

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE METAIS — ABM

XVI SIMPÓSIO ANUAL

COMISSÃO DE LAMINAÇÃO — COLAM

NITERÓI — OUTUBRO 1979

LAMINAÇÃO A QUENTE
CONCEITOS BÁSICOS DE LUBRIFICAÇÃO DE
CILINDROS

AUTORES : MAURÍCIO JOSÉ MARZANO NASCIMENTO
ANTONIO DINIZ BROCHADO

COBRAPI — COMPANHIA BRASILEIRA DE PROJETOS INDUSTRIAIS

RESUMO

O presente trabalho apresenta considerações de ordem teórica sobre os fenômenos tribológicos que ocorrem nos processos de laminação-a-quente e os diversos fatores que atuam sobre o valor do coeficiente de atrito entre a tira laminada e os cilindros de trabalho. Analisa também outros parâmetros que causam desgaste nos cilindros e estuda a influência dos processos de lubrificação-a-quente na prevenção deste desgaste. Simultaneamente, faz uma comparação dos tipos de óleo testados em todo o mundo e um cotejo crítico entre as soluções de diversas siderúrgicas japonesas e aquelas adotadas no Brasil pela COSIPA e pela CSN.

This work presents considerations of technical order on the tribological phenomena which occur in the hot milling processes and in the various factors which actuate on the value of the coefficient of friction between the rolled strip and the work rolls. It also analyses other parameters which are a cause of wear of rolls, and studies on the influences of the hot lubrication processes on the prevention of said wear. Simultaneously, it makes a comparison between the types of oil tested all around the world and a critical comparison between the various solutions of the Japanese steel mills and those adopted in Brazil by COSIPA and CSN.

INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da laminação, chegou-se à conclusão de que os processos de deformação seriam extremamente facilitados pelo uso de lubrificantes entre o material e os cilindros de trabalho. Esta lubrificação causava decréscimo do desgaste nos cilindros e diminuição das potências envolvidas, com conseqüente aumento de produtividade e diminuição de custos operacionais totais.

Na laminação-a-frio a implantação da lubrificação não exigiu maiores esforços e vem sendo usada há longo tempo com resultados inequivocamente positivos.

No entanto, na laminação-a-quente, devido às altas temperaturas envolvidas e à presença de grande quantidade de água, a situação não era tão simples, e uma série de problemas teria que ser resolvida antes do uso de lubrificação, principalmente quanto às características físico-químicas do óleo lubrificante e seu processo de aplicação.

Estudos foram então desenvolvidos nos grandes centros siderúrgicos do mundo visando principalmente a atender aos grandes laminadores de 2ª. geração com suas altas velocidades e grandes produções. Assim sendo, as primeiras usinas a adotarem tal sistema foram a SHARON STEEL CO. nos EUA e a RAVENSCRAIG no Reino Unido a partir de 1969 juntamente com a usina de Sakai da NIPPON STEEL no Japão em maio/1970. Na América Latina, o pioneirismo coube à Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA que instalou seu sistema de lubrificação a partir de 1975 com resultados positivos conforme as descrições técnicas apresentadas no XXXIII Congresso Anual da ABM (*).

A COBRAPI, juntamente com a Companhia Siderúrgica Nacional - CSN, atenta aos mais recentes desenvolvimentos tecnológicos, decidiu especificar para o laminador de tiras -a-quente nº 2 um sistema de lubrificação de cilindros que

(*) in Revista METALURGIA-ABM-Vol.34-Nº252 - Nov/78-Pág.749
Aplicação de óleo lubrificação na laminação-a-quente de produtos planos
C. L. Renaux

atendesse não sō às necessidades do processo, mas que fosse suficientemente maleável para responder às necessidades econômicas do Brasil quanto ao tipo do lubrificante que melhor lhe conviesse.

Este trabalho apresentará as razões teóricas para o uso da lubrificação de cilindros e mostrará o sistema do LTQ-2 da CSN, comparando-o com outros sistemas usados em todo o mundo, inclusive com o projeto da COSIPA.

2. DESGASTE NOS CILINDROS DE LAMINAÇÃO

Nos laminadores de 2a. geração foi dada particular atenção aos problemas referentes às paradas para troca de cilindros. Para minimizar os prejuizos que estas paralizações na operação causam, os projetistas de laminadores conceberam os sistemas automáticos para troca rápida de cilindros, o que encurta o período de parada em aproximadamente 90%.

Com a mesma filosofia os pesquisadores e projetistas procuram diminuir a freqüência das trocas, com decréscimo nos custos da operação do laminador e das oficinas de cilindros. Assim, pesquisas são feitas para uma acurada interpretação dos fenômenos que causam o desgaste dos cilindros. Apontaríamos como principais causas as seguintes:

- Abrasão
- Fadiga térmica
- Fadiga mecânica
- Caldeamento
- Corrosão química

A ocorrência simultânea de todos estes fatores implica em uma solução de compromisso que minimize o efeito global de desgaste causado por todas estas variáveis. Felizmente, estudos constataam que, na laminação-aquente, apenas dois destes fatores têm atuação importante no desgaste dos cilindros, a saber: abrasão e fadiga térmica.

A fadiga térmica, conhecida como "fire cracking", ocorre com maior intensidade nas cadeiras em que a tira está com temperatura mais elevada e nas quais o ciclo operacional permite sensível variação na temperatura dos cilindros, ocasionando deformações plásticas na sua estrutura.

Desta forma, a fadiga térmica é maior nas cadeiras do desbaste e nas primeiras do acabamento; já a abrasão, que é função da quilometragem laminada, da velocidade, da redução e da carga da laminação, exerce maior influência no desgaste nas cadeiras de acabamento, e é causada pelo atrito de deslizamento entre a tira sob processo e os cilindros de trabalho. Sabe-se que o processo de lubrificação é eficiente em relação aos efeitos da abrasão, mas que é muito pequena sua influência para a prevenção do desgaste causado pela fadiga térmica.

