

MODERNOS TRENS DE LAMINAÇÃO DE TIRAS A QUENTE ⁽¹⁾

M. F. DOWDING, C. STURDY e A. A. THOMAS ⁽²⁾

RESUMO

Os modernos trens de laminação de tiras a quente devem ser concebidos para operar com placas super-pesadas, para bobinas com pêso de cerca de 180 kg por cm de largura de tira. As cadeiras devem ser mais pesadas e os motores mais potentes para permitir maiores reduções e melhorar a qualidade da chapa. No detalhamento do projeto são concebidos melhoramentos com o objetivo de reduzir tempo de parada e manutenção. Previsões são feitas em todos os pontos para permitir a instalação de controles automáticos, especialmente os de bitolas.

1. LAMINADORES DE TIRAS

O presente artigo advoga o emprego de bobinas mais pesadas, expressas em termos de quilos por centímetro de largura de tira, as quais vêm sendo adotadas nas mais recentes instalações. Anteriormente o peso da bobina mais pesada se situava ao redor de 120 kg por cm de largura de tira, enquanto que para grandes produções e uma eficiência máxima este artigo preconiza pesos de bobina de 180 kg por cm de largura de tira.

Ao se considerar o uso das placas pesadas, deve-se prestar atenção especial ao investimento inicial necessário ao seu uso. Em primeiro lugar, qualquer aumento no pêso da bobina implica num aumento de comprimento da instalação laminadora, a fim de comportar os esboços laminados mais longos em cada passe na laminação; isto, por seu turno, conduz a custos adicionais de obras civis. Por outro lado, uma outra característica muito importante é a do custo do equipamento elétrico necessário para o aumento de pêso das bobinas.

Devido às limitações na velocidade de saída por certos produtos, há uma limitação correspondente na velocidade de entra-

(1) Contribuição Técnica nº 521. Conferência proferida nno XVIII Congresso Anual da ABM; Belo Horizonte.

(2) Engenheiros do corpo técnico da Davy & United Engineering Co. Ltd.; Londres.

da no trem acabador do laminador de tiras. Quanto mais pesada a bobina e, portanto, maior o esboço laminado na mesa de espera, entre as cadeiras esboçadoras do trem acabado, maior a perda de calor na parte extrema do esboço em relação à sua extremidade de frente. Até 100 kg por cm de largura de tira, a queda de temperatura não é séria; porém, com os esboços mais longos, conforme sugerido, a diferença de temperatura pode atingir 150°C, para ciclos de laminação compreendidos entre 80 e 90 segundos.

Isto resulta num aumento da potência necessária da ordem de 33% para a extremidade final, quando comparada com a potência consumida na extremidade de frente. Esta dificuldade não é insuperável, desde que seja possível justificar economicamente a potência-extra; mas, à medida que a parte extrema arrefece, a resistência à laminação cresce e problemas referentes à forma da tira aparecem. A forma da tira (*) depende de muitos fatores, um dos quais é a flexão resultante nos cilindros do laminador durante a aplicação de carga; se essa carga se modifica apreciavelmente enquanto um esboço está sendo laminado, então a forma da tira produzida será do mesmo modo modificada. No exemplo citado, o aumento da resistência à laminação, de extremidade a extremidade, é também da ordem de 33%, o que pode com certeza ocasionar problemas de forma.

Uma solução para manter o efeito temperatura/tempo num nível mínimo é o de introduzir-se o esboço no trem acabador contínuo a uma certa velocidade até que a tira, correndo sobre a mesa de saída, atinja a bobinadora e seja por ela fortemente agarrada, quando então a velocidade do trem acabador é aumentada de maneira a manter o tempo de passagem através do mesmo, inferior a 90 segundos. Isto certamente exige potência adicional, correspondendo à maior velocidade e aceleração, a qual pode ser mantida dentro de limites razoáveis ao se limitar a largura na qual o pêso máximo de bobina, em termos de kg por cm de largura de tira, é laminado, ao se reduzir o pêso da bobina acima daquela largura. É possivelmente verdadeiro dizer-se que a maioria dos laminadores para tiras largas comportam uma largura média de tira em torno de 1 m a 1,20 m e que, portanto, seria êste o ponto lógico de começar-se a decrescer o pêso da bobina. Gostaríamos de acentuar que êste não é um problema de bitola o qual pode ser sanado pelo controle de bitola; é pura e simplesmente um problema relacionado com a forma da tira e a potência do laminador.

