessária para a aceleração fica, porém, praticamente a mesma.

3) *O problema das barras de comprimentos menores* — Se se deixar a tesoura rotativa cortar comprimentos idênticos à extensão do leito de resfriamento, poderão formar-se pequenos

restos que, ou colocarão em perigo o funcionamento normal do leito (menores que 3 metros) ou produzirão comprimentos comerciais desfavoráveis. Tem-se atualmente a possibilidade de medir o corte da última barra através de células foto-elétricas. Se restar um pedaço menor que 3 m, que colocaria em dificuldades o funcionamento do leito de resfriamento, o último corte será automaticamente suspenso.

Da mesma maneira o último corte pode ser efetuado já pouco antes de se alcançar o comprimento normal de corte, a fim de que o pedaço restante possa ser utilizado como comprimento normal de comércio.

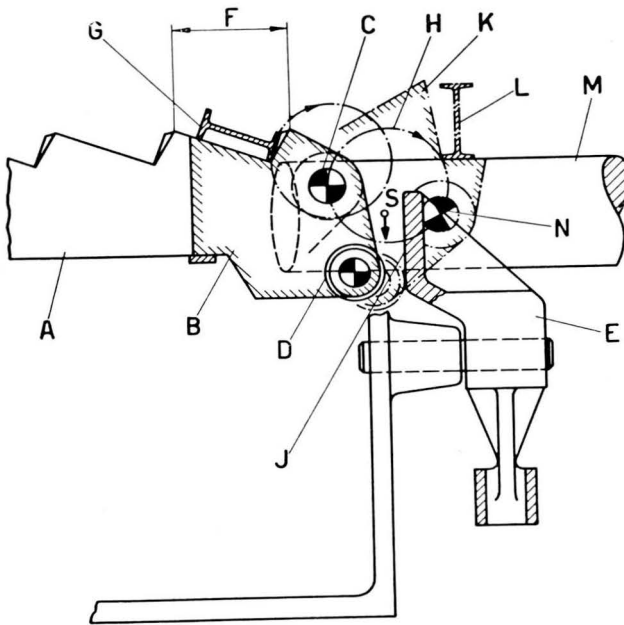


Fig. 22 — Instalação para levantar perfis na posição em pé.

4) *Dispositivo ordenador antes dos rolos de um leito de resfriamento de resfriamento misto* — Já foi anteriormente exposto que os modernos leitos de resfriamento, que devem resfriar também perfis menores, possuem antes dos rolos uma placa de desempenho, com pentes eleváveis. Por esta disposição obtêm-se barras mais retas. Caso na programação constem também perfis que exponham área menor de resfriamento, erguidas a pé, como por exemplo vigas "I", é necessário prever um dispositivo ordenante na parte transferidora dos pentes eleváveis aos rolos.

A figura 22 mostra um dispositivo que ergue os perfis sem utilizar energia motriz própria e que conduz a um aproveitamento muito lucrativo da área de resfriamento provida de rolos. No fim dos dentes eleváveis A estão fixadas alavancas duplas B pivotadas sobre o eixo C . Estas barras estão representadas com o contorno tracejado. Nelas está afixado o rôlo livre D , que se situa ao mesmo nível da alavanca emergível E , caso esta se encontre em posição erguida. O espaço F entre os dentes da alavanca B está em alinhamento com um vão de mesmo formato da placa de desempenho. Neste vão foi depositado no ciclo anterior, pelo processo acima exposto, o perfil G . Cada ponto do dente elevável e do perfil por ele transportado executa o movimento circular H .

No período de serviço seguinte do dente elevável, o rôlo móvel D se move até a parede J da barra E , orienta-se à posição K , depõe o perfil erguido para a posição L nos rolos M e retorna ao seu movimento circular para baixo do canto superior dos rolos, retomando a sua posição inicial, já que seu centro de gravidade S se situa à esquerda do centro de rotação N . A velocidade de transporte dos rolos M pode ser escolhida como um valor tão pequeno que o perfil G seja transferido durante o intervalo de tempo até a próxima operação, de tal forma que se tenha exatamente o lugar necessário para o perfil seguinte.