3. FORÇAS DE ATRITO NA LAMINAÇÃO

3.1 Condições para Operação

As forças de atrito, cujas direções se opõem a partir do plano nêutro de laminação, são as responsáveis pelo arraste da tira entre os cilindros de trabalho. Da mesma forma, a mordida da tira ao penetrar na cadeira de laminação só ocorre se o coeficiente de atrito atingir um valor mínimo compatível com o processo.

Assim sendo, pode-se afirmar:

a. Condição para mordida

$$\psi \geq \alpha$$

ou

$$\mu \leq \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$$

b. Condição para laminação após a mordida (steady state)

$$\psi \geq \frac{\alpha}{2}$$

ou

$$\mu \geq \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\Delta h}{R}}$$

onde:

α = ângulo de contato

ψ = arc tg μ = ângulo de atrito

μ = coeficiente de atrito

Δh = redução absoluta

R = raio do cilindro de trabalho

Nota-se, então, que para a mordida da tira necessita-se de um maior coeficiente de atrito entre a tira e os cilindros do que para o processo normal de laminação. Este fato fornece as diretrizes gerais para um sistema de lubri-

ficação de cilindros, qual seja:

- não reduzir o coeficiente de atrito no instante da mordida para evitar deslizamentos;
- reduzir até o valor mínimo admissível o coeficiente de atrito durante a laminação.

Finalizando, pode-se afirmar que apesar da novidade intrínseca às forças de atrito elas são, paradoxalmente, imprescindíveis ao processo de laminação, restando aos engenheiros restringi-las aos menores valores possíveis.

3.2 O Coeficiente de Atrito " μ "

3.2.1 Influência da temperatura da tira

O valor de " μ " é função crescente da temperatura da tira, conforme o gráfico da figura 1.

3.2.2 Influência da película de óxidos

A carepa, formada pela oxidação do ferro, envolve a tira, criando uma camada de menor coeficiente de atrito. Assim, tiras descamadas oferecem maior resistência aos processos de laminação. Têm-se, pois, um paradoxo, já que as exigências do controle de qualidade quanto ao acabamento superficial da tira implicam em uma perfeita descamação, expondo conseqüentemente os cilindros a um maior desgaste. Assim sendo, na figura 2 mostramos que a influência da temperatura sobre o valor " μ " de tiras pesadamente oxidadas é, embora função crescente, muito menor que a das tiras descamadas.

3.2.3 Influência da rugosidade dos cilindros

A rugosidade dos cilindros aumenta obviamente o valor de " μ ". Usa-se este princípio em laminadores primários para aumentar o ângulo de mordida e conseqüentemente a redução absoluta do lingote.

3.2.4 Influência global de todos os fatores no coeficiente de atrito

Sob condições de não-lubrificação, o coeficiente de atrito " μ " pode ser aproximadamente expresso pela seguinte equação matemática:

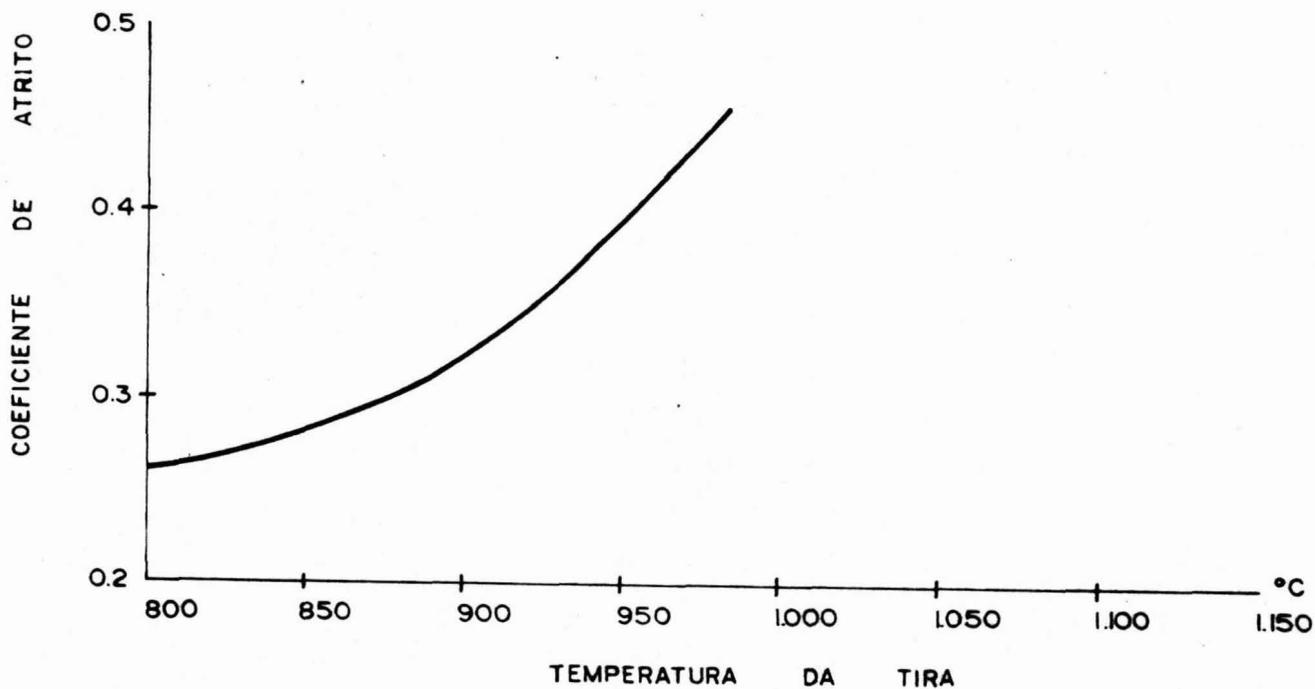


FIGURA 1 — VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO COM A TEMPERATURA (TIRA COMPLETAMENTE DESCAMADA)