Tentamos na Figura 1 ilustrar o assunto um pouco mais claramente. A coordenada do gráfico representa o pêso de bobina

(*) Shape = forma da tira, isto é, uniformidade de bitola, grau de aplainamento, aparência, etc.

em libras por polegada, o qual é claro que está diretamente relacionado ao comprimento do esboço laminado na mesa de espera, enquanto que a abscissa horizontal nos mostra a largura da tira. Calculamos então dois conjuntos de valores, um para 8.000 HP por cadeira do trem acabador (linha contínua no gráfico) e outro para 10.000 HP (linha pontilhada). O gráfico já leva em consideração a aceleração para manter o tempo de laminação em 90 segundos e representa as condições reinantes quando se lamina a extremidade mais fria da tira. Mostra o que é possível ser laminado com larguras diferentes, se a potência para a extremidade da tira fôr limitada até 25% de sobrecarga. Para se citar um exemplo, êste gráfico ilustra que, para um pêso de bobina de 160 kg/cm de largura de tira e 8.000 HP podemos laminar até uma certa largura, com o pêso máximo da bobina. Daí por diante, supondo que se deseje partir de um esboço com 1 polegada até reduzi-lo à espessura de 0,1 de polegada, é preciso então, para manter a potência dentro da sobrecarga admitida, de seguirmos a linha que dá o decréscimo em libras por polegada de largura, necessário para se ficar dentro da limitação de potência.

Bitolas diferentes de acabamento a partir do mesmo valor inicial de 1" (espessura de entrada) darão resultados diferentes, como pode ser visto nas outras linhas, da figura, as quais formam uma família de curvas. Pode-se ver que, ao se instalar a potência de 10.000 HP por cadeira em lugar de 8.000, o pêso de

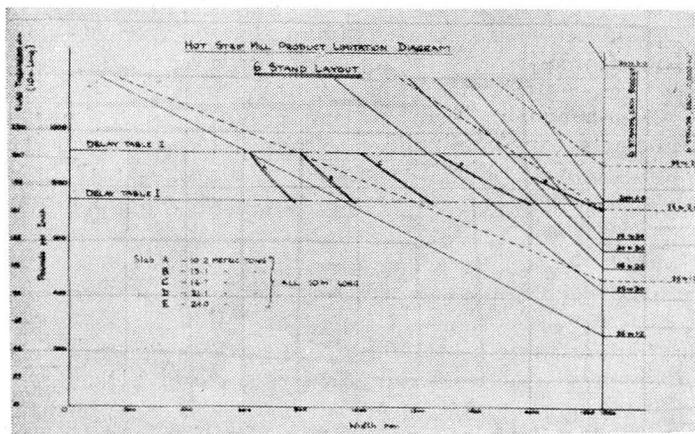


Fig. 1 — Diagrama dos produtos de laminadores de tiras a quente; seis cadeiras. Placas de vários pêsos e comprimento uniforme de 10 m.

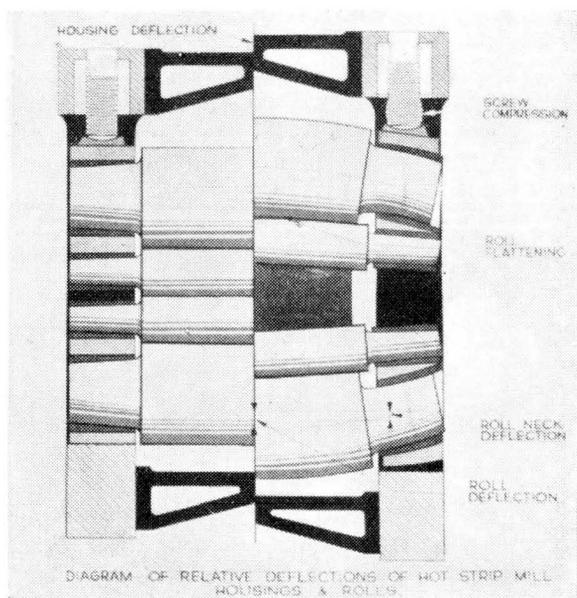


Fig. 2 — Cedimentos elásticos numa cadeira de laminação de tiras a quente.