Para o resfriamento de perfis que não precisam ser erguidos, a barra E é colocada em posição oblíqua pela lingüeta N , de modo que o rôlo D não mais se choque com o perfil. Neste caso a alavanca B trabalha apenas como prolongamento do dente elevável e deposita o laminado em posição horizontal sobre os rolos. Já que a posição da alavanca E só precisa ser modificada com a mudança de programação, essa modificação pode ser feita manualmente.

BIBLIOGRAFIA

1. THEODOR DAHL — *“Bauart und Arbeitsweise von Kuehlbetten fuer Stabstahlstrassen”*. Stahl u. Eisen, 73, págs. 1659-1663, 1953.
2. HERBERT SEDLACZEK — *“Die theoretischen Grundlagen bei der Bemessung von Kuehlbetten”*. Stahl u. Eisen 74, págs. 652-654, 1954.
3. E. C. PETERSON — *“Performance factors affeting Bar Mill Cooling Bed Arrangement”*. Iron and Steel Engineer Year Book, págs. 443-452, 1955.
4. FRITZ GREUL — *“Ajustageeinrichtungen in Feinstahlwzwerken”*. VDI — Zeitschrift 100, Nr. 30, págs. 1444-1452, 1958.
5. HANS-GUENTER VOGELSANG — *“Steuerung von Kuehlbetten und Kuehlbettscheren”*. Stahl u. Eisen 80, págs. 1067-1072, 1960.

DISCUSSÃO

POSSIBILIDADES DE AUMENTO DE PRODUÇÃO DAS
GAIOLAS DESBASTADORAS EM TRENS ABERTOS DE
PERFIS PEQUENOS (1)

WERNER WEBER e GERD DITTMAR

Presidente: ROBERTO H. NICKHORN

R. H. Nickhorn (2) — O Autor, Eng. Werner Weber, chegou recentemente ao Brasil e pede desculpas por não poder expressar-se corretamente em português. Se algum dos presentes formular alguma pergunta, para ela o Eng. Vladimir Gultzgoff servirá de intérprete.

Jardel Borges Ferreira (3) — O texto descreve um Trem Desbastador com duas gaiolas dispostas obliquamente. No entanto, na figura 13 não aparece essa disposição.

V. Gultzgoff (4) — A palavra obliquamente se refere ao fato que uma linha teórica, passando pelo centro das gaiolas sucessivas, é oblíqua em relação à direção geral que segue o produto laminado. As gaiolas não são colocadas obliquamente, portanto, e sim são lateralmente destacadas, uma em relação à outra.

Ernesto Oderich Sob. (5) — O Autor citou o caso das dobradeiras «Schoepf», dizendo que servem para dobrar perfis chatos. Pergunto se não servem elas para dobrar ovais.

V. Gultzgoff — As dobradeiras «Schoepf» são igualmente utilizáveis para perfis ovais. De um modo geral, a dobragem de perfis que apresentam um eixo de ductibilidade preferencial é mais fácil que a dobragem de perfis inteiramente simétricos (redondos e quadrados).

E. Oderich — Como Vv. Ss. resolvem o problema de rotação em um ângulo de 90° com essas dobradeiras «Schoepf»?

V. Gultzgoff — A armação na saída da gaiola é prevista de modo a dar o impulso de rotação, movimento este que é completado antes da entrada sucessiva.

E. Oderich — Quais os limites dessas dobradeiras «Schoepf»?

V. Gultzgoff — Dentro do trabalho apresentado foi indicado que essas dobradeiras já foram executadas para ovais de 160 × 45 mm. Para os quadrados, o limite se situa entre 55 e 60 mm. O limite inferior é da ordem de 15 mm.

(1) Contribuição Técnica discutida na Comissão «F» do XVI Congresso Anual da ABM; Pôrto Alegre, julho de 1961.

(2) Membro da ABM e Diretor da Cia. Siderúrgica Riograndense; Pôrto Alegre, RS.

(3) Membro da ABM; Engenheiro da Moeller & Neumann do Brasil; São Paulo, SP.

(5) Membro da ABM; Engenheiro da Siderúrgica Rio Grandense S/A.; Pôrto Alegre, RS.