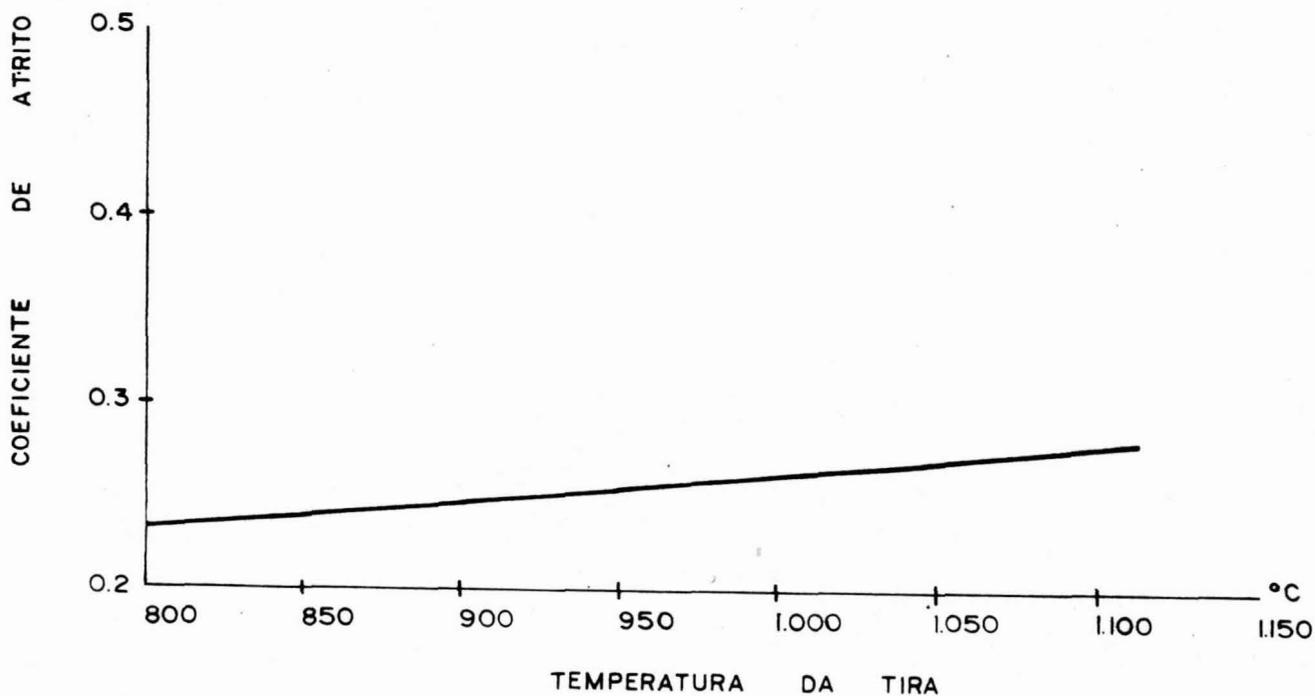


FIGURA 2 — VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO COM A TEMPERATURA (TIRA FORTEMENTE OXIDADA)

$$\mu = 3,6 \times e^{\left(\frac{-2672}{273+\Theta}\right)} + 0,063 \log \frac{P}{\sigma} + 0,68$$

onde :

Θ = temperatura da tira em graus centígrados

P = rugosidade média quadrática do cilindro em microns

σ = espessura da carepa em kg/cm^2

Na figura 3 está expressa graficamente a equação acima, e salientamos uma vez mais que:

VARIÁVEL	AÇÃO	VALOR DE " " (EFEITO)
Temperatura da tira	↗	↗
Espessura da camada oxidada	↗	↘
Rugosidade dos cilindros	↗	↗

Observamos que experiências de Ekelund, ainda na década de 30, pareciam contrastar com as curvas e equações supra-referidas, pois, notou-se que o coeficiente de atrito na laminação a quente de aços doces diminuía com o aumento da temperatura. Coube a Pavlov levantar este paradoxo, ao obter os valores de " μ " em atmosferas neutras, provando, pois, que é a presença lubrificante da carepa e não o aumento da temperatura, que provoca a queda do coeficiente de atrito.

4. RAZÕES PARA O USO DE LUBRIFICAÇÃO NA LAMINAÇÃO-A-QUENTE

O uso de lubrificantes nos cilindros ajuda a laminação-a-quente nos seguintes aspectos:

1. Diminui o desgaste dos cilindros de trabalho, aumentando sua vida útil;
2. Como consequência do item 1, a frequência de troca dos cilindros diminui, resultando na diminuição do tempo de parada do laminador, o que implica no aumento de sua produção;