bobina que pode ser laminada em qualquer largura cresce. Esta figura demonstra as limitações impostas pela potência disponível; mas poder-se-á observar também que limitações semelhantes são impostas pelo aumento de carga gerado pela extremidade mais fria e o efeito destas cargas sobre a forma da tira. Se esta dificuldade pode ser resolvida por algum tipo de controle de forma da tira no laminador, este é ainda um problema a ser resolvido. Tais tipos de controle de forma de tira conhecidos hoje em dia, parecem razoavelmente bem em laminadores largos, porém são menos eficientes em laminadores estreitos, os quais são relativamente mais rígidos. É necessário apontar que os trabalhos mais importantes que têm sido feitos até hoje nesse campo foram aplicados aos laminadores a frio.

2. CEDIMENTOS ELÁSTICOS

Seria interessante neste ponto analisar-se a maneira pela qual um laminador se comporta quando existe carga aplicada. A figura 2 ilustra as deformações que o laminador sofre com a aplicação da carga. Na parte esquerda vê-se uma cadeira quádrupla em vazio; à direita nota-se como o montante da mesma se dilata, como os cilindros se flexionam, o farafuso ajustador é comprimido e os cilindros se achatam nos seus pontos de contato.

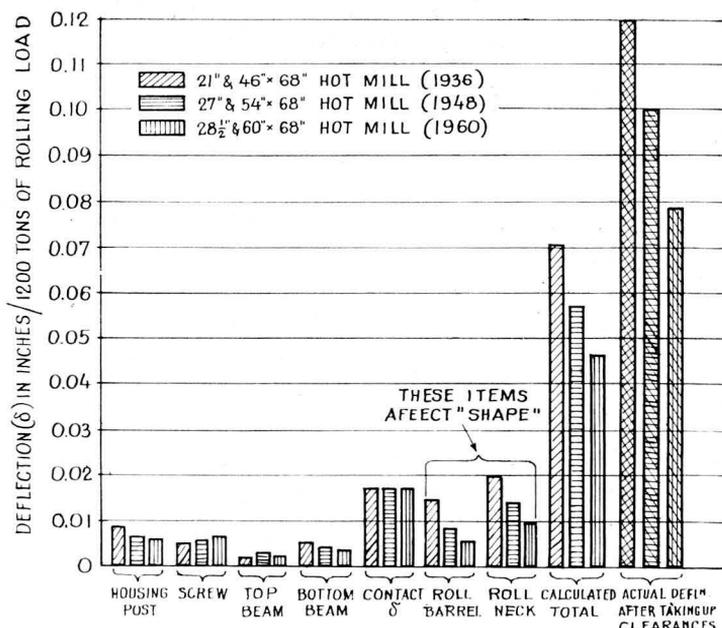


Fig. 3 — Cedimentos elásticos dos vários componentes de uma cadeira de laminador de tiras a quente, representando vários modelos de fabricação. É suposto operar com tiras de 40" de largura.

A figura 3 ilustra o valor da flexão que ocorre no laminador em vários pontos. Como ilustração, estão figurados três laminadores (de 1963, 1948 e 1960) a fim de mostrar que a tendência tem sido orientada no sentido de laminadores mais rígidos. No eixo vertical temos os valores da flexão ao se laminarem tiras de 40" de largura; distribuídos na parte inferior, temos os componentes individuais totalizando a deflexão total. Observa-se que os montantes das cadeiras se tornaram mais rígidos e que isto é devido principalmente ao aumento das áreas das colunas dos montantes. A flexão total do montante é a soma destas três; é interessante notar que, enquanto os operadores tem continuamente exigido montantes mais e mais pesados, com o fito de reduzir aquele alongamento, êle representa somente cêrca de um quarto do alongamento total. Em outras palavras, um ganho de 10% na rigidez só produzirá 2,5% de aumento quanto à rigidez total do laminador.

O parafuso ajustador parece ter-se tornado menos rígido e isto é principalmente devido ao aumento de tamanho do cilindro, (com conseqüente aumento de sua vida útil, por permitir maior

número de usinagens), juntamente com previsão adotada nos laminadores mais recentes, para inserção de dispositivos especiais para contrôles da bitola das chapas, o que resulta na porção exposta do parafuso ajustador ser um pouco mais longa do que acontecia no laminador antigo de 1936. A flexão do contato, ou seja, o achatamento conjunto verificado no cilindro do trabalho e no cilindro de apoio, como se vê, é um dos mais importantes fatores isolados; embora o presente gráfico não ilustre o fato claramente, o laminador moderno é ligeiramente pior, devido ao uso de maiores cilindros. Os dois últimos itens são as flexões observadas no corpo do cilindro de laminação e no pescoço deste, as quais afetam a forma do produto bem como o alongamento total do laminador. Estes fatores têm sido reduzidos pelo aumento do diâmetro dos cilindros e por um melhor desenho dos mancais que suportam um pescoço de maior tamanho e, com igual importância, o menor momento possível, correspondendo ao menor braço de alavanca. Na coluna 3 vê-se a somatória de tôdas as flexões calculadas, enquanto que nas colunas finais vemos o que se encontra realmente na prática. As diferenças observadas entre esses valores são devidas principalmente à anulação das folgas quando o laminador entra em carga.

Como dissemos, a flexão do corpo do cilindro e do seu pescoço afetam a forma do produto e o alongamento do laminador, o que é analisado na figura 4. A foto mostra que o cilindro

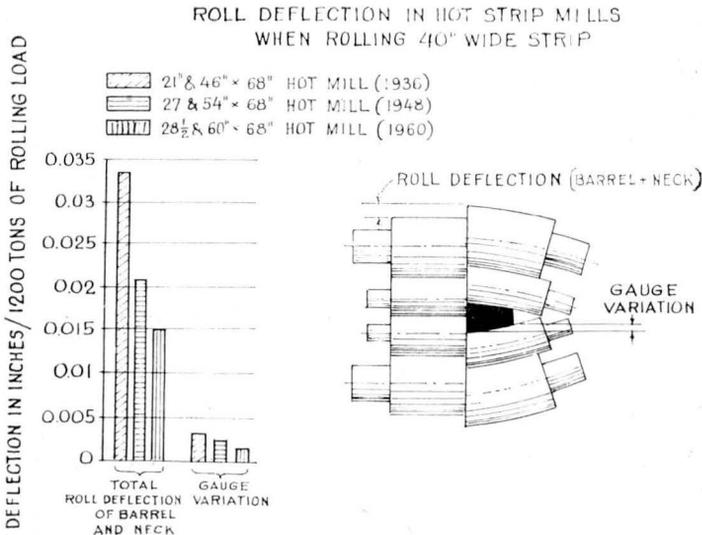


Fig. 4 — Cedimentos elásticos dos cilindros de laminadores de várias épocas, operando com tiras de 40" de largura.

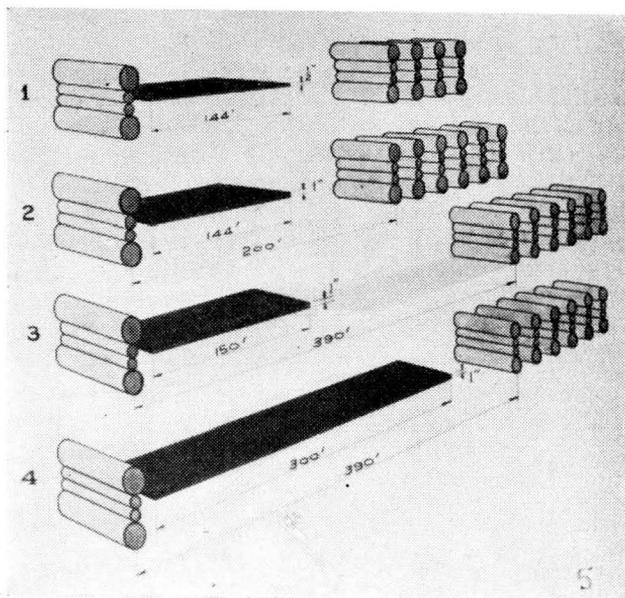


Fig. 5 — Hipóteses de arranjos de 4 ou 6 acabadoras e um esboçador; placas de $\frac{1}{2}$ " e de 1" de espessura.

flete e que o valor da flexão afeta a forma da tira. A flexão real a partir da borda da tira até o centro, fornece uma medida da corôa da tira, a qual é ali mostrada quantitativamente, junto com a flexão total, a contar do centro dos pescoços. A diferença entre as duas é puro estiramento, o qual o operador leva em consideração durante o ajuste inicial do laminador.