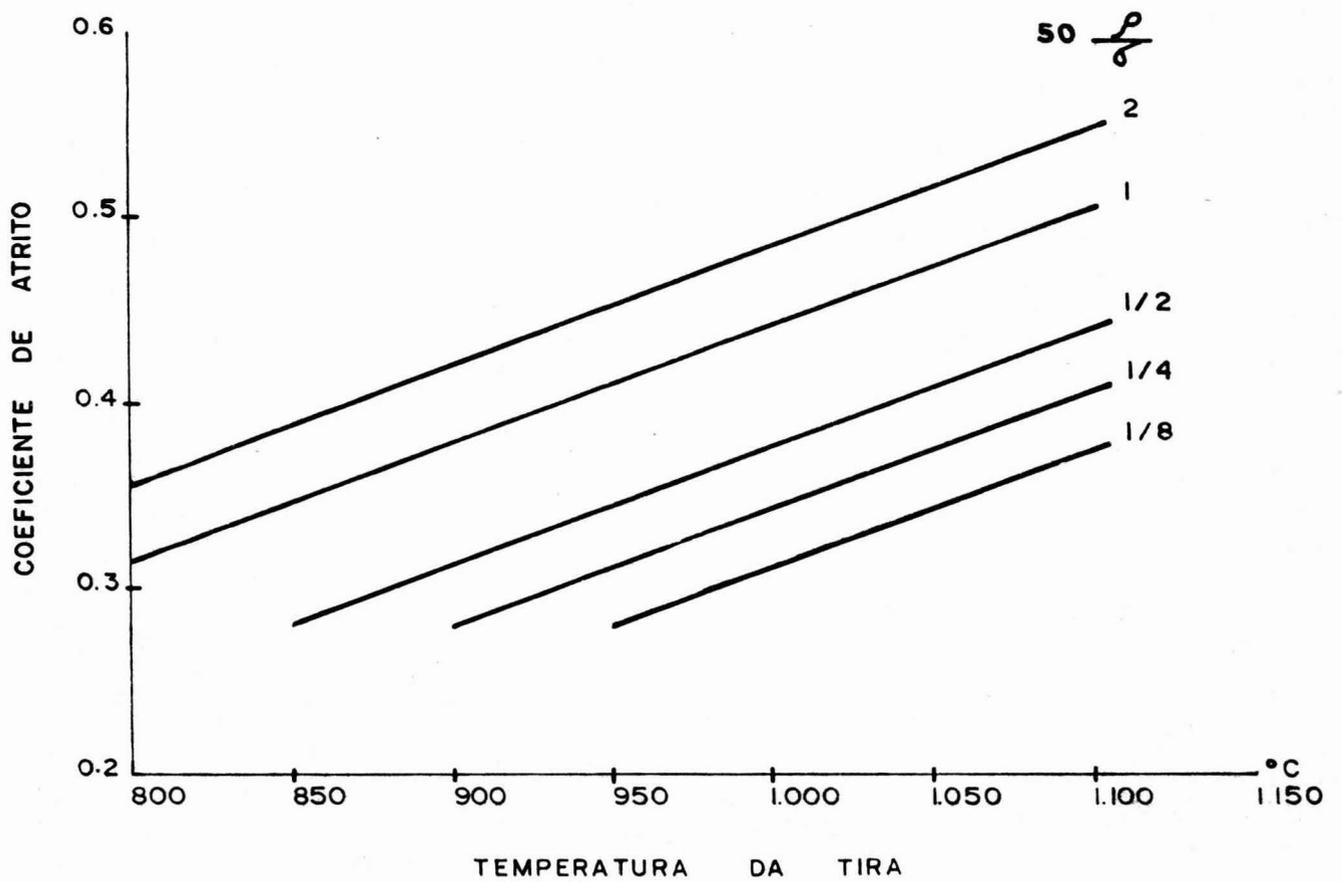


FIGURA 3 — VARIAÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO COM A TEMPERATURA DA TIRA LAMINADA PARA DIVERSOS VALORES DE P/σ

3. O decrescimo de desgaste dos cilindros implica em menores custos de reposição e retífica dos mesmos;
4. As forças de laminação diminuem e como consequência os componentes mecânicos do laminador e os acionadores elétricos trabalham mais folgados;
5. Em decorrência do item 4 o consumo de energia diminui;
6. Em decorrência dos itens 4 e 5 pode-se conseguir reduções maiores na cadeira lubrificada, o que dá mais flexibilidade de operação;
7. As tolerâncias dimensionais da seção transversal da tira diminuem;
8. Diminui o caldeamento do material sob laminação para os cilindros de trabalho;
9. Facilita os processos de decapagem através de maiores velocidades de processo e menores consumos de ácido.

5. TIPOS DE LUBRIFICANTES

5.1 Características críticas do lubrificante

Para realizar eficientemente os processos de lubrificação na laminação-a-quente, os lubrificantes necessitariam possuir as seguintes características críticas:

1. Manter a capacidade de lubrificação nas extremamente altas temperaturas do processo e respectivas pressões de laminação;
2. Capacidade de aderência à superfície metálica na presença de grande quantidade de água para resfriamento dos cilindros;
3. Seus produtos de combustão não devem ser tóxicos ou poluentes;
4. Não ser miscível com a água para evitar a poluição ambiental.

5.2 Histórico

Durante a década de 60 diversas experiências foram feitas para implantação de sistemas de lubrificação-a-quente. Estudos de Chekmavev apresentaram alternativas para o uso de lubrificantes sólidos, incluindo o vidro, o grafite e até mesmo o sal de cozinha (cloreto de sódio). Resultados positivos com o vidro não se traduziram em aplicação prática devido a custos e dificuldades operacionais.

5.3.2 Resistência à temperatura - Tabela II

TIPO DE ÓLEO	TEMPERATURA INICIAL DE PERDA DE ÓLEO (°C)	TEMPERATURA FINAL DE EXTINÇÃO (°C)
animal	300	700
colza	300	515
soja	315	470
sintético I	100	530
sintético II	190	470

Pela Tabela II, o óleo animal e o óleo sintético I são os mais resistentes.

5.3.3 Variação do coeficiente de atrito em um laminador piloto em função do tipo de óleo usado

As curvas da figura 4 abaixo mostram a variação do valor de "μ" em função do tempo, com e sem lubrificação. Os resultados indicam que:

1. O valor "μ" é constante para cada óleo durante o período sob lubrificação;
2. Após o corte do lubrificante, o valor "μ" aumenta segundo curvas distintas para cada tipo de óleo.
3. Os menores valores de "μ" são obtidos para o óleo sintético I e o óleo animal.

5.3.4 Valores de lubricidade

Em um laminador piloto determinou-se o valor da pressão de laminação em uma tira a 1000°C e submetida aos diversos lubrificantes. Constatou-se o seguinte:

óleo animal óleos sintéticos I e II	31 kg/mm ²
outros óleos	33 kg/mm ²
sem lubrificante	38 kg/mm ²

Conclui-se, pois, que os óleos sintéticos e o óleo animal possuem maior poder lubrificante.