3. CONTROLE AUTOMÁTICO DE BITOLA

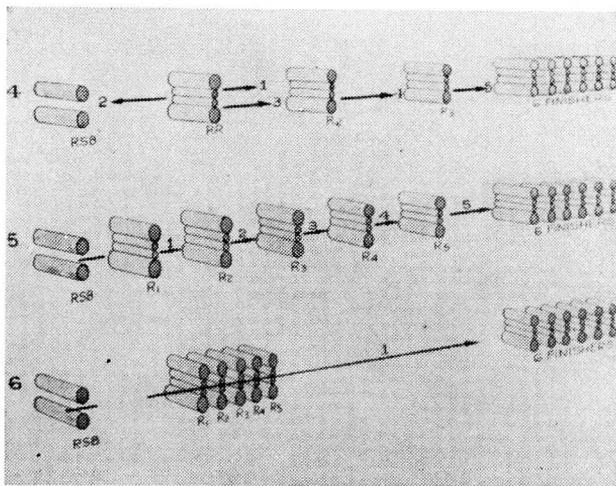
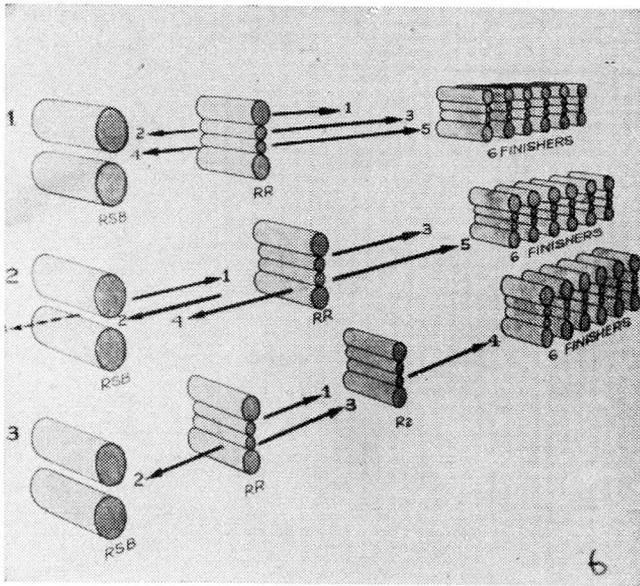
Todos têm grande esperança na criação de um controle automático de bitola, o qual tornaria os laminadores muito rígidos menos necessários em relação à variação de espessura de extremo a extremo do produto bobinado. Um arranjo de cilindros que fôsse suficientemente rígido para eliminar os problemas de forma seria provavelmente antieconômico; e não venceria as variações causadas pelo desgaste dos cilindros e pelas oscilações de temperatura. Laminadores contínuos a frio, de grande velocidade, não trabalham bem com tiras, cuja secção transversal seria perfeitamente plana e o problema é realmente o de se produzir uma pequena porém consistente corôa na tira em toda a faixa de espessura produzida no laminador a quente.

4. LAMINADOR SEMI-CONTINUO

O potencial de produção do laminador semicontínuo, em seus vários arranjos, ao se utilizar grandes placas, deve ser devidamente levado em consideração quando se planeja uma instalação inicial e seus desenvolvimentos posteriores e escalonados. Neste ponto, analisemos dois fatos. Nenhum laminador semicontínuo já produziu até hoje, mais de 1,2 ou 1,3 milhões de toneladas anuais. O único laminador conhecido capaz de produzir acima de 3 milhões de toneladas por ano é o laminador contínuo.

Um ponto que necessita ser observado neste trabalho é a questão de se aumentar a tonelagem produzida por um laminador semicontínuo, acrescentando-se-lhe equipamento extra. Em primeiro lugar diz-se que se se começa com um conjunto constituído de esboçador reversível e 4 acabadores há limitações para o desenvolvimento. Este é um problema de transferência de calor. Na fig. 5 observa-se um trem semicontínuo com uma cadeira esboçadora reversível e um trem acabador contínuo de 4 cadeiras. Justamente por causa desses quatro acabadores é que o esboço laminado não pode exceder 12,5 mm em espessura. A 45 kg por cm de largura de tira, número que os cálculos demonstram ser o máximo comprimento que se pode usar para o presente caso, um esboço de 12,5 mm tem 44 mm de comprimento; uma mesa de espera maior do que 60 m, não seria aconselhável pois ocorreria grande perda de temperatura nesse esboço de relativa pouca espessura, antes de entrar no trem acabador. Num estágio posterior, como se vê na hipótese (2), duas cadeiras acabadoras podem ser adicionadas, totalizando meia-dúzia, podendo-se usar então um esboço de 25 mm de espessura, o que permitirá a obtenção de bobinas de peso entre 90 e 100 kg por cm de largura de tira. Com uma placa deste tamanho, pode-se esperar uma produção anual de 1,5 milhão de toneladas, usando-se um laminador semi-contínuo com uma cadeira esboçadora reversível e 6 cadeiras acabadoras.

Se começarmos com 6 acabadores, como na hipótese 3, podemos usar imediatamente um esboço de 25 mm de espessura e começar a operar com uma placa para bobina de 90 a 100 kg por cm de largura de tira, utilizando uma mesa de espera de 120 m de extensão. O esboço, mais espesso, transporá esta distância sem perder demasiado calor. Num estágio posterior, um esboço muito longo, para bobina de 180 kg por cm de largura de tira, poderá ser utilizado, desde que se tenha previsto espaço e se tenha instalado potência suficiente. Um arranjo deste tipo provavelmente fornecerá 2 milhões de toneladas anuais, ou talvez mais.



Figuras 6 e 7 — Laminagem de placas em laminadores semi-contínuos e contínuos. Várias hipóteses quanto ao número de acabadoras e quanto à espessura da placa.

Olhemos na figura 6 a maneira pela qual a placa pode ser laminada nos vários tipos de laminadores semicontínuos e contínuos. A solução 1 mostra um trem semicontínuo com uma esboçadora reversível e 6 acabadoras. A placa é trabalhada em 5 passes no esboçador e daí passa ao trem acabador. A solução 2 mostra a novidade de um duo quebrador de carepa, onde a placa sofre dois passes, abrindo-se os cilindros para deixar voltar a placa, e mais 3 passes na esboçadora reversível. Isto deve aumentar a produção do laminador semicontínuo, em virtude do fato de que a esboçadora reversível somente fazer 3 passes em lugar de cinco. Na solução 3, vemos então o conjunto que está em uso em Birmingham, Alabama, onde a esboçadora reversível é seguida por uma esboçadora não reversível, fazendo-se 3 passes na cadeira esboçadora reversível e um na esboçadora não reversível, totalizando quatro.

Na solução 4 da figura 7 aparece um trem que se pode denominar "três quartos de contínuo" (uma esboçadora reversível, duas esboçadoras não reversíveis e seis acabadoras), a qual permite 3 passes na esboçadora reversível, e 2 passes diretos nas esboçadoras não reversíveis subsequentes, incorporados mais tarde.

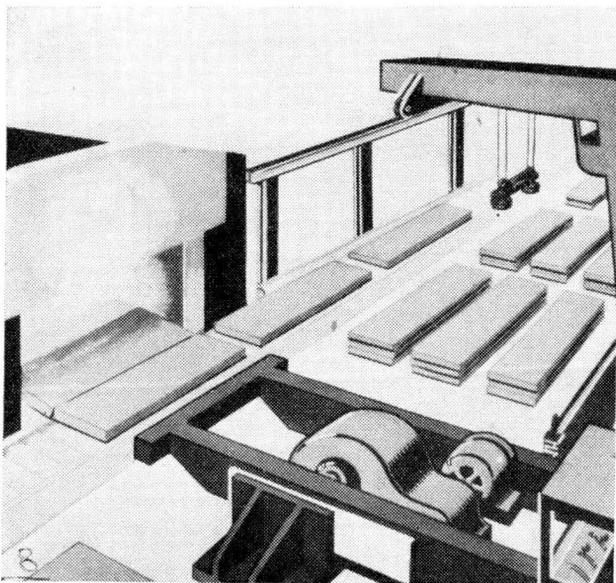


Fig. 8 — Arranjo para melhorar o rendimento de uma laminação de tiras a quente: — pórtilco e mesa de entrada das placas no forno. O texto acena a outras vantagens, além de carregar uma placa de cada vez.