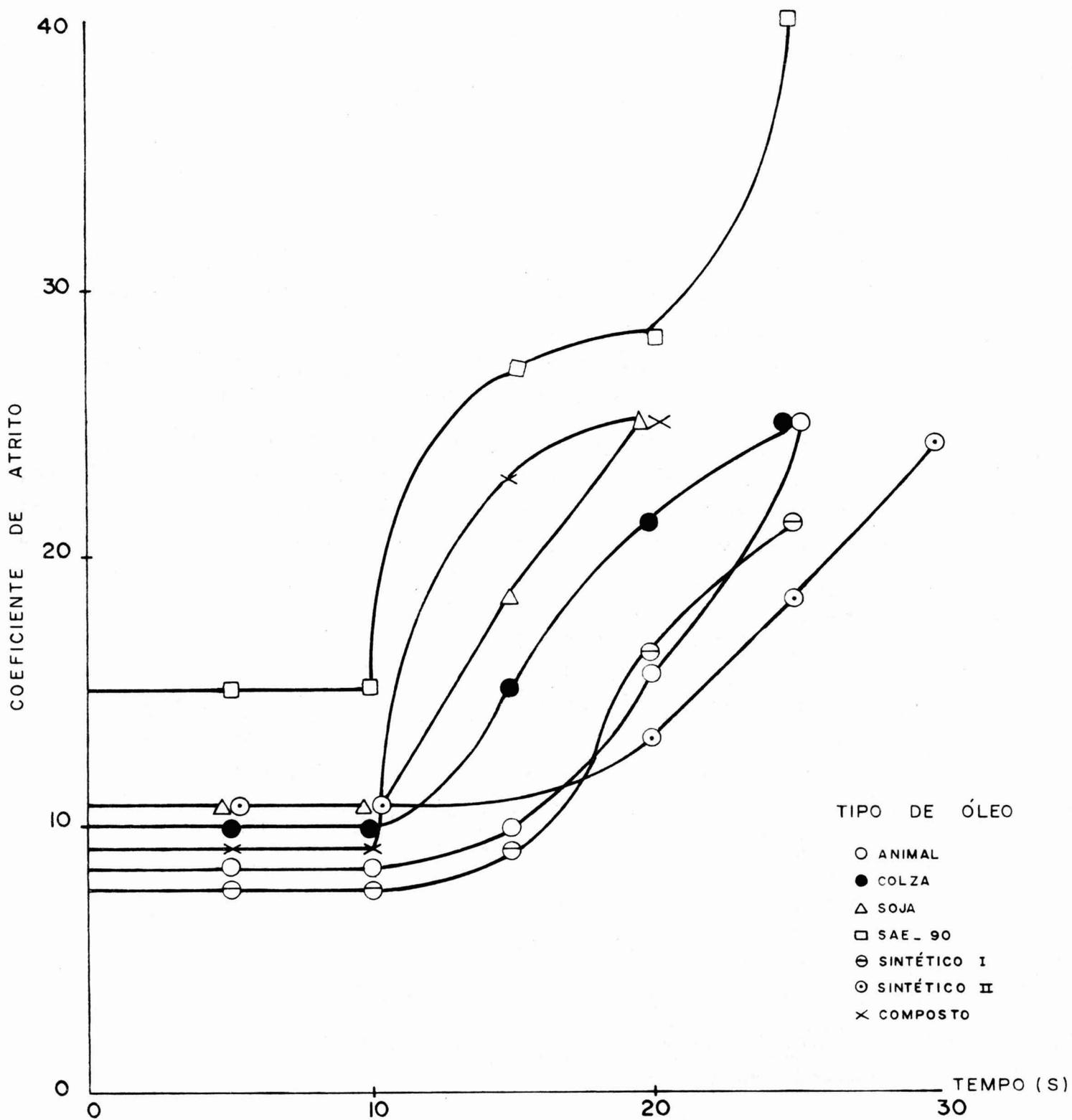


FIGURA 4 — COEFICIENTE DE ATRITO EM FUNÇÃO DO LUBRIFICANTE USADO

5.3.5 Comparação final

Do cotejo destas características podemos concluir:

- Os óleos sintéticos e o óleo animal possuem melhor resistência à temperatura e menores coeficientes de atrito sob laminação, sendo então recomendados;
- As menores capacidades de aderência seriam compensadas por um maior índice de injeção de lubrificantes.

Outro estudo, efetuado nos EUA em moldes similares, chega praticamente às mesmas conclusões, isto é, que, a menos de fatores comerciais, o uso de óleos sintéticos à base de ésteres tem praticamente o mesmo efeito de óleos animais.

6. MÉTODOS DE APLICAÇÃO DO ÓLEO

Não pretendemos aqui entrar em maiores detalhes quanto a estes métodos de aplicação, pois, o assunto já foi objeto do detalhado trabalho da COSIPA apresentado no 33º Congresso Anual da ABM e já referido anteriormente.

Em resumo, há basicamente os seguintes métodos para aplicação de óleo lubrificante:

- 6.1 Aplicação direta de óleo
 - 6.1.1 Atomização a ar
 - 6.1.2 Atomização a vapor
 - 6.1.3 Pressão de óleo
- 6.2 Aplicação de mistura de óleo e água
 - 6.2.1 Método de injeção
 - 6.2.2 Método de dispersão

7. SISTEMA DO LAMINADOR DE TIRAS-A-QUENTE Nº 2 DA COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL

7.1 Diretrizes Básicas

Conforme será visto a seguir, o sistema que a COBRAPI especificou para o LTQ-2 foi suficientemente maleável para atender às seguintes diretrizes:

- uso de óleos sintéticos à base de ésteres;
- uso de óleos animais produzidos a partir de gorduras animais (sebo).

Esta solução visa principalmente a possibilidade de a CSN escolher a melhor alternativa técnica e econômica, função de fatores comerciais futuros e da disponibilidade dos óleos nos mercados nacionais. Poderá, também, servir para futuras pesquisas de nossos centros técnicos para o uso de outros lubrificantes com insumos 100% nacionais e com possibilidades de melhores resultados se comparados com os obtidos atualmente no exterior.