Não foi ainda tentada tal disposição; porém bem poderia produzir 3 milhões de toneladas.

A solução 5 é o clássico laminador contínuo com 5 esboçadoras, a qual sabemos que pode produzir 3 milhões de toneladas e que poderá, utilizando placas grandes, produzir 4 ou mais milhões de toneladas.

Finalmente, temos na solução 6 uma ilustração do possível futuro da próxima geração de laminadores contínuos, os quais disporão de 5 esboçadoras contínuas (em "tandem"), onde acreditamos que a velocidade da esboçadora n.º 5 possa ser mais precisamente sincronizada com a velocidade da entrada da esboçadora n.º 1. Nos laminadores de "Skelp" esta disposição provou proporcionar variação muito pequena da bitola uma vez que se pode controlar, de maneira adequada, a duração da laminação e a temperatura da placa.

5. MELHORAMENTOS NOS LAMINADORES

Podemos agora abordar alguns dos melhoramentos que vêm sendo conseguidos através dos anos.

Era costume no passado alimentar os fornos para os laminadores de tiras por meio de simples desempilhadores ou, onde isto não representasse grande área de estocagem, introduzir sistemas múltiplos de mesas de roletes e desempilhadores. Geralmente êstes últimos padeciam de uma desvantagem, a de que um estoque suficientemente grande de placas não poderia ser mantido em frente aos fornos, de tal modo que as pontes rolantes das placas eram extremamente solicitadas pela simultaneidade ao seleccionar as placas e alimentar os fornos. Um maior número de pontes rolantes não seria necessariamente a resposta ao problema, pois poderia conduzir ao congestionamento, com uma ponte tendo que esperar por outra. A figura 8 mostra uma mesa de entrada do forno, a qual é relativamente simples na sua construção e, comparada à mesa múltipla, vantajosa, pois só tem de manejar uma placa de cada vez. Ao longo da mesa de entrada temos pilhas de placas, as quais jazem numa grelha ao nível do forno, sendo que as placas são retiradas individualmente das pilhas por meio de uma ponte tipo pórtico. Esta ponte tem um trabalho relativamente simples ao movimentar uma placa por vez, sem percorrer grande trajeto.

Com êste arranjo, é possível armazenar muito mais toneladas de placas do que com qualquer sistema previamente conhecido, de tal modo que as pontes do pátio de armazenagem de placas estão livres para continuar com o seu trabalho de seleção e arrumação de pilhas por períodos muito mais longos. Além de tudo,

a ponte de pórtico está num nível mais baixo do que o das pontes do pátio, de forma que estas últimas podem passar sôbre a do pórtico, não havendo congestionamento ou bloqueio por parte da ponte de alimentação do forno. Outra vantagem adicional é a de que se a ponte de pórtico estiver disposta adequadamente, poderá ser usada quando necessário para trabalhos de manutenção do forno e dos desenforadores, uma vez mais deixando as pontes do pátio livres para as demais obrigações.

As bobinadoras têm sido sempre um problema para os operadores dos laminadores de tiras e não é surpreendente que o sejam, considerando-se o trabalho que executam. O problema principal tem sido o de manutenção, a fim de conservar as bobinadoras trabalhando o máximo possível. O primeiro passo para se melhorar a bobinadora foi o de reduzir para dois o número de enroladores, comparados aos muitos (até 8) dos tipos convencionais. Esta redução no número de peças móveis, particularmente aquelas sujeitas a grandes impactos durante a aplicação de carga, melhora grandemente o tempo entre revisões e diminui as durações da própria revisão e desmontagem. Em segundo lugar, encontrando-se na linha de produção dos laminadores, as bobinadoras são em geral de difícil manutenção enquanto o laminador estiver trabalhando; é de fato extremamente perigoso para o operário trabalhar no interior de uma bobinadora com a tira aquecida ao rubro passando por cima de sua cabeça, até atingir a bobinadora seguinte. Foi porisso criado um bobinador retrátil, de tal modo que o mecanismo pode ser retirado do centro do laminador, com plena segurança para que se trabalhe nêle.

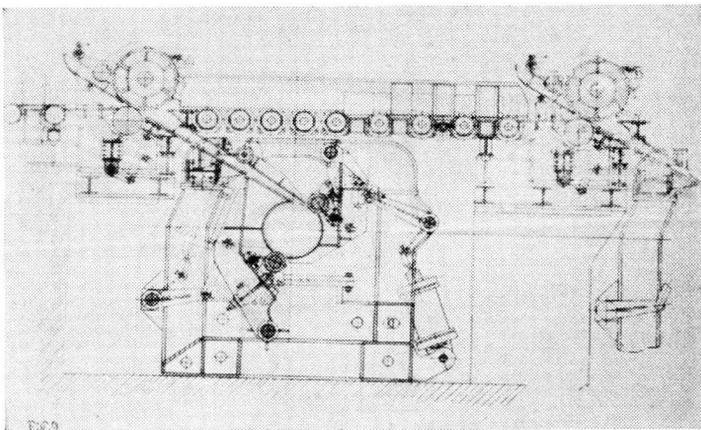


Fig. 9 — Secção longitudinal de uma bobinadora, com apenas dois rolos enroladores.

A figura 9 mostra uma seção longitudinal feita através de uma bobinadora podendo-se ver que só tem dois rôlos enroladores. Vemos também que os rôlos propulsores são inclinados, para diminuir o ângulo formado pela mesa de saída e a calha de entrada da bobinadora; esta disposição auxilia muito a entrada da tira.

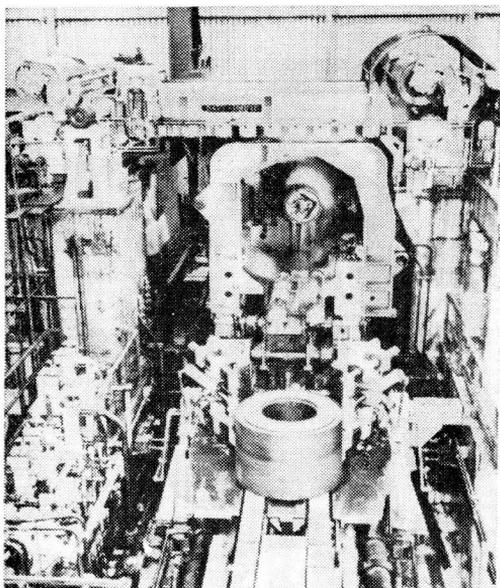


Fig. 10 — Vista de uma bobinadora moderna

A fig. 10 mostra uma bobinadora já existente. Vemos que a armação da própria bobinadora, é completamente separada da mesa de rôlos e dos rôlos propulsores, etc. e que toda a bobinadora pode ser retirada para manutenção.

As bobinadoras a quente sofreram por muitos anos dos problemas de retirada das tiras, devidos em grande parte, segundo supomos, ao método pelo qual a bobina é extraída do mandril com seu pêso total ainda repousando sôbre o tambor. Isto origina óbviamente uma tendência para que as espirais internas se estendam telescôpicamente; quando isso começa a ocorrer a chapa se aperta mais até que se agarra completamente sôbre o mandril. Vê-se na foto que há uma carruagem elevadora dotada de dois roletes que entram por baixo da bobina já acabada, e suportam o seu pêso quando se dá a contração do mandril.

Assim, quando o mandril é contraído cria-se um espaço livre em volta de todo o tambor; a bobina é retirada então de forma relativamente simples e não há o problema "telescópico" quando o carro elevador afasta-se do bobinador.

7. OUTROS MELHORAMENTOS

As mesas de róis têm sido grandemente simplificadas pelo uso de propulsão individual em cada rôlo, obtida particularmente através de aperfeiçoado tipo de motor de corrente alternada, agora muito usado. Este método de propulsão nos capacita a eliminar as engrenagens. Embora saibamos que podemos ter confiança no projeto e fabricação de engrenagens, estas podem todavia constituir um risco de manutenção. O motor individual de propulsão direta vence tal inconveniente.

O tempo gasto na troca de cilindros é fator importante na operação dos laminadores de tiras. Foram projetados carros automáticos para troca dos cilindros de trabalho do trem de acabamento, os quais reduzem à metade o tempo necessário para esta operação. Encarado isoladamente, o custo deste equipamento pareceria alto, mas confrontando com o aumento de tempo disponível de laminação é de fato um bom investimento para uma laminação que esteja operando na sua capacidade máxima.