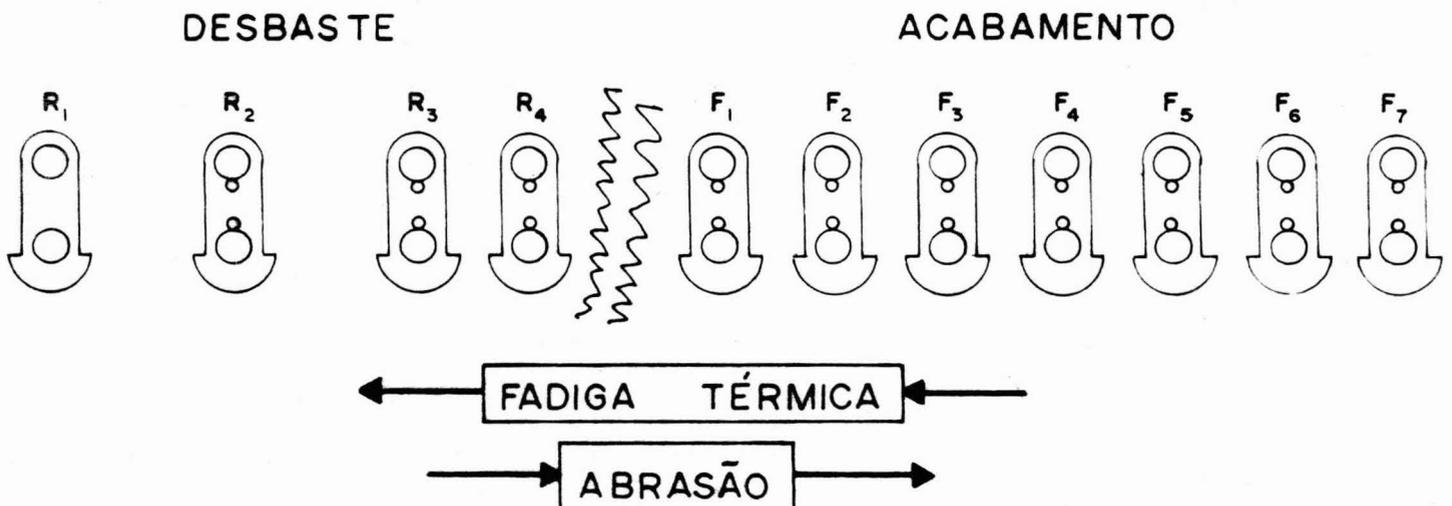
7.2 Fluxograma do Sistema

Na figura 5 apresentamos sumariamente o fluxograma do sistema de lubrificação da tira do LTQ-2. Notamos as seguintes características:

- O sistema pode usar indistintamente óleo animal ou sintético;
- Há dosadores primários e secundários que permitem o ajuste fino da concentração de lubrificante aplicado por cadeira;
- Há misturadores para permitirem a perfeita homogeneização da emulsão água-óleo;
- Quando em uso com óleo animal de alta viscosidade há necessidade de se usar serpentinas de vapor nos tanques de armazenagem e de mistura, bem como tubulações isoladas e com aquecedores de tipo "steam tracers".

7.3 Local de aplicação

7.3.1 Escolha das cadeiras



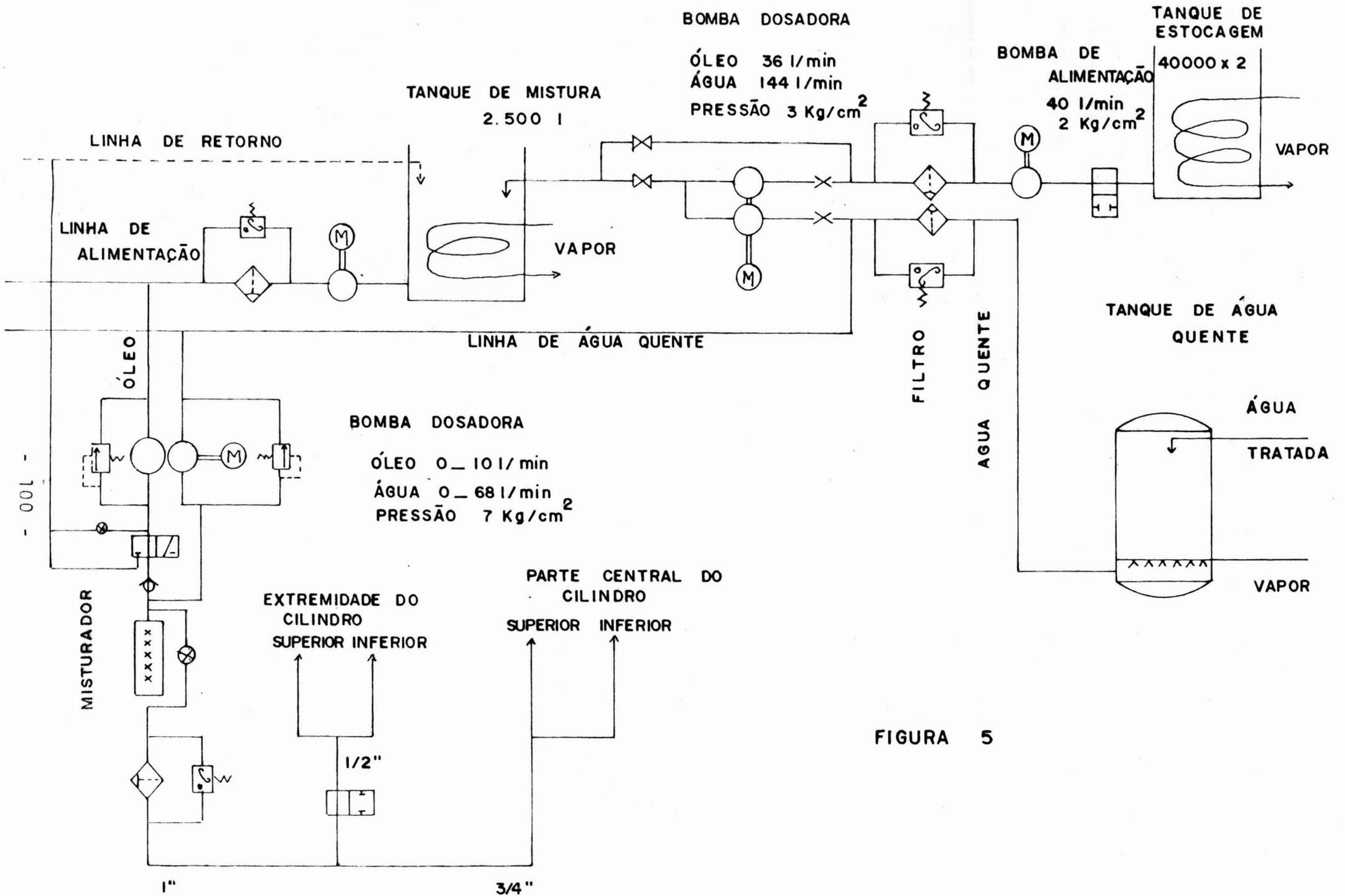


FIGURA 5

Conforme vimos anteriormente, e a figura acima ilustra, as duas principais causas de desgaste de cilindros têm efeitos opostos sobre o LTQ, ou seja, a abrasão aumenta do desbaste para o acabamento e a fadiga térmica do acabamento para o desbaste. Como a influência da lubrificação é muito mais acentuada na prevenção do desgaste causado pela abrasão do que pela fadiga térmica, conclui-se que o lugar mais adequado para aplicação do óleo é no trem acabador. Na realidade, experiências realizadas em usinas inglesas demonstraram que a lubrificação na última cadeira do desbaste não apresentou resultados alvissareiros, vindo ao encontro à teoria acima exposta.

Analisando-se individualmente as cadeiras do acabamento, observamos:

- a. As primeiras cadeiras possuem jatos de descamação que garantem a limpeza da superfície da placa, e que sua temperatura é mais elevada, aumentando consideravelmente o valor de " μ " e o conseqüente desgaste dos cilindros, conforme visto no § 3.2.2.
- b. Ao contrário, o desgaste nas últimas cadeiras, apesar da maior quilometragem por tonelada laminada, é bem menor devido às menores temperaturas da tira e à presença lubrificante dos óxidos de ferro. Acrescente-se a isto as pequenas reduções normalmente ocorridas na última cadeira do acabamento, o que vem a diminuir o desgaste ainda mais. A partir das deduções acima citadas e de considerações experimentais e fatores econômicos, normalmente usam-se lubrificantes nas quatro primeiras cadeiras do acabamento, deixando as três últimas sem lubrificação, sendo este o caso do LTQ-2 da CSN. Já a COSIPA projetou sistemas de lubrificação apenas para as 2a. e 3a. cadeiras do trem acabador.

Anexa, na fig. 6, uma indicação das cadeiras lubrificadas de LTQ's em usinas japonesas, e outras características técnicas dos sistemas utilizados.

7.3.2 Local da aplicação na cadeira

Há diversas alternativas para a escolha do melhor local para aplicação dos óleos lubrificantes nos cilindros,

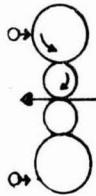
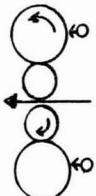
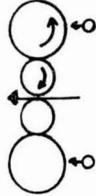
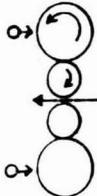
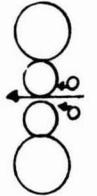
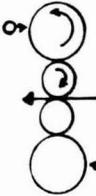
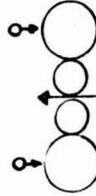
LAMINADOR	1	2	3	4	5	6	7	CSN
LARGURA DO LAMINADOR	68"	56"	86"	80"	70"	80"	56"	68"
CADEIRAS LUBRIFICADAS	F1 F6	F2 F4	F2 F4	F1 F5	F1 F3	F1 F3	F1 F4	F1 F4
MÉTODO DE APLICAÇÃO	Inj. de Água	Inj. de Água	Inj. de Água	Inj. de Água	Pré-mis-tura	Inj. de Água	Inj. de Água	Misto
CONCENTRAÇÃO DE ÓLEO	.35%	.12%	.25%	.25%	.20%	.40%	3.0%	2 a 6%
CONSUMO DE ÓLEO (l/min/cadeira)	.13	.06	.11	.15	.06	.06	.11	0 a 10
CONSUMO DE ÁGUA (l/min/cadeira)	37.1	52.4	44.3	60.6	30.0	14.30	3.70	0 a 68
POSIÇÃO DOS BICOS								

FIGURA 6

de acordo com a figura 6, obtidas em usinas japonesas. A melhor solução, evidentemente, é a que lubrifica diretamente os cilindros de trabalho na entrada da tira, pois, evita a perda de óleo por lavagem de água, raspadores, etc. Infelizmente, esta solução normalmente não é exequível devido ao projeto mecânico do laminador e problemas relativos ao arranjo de guias, tubulações, etc. No caso do LTQ-2 da CSN a solução escolhida foi a de número 7.

7.4 Controle Elétrico

A filosofia geral para este tipo de controle prevê que a mordida da tira seja efetuada sem lubrificação. Para tal a injeção de óleo é cortada pouco antes da cauda da tira sair dos cilindros de trabalho, de modo a queimar o combustível remanescente e somente após a mordida subsequente em nova chapa é que o óleo volta a ser injetado. Os sinais para estes controles vêm normalmente de detetores de metal quente (HMD) e das células de carga das cadeiras e o controle é efetivamente realizado por intermédio de controladores programáveis e/ou computadores de processo.

Maiores detalhes já foram também explanados no trabalho apresentado pela COSIPA no 33º Congresso da ABM.

8. LUBRIFICAÇÃO DE CILINDROS - DADOS OPERACIONAIS

8.1 Vida Útil

O aumento da vida útil dos cilindros é de cerca de 100%, reduzindo à metade a frequência de paradas para as trocas programadas e os respectivos custos operacionais (oficina de cilindros, produtividade, etc.)

Na COSIPA os resultados obtidos até 1977 indicavam um aumento da vida útil em cerca de 45%.

8.2 Diminuição nos Defeitos Superficiais

As paradas não programadas são reduzidas pela diminuição da ocorrência de defeitos superficiais nos cilindros. Os resultados da COSIPA indicam uma redução de horas mensais de parada de cerca de 300%.

8.3 Consumo de Energia

A redução efetiva no consumo de energia por cadei

ra é de cerca de 20%, o que em média representa um decréscimo de 10% no consumo geral do trem acabador, isto é, cerca de 4 HP.h/t.

Como referência, anexamos, na fig. 7, o gráfico com os resultados obtidos na COSIPA.

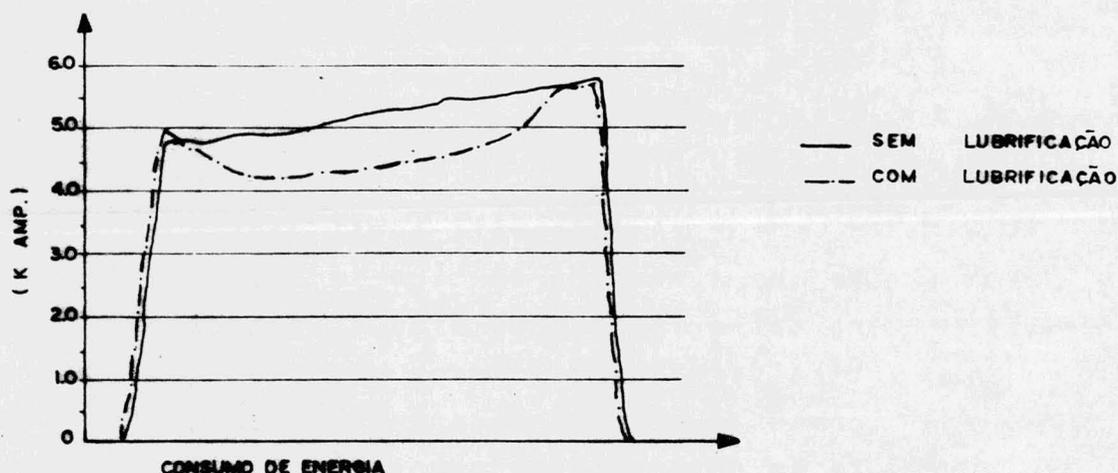


FIGURA - 7

8.4 Consumo de Óleo

Na figura 6 indicamos os resultados obtidos em usinas japonesas para o consumo de óleo por tonelada laminada e por cadeira. Resultados médios indicaram valores da ordem de 5 ml/t/cadeira, enquanto que na CSN esperamos um consumo da ordem de 5 a 10 ml/t/cadeira.

Na COSIPA os resultados que possuímos indicam cerca de 29 ml/t.laminada/cadeira, o que se justificou por estar o sistema naquela oportunidade em fase de implantação.

9. CONCLUSÃO

Embora seja um sistema de uso consagrado mundialmente, e cujas vantagens se mostram indiscutíveis, infelizmente não vem sendo usado no Brasil em toda a sua extensão. Acreditamos que estudos mais detalhados que o nosso, e com profundo respaldo dos centros de pesquisas, poderão conduzir a resultados proveitosos para as nossas siderúrgicas, inclusive com a adoção de soluções tropicalizadas e, talvez, mais eficientes que as atualmente encontradas no exterior.

A COBRAPI, como consultora de engenharia, se propõe a debater com os usuários as possibilidades de implantação destes sistemas em suas usinas e encontrar as soluções mais adequadas às realidades particulares de cada uma.

BIBLIOGRAFIA

1. "High Temperature Rolling Oils Aid Hot Rolling", de M. R. Edmundson, Iron and Steel Engineer Year Book - 1970, páginas 522-525.
2. "Increasing Hot Strip Mill Roll Life by Spray Lubrication", de R. S. Hostetter e M. M. Vyas, Iron and Steel Engineer, 1973, páginas 66-70.
3. "Friction in the Hot Rolling of Steel Strip", de W. L. Roberts, Iron and Steel Engineer, Vol. 51, No.7, Julho 1974, páginas 56-62.
4. "Roll Lubrication in Hot Rolling Processes", de F. J. Westlake e outros, British Steel Corp. Report CEL/PH/41/73, Outubro 1973.
5. "Roll Lubrication in Hot Strip Mills", de C. L. Robinson e F. J. Westlake, BSC Report CEL/PH/1/73, 24 de outubro de 1973.
6. "Lubrication of Hot Strip Mills", de J. G. Beese, Wear - 1973, páginas 203-208, 23.
7. "Einfluss unterschiedlicher Walzbedingungen an einer Warmbreitband Strasse auf die Oberfläche der Walzen und des Walzgutes", de P. Funke, R. Kulbrok e H. Wladika, Stahl und Eisen, 1972, páginas 1113.
8. "Hot Rolling of Sheet Steel with a Process Lubricant", de D. I. Starchenko e outros, Steel in the USSR, 1972, páginas 813-814.
9. "Use of an Industrial Lubricant on a Continuous Hot Light - Gauge Sheet Mill", Steel in the USSR, 1974, páginas 48-50, de V. G. Dodoka e outros.
10. "Hot Rolling Oils for Steel Strip and its Evaluation Method", de Kyodo Yushi Co., Ltd.
11. "Tribological Considerations in the Hot Rolling of Low-Carbon Steels", de W. L. Roberts, artigo a apresentar-se na JSLE-ASLE International Lubrication Conference, Tóquio, 9 a 11 de junho de 1975.
12. "Effect of Rolling Oil on Hot Strip Rolling", de K. Nishizawa e outros, Sumitomo Metal Industries, Ltd.
13. "Application of a Working Lubricant on a Wide Hot Strip Rolling Mill", de G. Neport, Iron and Steel abril 1971, páginas 103-144.

14. "Aplicação de Óleo Lubrificante em Laminação a Quente de Produtos Planos, de Carlos Luiz Renaux - COSIPA 33º Congresso Anual da ABM.

11. "CURRICULO" DOS AUTORES

Maurício José Marzano do Nascimento

Engenheiro formado em 1971 pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais.

Foi durante dois anos engenheiro chefe-de-operação da Usina Termo-Elétrica de Santa Cruz (Furnas Centrais Elétricas S/A).

Desde 1974 é engenheiro da COBRAPI, tendo desempenhado entre outras funções a Coordenação Técnica do Laminador de Tiras-a-Quente Nº 2 da Companhia Siderúrgica Nacional.

Antônio Diniz Brochado

Engenheiro mecânico com especialização em engenharia térmica, havendo-se graduado pela Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais no ano de 1971.

Foi engenheiro-projetista da "Bühler Miag", no período de 1971 a 1973, onde realizou projetos de equipamentos.

Desde 1974 é engenheiro da COBRAPI, sendo especialista em tubulações e sistemas hidro-pneumáticos, tendo participado do Grupo de Trabalho que estudou o projeto da Linha de Estanhamento Eletrolítico Nº 4 da CSN e comanda atualmente o Grupo-Tarefa de Tubulação que atua na implantação do Laminador de Tiras-a-Quente Nº 2.